



## Développement d'un algorithme basé sur l'intelligence artificielle pour l'inspection visuelle des modules à pixel du projet ATLAS-ITK

**Spécialité** Réseaux de neurones

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 1

**Unité d'accueil** [DEDIP/LILAS](#)

**Candidature avant le** 07/07/2025

**Durée** 6 mois

**Poursuite possible en thèse** non

**Contact** [Jonathan Kern](#)

[jonathan.kern@cea.fr](mailto:jonathan.kern@cea.fr)

### Résumé

L'objet de ce stage de césure, de 6 mois à 1 an, est de développer un algorithme basé sur des techniques d'intelligence artificielle pour automatiser l'inspection visuelle des modules à pixel à câbler dans le cadre du projet ATLAS ITK.

### Sujet détaillé

#### LE CADRE DE TRAVAIL

Le DEDIP (Département d'Electronique, des Détecteurs et d'Informatique pour la Physique) de l'IRFU (l'Institut de Recherche sur les lois Fondamentales de l'Univers) conçoit des systèmes d'acquisition de données pour les grandes expériences de physique fondamentale et d'astrophysique, du détecteur de particules à l'électronique d'acquisition des signaux.

Les personnels du DEDIP, physiciens et équipes de conception électronique et mécanique, imaginent et réalisent des détecteurs de particules et de rayonnements permettant une meilleure compréhension de l'infiniment petit.

L'objet de ce stage est de développer un algorithme basé sur des techniques d'intelligence artificielle pour automatiser l'inspection visuelle des modules à pixel à câbler dans le cadre du projet ATLAS ITK.

#### MISSION

Intégré(e) au sein du Laboratoire d'ingénierie logicielle pour les applications scientifiques (LILAS), le stagiaire sera en charge de :

- Se former sur la problématique générale de détection d'anomalies sur des images de textures, qui est un domaine en plein essor évoluant rapidement
- Comprendre le fonctionnement de l'algorithme existant (basé sur un travail de thèse de doctorat)
- Prendre en main les différents codes existants permettant de configurer, d'entraîner l'algorithme ainsi que sa plateforme de déploiement (basé sur une application web développée en interne et déployée dans un docker swarm)

- 
- Implémenter le plan de développement existant et l'étoffer avec des nouvelles idées pour améliorer les performances de l'algorithme
  - Rédiger une documentation utilisateur et l'intégrer à l'interface

## PROFIL RECHERCHE

-----  
Le candidat est en M1 (école d'ingénieur ou université) et recherche un stage de césure de 6 mois à 1 an.

Les compétences recherchées sont :

- Maîtrise de Linux et du langage Python
- Une expérience avec des packages spécialisés pour le développement d'algorithmes basés sur l'intelligence artificielle comme pytorch est fortement appréciée
- Une expérience avec l'analyse d'image en général est fortement appréciée
- Une expérience avec Docker et Swarm est un plus
- Une expérience avec les logiciels de versioning (GitLab, GitHub) est un plus

Moyens / Méthodes / Logiciels : Python, Docker, Swarm, Gitlab

Le candidat doit faire preuve de dynamisme et curiosité pour le domaine et avoir un goût prononcé pour la programmation et l'intelligence artificielle.

De plus, le candidat a le goût de l'innovation, un attrait pour les produits hors du commun et souhaite découvrir le monde de la recherche fondamentale et les métiers associés.

## CANDIDATURE

-----  
CV et lettre de motivation

Lien vers réalisations logicielles / projets passés apprécié

## Mots clés

## Compétences

- Maîtrise de Linux et du langage Python - Une expérience avec des packages spécialisés pour le développement d'algorithmes basés sur l'intelligence artificielle comme pytorch est fortement appréciée - Une expérience avec l'analyse d'image en général est fortement appréciée - Une expérience avec Docker et Swarm est un plus - Une expérience avec les logiciels de versioning (GitLab, GitHub) est un plus

## Logiciels

Python, Docker, Swarm, Gitlab

---

## Summary

## Full description

## Keywords

## Skills

## Softwares

Python, Docker, Swarm, Gitlab



## bilan et actions de réduction des émissions de gaz à effet de serre au Département d'astrophysique

**Spécialité** Qualité

**Niveau d'étude** Bac+3

**Formation** Ingenieur/Master

**Unité d'accueil** [DAP/LMPA](#)

**Candidature avant le** 16/03/2025

**Durée** 3 mois

**Poursuite possible en thèse** non

**Contact** [HENNEBELLE Patrick](#)

+33 1 69 08 99 87

[patrick.hennebelle@cea.fr](mailto:patrick.hennebelle@cea.fr)

### Résumé

L'objectif du stage sera de faire un bilan des émissions de gaz à effet de serre du département d'astrophysique (DAP), d'identifier et d'entreprendre des actions qui permettront de diminuer l'empreinte du DAP dans les années à venir.

### Sujet détaillé

La crise climatique et environnementale constitue une menace pour nos sociétés et nécessite que des mesures de réduction des émissions de gaz à effet de serre soient prises à tous les niveaux de la société. A l'échelle des laboratoires de recherche un certain nombre d'actions peuvent être entreprises comme par exemple limiter la température dans les bureaux, réduire les déplacements ou encore optimiser les achats. Dans ce processus, il est nécessaire de faire un bilan des différents postes d'émission de gaz à effet de serre (BGES) permettant année après année de suivre précisément l'évolution de chacun d'entre eux et de contrôler, voire de piloter, les émissions du laboratoire. Le département d'astrophysique du CEA (DAP) comprend environ 200 personnes et regroupe aussi bien des activités instrumentales qu'observationnelles ou encore théoriques et numériques. Estimer les différents postes d'émission représente donc un travail conséquent. L'objet du stage consistera à réaliser le BGES du DAP au cours des trois dernières années en compilant les données des différents postes. Par ailleurs, le/la stagiaire mettra en place un protocole documenté pour que ce BGES puisse ensuite être réalisé année après année sans difficulté. Il/elle mènera une réflexion pour déterminer où des réductions pourraient être faites et s'efforcera de proposer un scénario de réduction réaliste mais ambitieux pour les années à venir. Le/la stagiaire interagira avec l'ensemble des personnels impliqués dans les activités en lien avec la transition environnementale.

### Mots clés

bilan de gaz à effet de serre, transition, réchauffement climatique

### Compétences

---

bilan de gaz à effet de serre analyse des postes recensement du matériel interaction avec les équipes

**Logiciels**

python

---

## **Assessment and actions to reduce greenhouse gas emissions in the Astrophysics Department**

### **Summary**

The aim of the internship will be to take stock of the Astrophysics Department's (DAp) greenhouse gas emissions, and to identify and take action to reduce the DAp's footprint in the coming years.

### **Full description**

The climate and environmental crisis is a threat to our societies and requires measures to be taken at all levels of society to reduce greenhouse gas emissions. At the level of research laboratories, a number of actions can be taken, such as limiting the temperature in offices, reducing travel or optimising purchasing. As part of this process, it is necessary to draw up a balance sheet of the various greenhouse gas emission items (BGES), so that we can monitor changes in each of them year after year and control, or even steer, the laboratory's emissions. The CEA's astrophysics department (DAp) employs around 200 people and covers instrumental, observational, theoretical and numerical activities. Estimating the various emission sources is therefore a major task. The aim of the traineeship will be to carry out the BGES of the DAp over the last three years by compiling the data from the various stations. In addition, the trainee will set up a documented protocol so that this BGES can then be carried out year after year without difficulty. He/she will consider where reductions could be made and will endeavour to propose a realistic but ambitious reduction scenario for the coming years. The trainee will interact with all staff involved in activities relating to the environmental transition.

### **Keywords**

greenhouse gas balance, transition, global warming

### **Skills**

greenhouse gas assessment analysis of workstations inventory of equipment interaction with teams

### **Softwares**

python



## Développement d'une méthode de réduction de variance multi-particules/multi-détecteurs pour les expériences de physique nucléaire

**Spécialité** Neutronique

**Niveau d'étude** Bac+4/5

**Formation** Ingenieur/Master

**Unité d'accueil** [DPhN/LEARN](#)

**Candidature avant le** 30/04/2025

**Durée** 6 mois

**Poursuite possible en thèse** non

**Contact** [THULLIEZ Loïc](#)

+33 1 69 08 74 53

[loic.thulliez@cea.fr](mailto:loic.thulliez@cea.fr)

### Résumé

### Sujet détaillé

La simulation Monte Carlo du transport des particules est devenue aujourd'hui centrale dans de nombreux domaines tels que la physique fondamentale, la physique médicale ou les applications spatiales pour n'en citer que quelques-uns. Afin de pallier les temps de calculs inhérents à cette méthode, des techniques dites "de réduction de variance" sont développées, dont l'objectif est de "pousser" les particules vers le(s) détecteur(s) sans induire de biais sur les résultats du calcul. Récemment, une méthode de réduction de variance dite Adaptive Multilevel Splitting (AMS) [1,2], s'intéressant aux événements rares, a été conçue et implémentée dans différents codes de calculs, tels que le code Monte Carlo TRIPOLI4 développé au CEA ou le code Monte Carlo Geant4 développé au CERN par une collaboration internationale [3]. Cette méthode offre des perspectives très intéressantes car elle permet de préserver les corrélations entre les particules contribuant à la mesure, ce que ne permettent pas les méthodes standards de réduction de variance comme par exemple l'Importance Sampling.

Ce sujet de stage propose d'évaluer l'intérêt de cette approche dans le contexte de la physique fondamentale, où les simulations cherchent à détecter des événements rares, comme par exemple dans les expériences visant à mettre en évidence la diffusion cohérente des neutrinos auprès de réacteur (CEvNS). En effet, ces expériences mettent régulièrement en œuvre des méthodes de détection en coïncidence permettant d'augmenter le rapport signal sur bruit (à titre illustratif on peut imaginer la détection d'un neutron dans un détecteur A et d'un photon dans un détecteur B). Elles représentent un challenge en termes de calcul numérique car leur simulation nécessite l'échantillonnage d'un très grand nombre de particules (de sorte à ce qu'une fraction très faible d'entre elles contribuent à la mesure).

Le sujet de ce stage consiste donc à utiliser l'AMS implémenté dans le code Geant4 et à en optimiser les paramètres dans des configurations dites "multi-particules/multi-détecteurs", afin de pouvoir simuler des événements rares corrélés. Le/la stagiaire devra pour ce faire finaliser les développements déjà entrepris (cf. [4]) puis à en vérifier l'efficacité sur différents cas physiques simples représentatifs. Une fois ce travail terminé, deux pistes pourront être suivies suivant l'intérêt du candidat :

---

1) soit le/la candidat(e) s'intéressera au déploiement de cette méthode dans le code Geant4 lui-même pour qu'il soit accessible à tous les physiciens pour qu'il soit dans la version officielle, 2) soit le/la candidat(e) mettra en place un dispositif expérimental pour comparer les résultats obtenus avec l'AMS à des données expérimentales.

[1] F. Cérou and A. Guyader, Stochastic Analysis and Applications 25(2):417-443, 2007

[2] H. Louvin et al., EPJ Web of Conferences, Vol153, EDP Sciences, 2017

[3] <https://geant4.web.cern.ch>

[4] L. Thulliez, B. Mom et E. Dumonteil, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 1051 (2023) 168190

### **Mots clés**

physique nucléaire, des particules, mécanique quantique, neutronique

### **Compétences**

Méthode de réduction de variance

### **Logiciels**

Python, C++, ROOT (est un plus/is an asset), Geant4 (est un plus/is an asset)



---

# Development of a multi-particles/multi-detectors variance reduction method for nuclear physics experiments

## Summary

## Full description

The Monte Carlo simulation of particle transport has become central in many fields such as fundamental physics, medical physics or space applications just to name a few. In order to overcome the computation time inherent to this method, so-called "variance reduction" techniques are developed, whose objective is to "push" the particles towards the detector(s) without inducing bias on the computation results. Recently, a variance reduction method called Adaptive Multilevel Splitting (AMS) [1,2], which focuses on rare events, has been designed and implemented in different calculation codes, such as the Monte Carlo code TRIPOLI4 developed at CEA or the Monte Carlo code Geant4 developed at CERN by an international collaboration [3]. This method offers very interesting perspectives because it allows to preserve the correlations between the particles contributing to the measurement, which is not possible with standard variance reduction techniques such as Importance Sampling.

This internship topic proposes to evaluate the interest of this approach in the context of fundamental physics, where simulations seek to detect rare events, as for example in experiments aiming to detect the coherent neutrino scattering at nuclear reactors (CEvNS). Indeed, these experiments regularly use coincidence detection methods to increase the signal-to-noise ratio (as an example, one can imagine the detection of a neutron in detector A and a photon in detector B). They represent a challenge in terms of numerical calculation because their simulation requires the sampling of an often-prohibitive number of events (so that a very small fraction of them contribute to the measurement).

The subject of this internship is therefore to use the AMS implemented in the Geant4 code and to optimize its parameters in so-called "multi-particle/multi-detector" configurations, in order to be able to simulate rare correlated events. The trainee will have to finalize the developments already undertaken (see [4]) and to verify their efficiency on different simple representative physical cases. Once this work is completed, two avenues can be pursued, depending on the candidate's interest:

- 1) either the candidate will be interested in deploying this method in the Geant4 code itself, so that it can be made available to all physicists for inclusion in the official version,
- 2) or the candidate will set up an experimental setup to compare the results obtained with AMS with experimental data.

[1] F. Cérou and A. Guyader, *Stochastic Analysis and Applications* 25(2):417-443, 2007

[2] H. Louvin et al., *EPJ Web of Conferences*, Vol153, EDP Sciences, 2017

[3] <https://geant4.web.cern.ch>

[4] L. Thulliez, B. Mom et E. Dumonteil, *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research*, A 1051 (2023) 168190

## Keywords

Nuclear and particle physics, quantum mechanics, neutronics

## Skills

Variance reduction method

## Softwares

---

Python, C++, ROOT (est un plus/is an asset), Geant4 (est un plus/is an asset)



## Detection jointe XMM-Euclid d'amas de galaxies dans le champ profond Fornax

**Spécialité** Astrophysique

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [DAP/LCS](#)

**Candidature avant le** 01/04/2025

**Durée** 6 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [PIERRE Marguerite](#)

+33 1 69 08 34 92

[marguerite.pierre@cea.fr](mailto:marguerite.pierre@cea.fr)

### Résumé

Le but du stage est de simuler et d'examiner la détection conjointe des amas de galaxies en X et en optique dans le champ profond Fornax. Le taux de corrélation dépend de paramètres physiques mal connus à ce jour. Les résultats serviront à entraîner des algorithmes d'intelligence artificielle.

### Sujet détaillé

Le projet XMM Heritage sur le champ profond d'Euclid Fornax a pour but de caractériser les amas de galaxies distants en comparant les détections en X et en optique/IR. Les deux méthodes font appel à des propriétés des amas très différentes.

La gamme de redshift visée ([1,2]) n'a jamais pu être explorée de manière systématique alors qu'elle constitue un domaine critique pour l'utilisation des amas en cosmologie.

Avec Fornax, pour la première fois, on aura accès à un grand volume à ces redshifts, ce qui permettra de quantifier statistiquement l'évolution des amas : rôle des AGN dans les propriétés du gaz intra-amas ? Existe-t-il des amas massifs déficients en gaz ? Quelles sont les biais respectifs de détection en X et en optique ?

Pour préparer l'analyse scientifique du survey Fornax, nous avons développé un ensemble de logiciels de simulation reproduisant fidèlement les caractéristiques d'XMM et d'Euclid. Ceci permet d'évaluer l'impact de divers modèles de physique des amas sur leur détectabilité.

Le stage consistera à tester plusieurs méthodes de corrélation entre les catalogues X et optique, puis à en déduire avec quelle précision on pourra déterminer les paramètres physiques. Le but final est d'utiliser les résultats pour développer des méthodes d'intelligence artificielle pour l'identification X-optique d'amas.

Ce travail constituera la base de l'exploitation scientifique de Fornax et, dans un second temps, un point pivot dans l'analyse cosmologique des amas Euclid sur tout le ciel.

### Mots clés

---

## **Compétences**

Simulation d'observations XMM - Modélisation de l'émission X des amas de galaxies - Intelligence artificielle

## **Logiciels**

Python

---

## **Combined XMM-Euclid cluster detection in the Fornax deep field**

### **Summary**

The goal is to simulate and investigate the joint optical-Xray detection of galaxy clusters in the Fornax Deep Field. The correlation rate depends on physical parameters, that are still poorly known at high redshift. The results will be used to train deep learning networks.

### **Full description**

### **Keywords**

### **Skills**

Simulation of XMM observations - Modelling of the X-ray properties of galaxy clusters - Artificial intelligence

### **Softwares**

Python



## Winds of Change : Modélisation avancée du vent stellaire pour l'évolution stellaire et planétaire

**Spécialité** Astrophysique

**Niveau d'étude** Bac+4/5

**Formation** Master 1

**Unité d'accueil** [DAp/LDE3](#)

**Candidature avant le** 31/01/2025

**Durée** 4 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [STRUGAREK Antoine](#)

+33 1 69 08 30 18

[antoine.strugarek@cea.fr](mailto:antoine.strugarek@cea.fr)

### Résumé

A l'instar du flux continu de plasma émis par le Soleil, toutes les étoiles de type solaire génèrent un flux de plasma similaire, communément appelé vent stellaire. Ce stage vise à caractériser les propriétés physiques et les profils spatiaux des vents stellaires, en tenant compte des variations des caractéristiques stellaires entre les différents types d'étoiles. Une telle étude aura des implications sur notre compréhension de l'évolution stellaire et de l'habitabilité exoplanétaire autour de ces étoiles.

### Sujet détaillé

La détection directe des vents stellaires par des observations est un défi, et notre compréhension de leurs propriétés physiques repose largement sur des méthodes indirectes telles que l'absorption astrosphérique Ly-alpha et les mesures des taux de perte de masse stellaire. L'étude des vents stellaires est cruciale pour comprendre leur impact sur les atmosphères exoplanétaires et l'habitabilité, car les propriétés physiques du vent stellaire près de la planète influencent directement le chauffage atmosphérique. La force relative de la densité d'énergie du vent stellaire par rapport à l'atmosphère planétaire détermine la distance à laquelle le vent peut s'approcher de la surface de la planète, ce qui a des conséquences importantes sur l'évolution de la surface et l'habitabilité. En outre, l'examen des vents stellaires dans différents types d'étoiles peut fournir des informations précieuses sur l'histoire de l'évolution des étoiles elles-mêmes. Le vent stellaire joue également un rôle essentiel dans les interactions magnétiques étoile-planète (SPMI), en particulier pour les exoplanètes proches. Dans ces orbites compactes, une connexion magnétique se forme entre l'étoile et la planète, permettant à l'énergie de la planète d'être transférée à l'étoile, ce qui peut générer des points chauds stellaires observables. Des études récentes suggèrent que l'efficacité de ce transfert d'énergie dépend fortement des propriétés du vent stellaire par lequel l'énergie est canalisée. Il est donc essentiel de bien comprendre et de caractériser précisément les vents stellaires de différents types d'étoiles.

Ce stage vise à étudier les propriétés spatiales des vents stellaires pour différents types d'étoiles en utilisant des simulations magnétohydrodynamiques (MHD) avec des implications sur le transfert d'énergie dû au SPMI. L'étudiant effectuera, sous la supervision d'Arghyadeep Paul et Antoine Strugarek, des simulations numériques avec le code MHD open-source et hautement parallèle PLUTO, pour générer des profils de vents stellaires 1D pour une gamme de

---

paramètres stellaires, y compris la température de surface et le taux de perte de masse stellaire. En outre, la transmission d'énergie à travers le vent stellaire sera étudiée en appliquant divers modèles analytiques de transmission aux données de simulation, dans le but de caractériser l'efficacité de la transmission d'énergie à travers ces profils de vent stellaire simulés.

Les conclusions tirées de ce travail permettront non seulement d'améliorer notre compréhension de la transmittance de l'énergie dans les SPMI, mais aussi de fournir de meilleures contraintes sur les propriétés générales des vents stellaires.

### **Mots clés**

### **Compétences**

Simulations numériques multi-physique

### **Logiciels**

C, Python

---

# **Winds of Change: Advanced modelling of stellar wind for stellar and planetary evolution**

## **Summary**

Analogous to the continuous stream of plasma emitted by the Sun, all stars generate a similar plasma flow, commonly referred to as stellar wind. This internship aims to characterise the physical properties and spatial profiles of stellar winds, accounting for variations in stellar characteristics across different types of stars. Such a study will have implications on our understanding of stellar evolution and exoplanetary habitability around these stars.

## **Full description**

Detecting stellar winds directly through observations is challenging, and our understanding of their physical properties relies heavily on indirect methods such as astrospheric Ly-alpha absorption and measurements of stellar mass loss rates. Studying stellar winds is crucial for understanding their impact on exoplanetary atmospheres and habitability, as the physical properties of the stellar wind near the planet directly influence atmospheric heating. The relative strength of the stellar wind's bulk energy density compared to the planetary atmosphere determines how close the wind can approach the planet's surface, with significant implications for surface evolution and habitability. Additionally, examining stellar winds across different types of stars can provide valuable insights into the evolutionary history of the stars themselves. Another critical role of stellar wind is in star-planet magnetic interactions (SPMI), particularly for close-in exoplanets. In such compact orbits, a magnetic connection forms between the star and the planet, allowing energy from the planet to be transferred back to the star, potentially generating observable stellar hotspots. Recent studies suggest that the efficiency of this energy transfer is highly dependent on the properties of the stellar wind through which the energy is channelled. Therefore, a comprehensive understanding and accurate characterization of stellar winds across different types of stars is essential.

This internship aims to investigate the spatial properties of stellar winds for different stellar types using magnetohydrodynamic (MHD) simulations with implications on energy transfer due to SPMI. The student will, under the supervision of Arghyadeep Paul and Antoine Strugarek, perform numerical simulations with the open-source, highly parallel MHD code, PLUTO, to generate 1D stellar wind profiles across a range of stellar parameters, including surface temperature and stellar mass loss rate. Furthermore, energy transmittance through the stellar wind will be investigated by applying various analytical transmission models to the simulation data, aiming to characterise the efficiency of energy transmission through these simulated stellar wind profiles.

The conclusions drawn from this work will not only enhance our understanding of energy transmittance in SPMI but will also provide better constraints on the general properties of stellar winds.

## **Keywords**

### **Skills**

Multi-physics numerical simulations

### **Softwares**

C, Python





## Classification du type de courbes de lumière de la mission TESS (NASA) par des algorithmes d'apprentissage automatique

**Spécialité** Astrophysique

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [DAP/LDE3](#)

**Candidature avant le** 01/12/2024

**Durée** 5 mois

**Poursuite possible en thèse** non

**Contact** [GARCIA Rafael A.](#)  
+33 1 69 08 27 25  
[rafael.garcia@cea.fr](mailto:rafael.garcia@cea.fr)

### Résumé

Ce stage se présente comme une introduction à la physique stellaire et, en particulier, à la rotation de la surface des étoiles et à leur évolution temporelle, tout en permettant à l'étudiant de maîtriser les algorithmes modernes d'analyse de données de pointe, y compris les algorithmes de technique machine.

### Sujet détaillé

Les étoiles similaires au Soleil avec des enveloppes convectives externes développent une activité et des cycles magnétiques comme conséquence de l'interaction entre la rotation, la convection et les champs magnétiques. Grâce aux taches sombres et aux facules lumineuses évoluant à leur surface, il est possible de mesurer la rotation moyenne de la surface des étoiles à l'aide de longs relevés photométriques comme ceux réalisés par la mission TESS (Transit Exoplanet Survey Satellite) de la NASA.

Malheureusement, les observations TESS souffrent de nombreux problèmes instrumentaux qui affectent la stabilité des mesures, ce qui rend difficile l'étude des taux de rotation de la surface. Pour atténuer ces problèmes, nous aimerions étudier lors de ce stage, le développement d'une méthodologie de classification basée sur des algorithmes d'apprentissage automatique afin de déterminer le type de problèmes dans la courbe de lumière et d'appliquer la meilleure méthode de correction à chacun.

Ce stage se présente comme une introduction à la physique stellaire et, en particulier, à la rotation de la surface des étoiles et à leur évolution temporelle, tout en permettant à l'étudiant de maîtriser les algorithmes modernes d'analyse de données de pointe, y compris les algorithmes de technique machine.

### Mots clés

---

Physique stellaire, rotation de surface, analyse de données, méthodes d'apprentissage profond.

### **Compétences**

Méthodes d'apprentissage profond Méthodes "Bayesian" Data Mining

### **Logiciels**

Python

---

## **Classifying type of NASA/TESS light curves by Machine learning algorithms**

### **Summary**

This internship will then be an introduction to stellar physics and, in particular to the surface rotation of stars and their time evolution, while allowing the student to master modern state of the art data analysis algorithms including machine technique algorithms.

### **Full description**

Stars similar to the Sun with external convective envelopes develop magnetic activity and cycles as a consequence of the interaction between, rotation, convection, and magnetic fields. Thanks to the dark spots and bright faculae evolving at their surfaces, it is possible to measure the average surface rotation of the stars using long photometric surveys such as the ones done by the NASA TESS mission (Transit Exoplanet Survey Satellite).

Unfortunately, TESS observations suffer many instrumental issues that affect the stability of the measurements, which make difficult the study of the surface rotation rates. To mitigate these issues, we would like to study during this internship, the development of a classification methodology based in machine learning algorithms in order to determine the type of problems in the light curve and apply the best correction method to each one.

This internship will then be an introduction to stellar physics and, in particular to the surface rotation of stars and their time evolution, while allowing the student to master modern state of the art data analysis algorithms including machine technique algorithms.

### **Keywords**

Stellar physics, Surface rotation, data analysis, Machine learning analysis

### **Skills**

Machine learning analysis Bayesian Methods Data Mining

### **Softwares**

Python



## Apprentissage automatique pour la conception de réseaux radio-interférométriques

**Spécialité** Astrophysique

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [DAP/LCS](#)

**Candidature avant le** 31/12/2024

**Durée** 6 mois

**Poursuite possible en thèse** non

**Contact** [Farrens Samuel](#)

+33 1 69 08 83 77

[samuel.farrens@cea.fr](mailto:samuel.farrens@cea.fr)

**Autre lien**

<https://www.cosmostat.org/jobs/ml-for-radio-interferometric-array-design>

### Résumé

Ce projet vise à concevoir de nouvelles solutions d'apprentissage automatique au problème de l'optimisation de la configuration de la ligne de base des interféromètres radio. Le candidat retenu apprendra les principes fondamentaux de la radioastronomie ainsi que l'état de l'art en matière d'architectures d'apprentissage automatique.

### Sujet détaillé

La radioastronomie a connu des avancées remarquables au cours des dernières décennies, les radiotélescopes atteignant une résolution et une sensibilité sans précédent dans les observations du ciel profond.

Les interféromètres radio, qui combinent les signaux de plusieurs antennes pour obtenir une résolution angulaire supérieure, sont un moteur essentiel de ces progrès.

Contrairement aux télescopes monodisque, où la résolution est limitée par la taille de l'antenne, les interféromètres s'appuient sur la séparation maximale entre les antennes (lignes de base) et les antennes (lignes de base).

entre les antennes (lignes de base), ce qui élimine le besoin de grands réflecteurs à parabole. Cependant, cette résolution améliorée s'accompagne d'une complexité accrue dans la reconstruction des images.

La résolution s'accompagne d'une complexité accrue dans la reconstruction de l'image. Les observations sont affectées par

la fonction d'étalement du point (PSF) du réseau, ou faisceau, qui dépend de la disposition physique des antennes individuelles.

antennes. Pour atténuer ces effets, des méthodes de « nettoyage » sont employées pour déconvoluer la PSF de l'interféromètre des images.

PSF de l'interféromètre dans les images.

---

Une approche potentielle pour améliorer encore la qualité de l'image consiste à optimiser la distribution spatiale des antennes. Cette stratégie vise à façonner la PSF du réseau, en minimisant les lobes secondaires, en réduisant la redondance de la ligne de base et en adaptant la forme du faisceau aux besoins d'applications scientifiques spécifiques,

et à adapter la forme du faisceau aux besoins d'applications scientifiques spécifiques. En positionnant intelligemment les antennes, il pourrait être possible d'améliorer l'efficacité des algorithmes de déconvolution et, en fin de compte, la qualité des interféromètres radio.

la qualité des observations radio-interférométriques. Ce projet se concentrera sur l'étude de l'application de solutions d'apprentissage automatique (ML) pour optimiser la position des antennes en fonction d'objectifs scientifiques spécifiques.

### **Mots clés**

### **Compétences**

### **Logiciels**

Python, TensorFlow

---

# Machine Learning for Radio Interferometric Array Design

## Summary

This project aims to design novel machine learning solutions to the problem of optimising the baseline configuration for radio interferometers. The successful applicant will become with the fundamentals of radio astronomy as well as the state of the art in machine learning architectures.

## Full description

The CosmoStat group at CEA Paris-Saclay invites applications for a master student (M2) to work with Ezequiel Centofanti and Dr. Samuel Farrrens on machine learning for radio interferometric array design. CEA Paris-Saclay is located 20km south of Paris, France, in the vicinity of various universities and other research centres. The CosmoStat group is a diverse and multi-disciplinary team of researchers working on various topics in cosmology. Our group is committed to diversity and equality, and encourage applications from women and underrepresented minorities. We support a flexible and family-friendly work environment.

## Context

Radio astronomy has witnessed remarkable advancements in recent decades, with radio telescopes achieving unprecedented resolution and sensitivity in deep sky observations. A key driver of this progress are radio interferometers, which combine signals from multiple antennas to achieve superior angular resolution. Unlike single-dish telescopes, where resolution is limited by antenna size, interferometers rely on the maximum separation between antennas (baselines), eliminating the need for large dish reflectors. However, this enhanced resolution comes with increased complexity in image reconstruction. The observations are affected by the array's point spread function (PSF), or beam, which depends on the physical arrangement of individual antennas. To mitigate these effects, "cleaning" methods are employed to deconvolve the interferometer's PSF from the images.

A potential approach to further improve image quality involves optimising the spatial distribution of antennas. This strategy aims to shape the array's PSF, minimising secondary lobes, reducing baseline redundancy, and tailoring the beam shape for the needs of specific scientific applications. By intelligently positioning antennas, it could be possible to enhance the effectiveness of deconvolution algorithms and ultimately improve the quality of radio interferometric observations. This project will focus on investigating the application of machine learning (ML) solutions for optimising the antenna positions for specific scientific goals.

## Outline of project objectives

The internship will essentially be comprised of the following tasks and objectives:

1. Get familiarised with radio interferometric observations and deconvolution algorithms.
2. Study how the antennas placement thus, the PSF, impacts the imaging process in the context of different science cases.
3. Review the current state-of-the-art on antenna placement for radio interferometers.
4. Propose a machine learning solution for optimising the antenna distribution for specific scientific goals.

## Candidate

The candidate should be a Master 2 (or equivalent) student with background in either physics/astrophysics or applied maths/signal processing/data science. Knowledge of machine learning methods would be a plus. Experience with Python is not required, but would be advantageous.

## Internship

The internship will take place in the CosmoStat laboratory, under the supervision of Ezequiel Centofanti and Samuel Farrrens.

- Deadline for applications: December 12th, 2024.
- Contact: Samuel Farrrens ([samuel.farrrens@cea.fr](mailto:samuel.farrrens@cea.fr)), Ezequiel Centofanti ([ezequiel.centofanti@cea.fr](mailto:ezequiel.centofanti@cea.fr)).

- 
- Duration: 4-6 months

**Keywords**

Machine learning, artificial intelligence, signal processing

**Skills****Softwares**

Python, TensorFlow



## Localiser les photons gamma dans les 3 dimensions d'un détecteur semi-conducteur en CdZnTe : prédictions par simulations et études expérimentales

**Spécialité** PHYSIQUE

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [DEDIP/LASYD](#)

**Candidature avant le** 16/04/2025

**Durée** 5 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [LE BRETON Rémy](#)

+33 1 69 08 67 57

[remy.le-breton@cea.fr](mailto:remy.le-breton@cea.fr)

### Résumé

### Sujet détaillé

Plusieurs groupes dans le monde, dont le nôtre au CEA-Saclay, ont développé des concepts de spectro-imageurs X dur à base de semi-conducteurs haute densité pixélisés pour l'astrophysique (CZT pour NuSTAR, CdTe pour Solar Orbiter) ou pour des applications industrielles (Hexitec, CdTe). Leur gamme d'énergie reste toutefois limitée à environ 200 keV en raison de la faible épaisseur des cristaux et de leurs limitations intrinsèques d'exploitation. Pour repousser la gamme en énergie au-delà du MeV, il faut des cristaux plus épais associés à des bonnes propriétés de transport des porteurs de charge. Cela est actuellement possible avec du CZT, mais nécessite néanmoins de relever plusieurs défis.

Dans un détecteur pixélisé où seules les coordonnées X et Y de l'interaction sont enregistrées, augmenter l'épaisseur du cristal dégrade les performances spectrales. Obtenir l'information de profondeur d'interaction Z dans un cristal monolithique permet théoriquement de lever le verrou associé. Cela nécessite le déploiement de méthodes expérimentales, de simulations physiques, de conception de circuits de microélectronique de lecture et de méthodes d'analyse de données originales.

L'objectif du stage est une étude de faisabilité de la méthode instrumentale envisagée se basant sur la mesure simultanée des signaux à la cathode et à l'anode du détecteur. Pour cela, il s'agira d'abord de réaliser une simulation du détecteur pour prédire la forme des signaux sur les électrodes en fonction de la position d'interaction (X, Y, Z) du photon. Puis il faudra reproduire ces signaux en laboratoire à l'entrée d'une nouvelle électronique de lecture (circuit intégré conçu par notre équipe) pour valider son intérêt pour le projet ou les besoins d'évolution de la conception.

Pour mener à bien ce projet, l'étudiant pourra s'appuyer sur un environnement de simulation développé en Python et en Julia pour des détecteurs CdTe minces, ainsi que des bancs de mesure existant pour des circuits de lecture



---

similaires. Il sera intégré dans une équipe d'ingénieurs-chercheurs avec des physiciens instrumentalistes, des concepteurs de circuits de lecture et des ingénieurs de test. Ce stage pourra se poursuivre en thèse dans l'objectif de concevoir un nouveau type de détecteur aux performances totalement inédites pour l'astrophysique gamma et pour l'industrie nucléaire.

### **Mots clés**

détecteur semi-conducteur, spectroscopie gamma, simulations physiques, instrumentation, électronique analogique, ASIC

### **Compétences**

simulations physiques, mesures physiques, électronique analogique

### **Logiciels**

python, julia

---

## **Locating gamma photons in the 3 dimensions of a CdZnTe semiconductor detector: predictions by simulations and experimental studies**

### **Summary**

### **Full description**

Several groups around the world, including our own at CEA-Saclay, have developed concepts for hard X-ray imaging spectrometer based on pixelated high-density semiconductors for astrophysics (CZT for NuSTAR, CdTe for Solar Orbiter) or for industrial applications (Hexitec, CdTe). However, their energy range remains limited to around 200 keV due to the thinness of the crystals and their intrinsic operating limitations. To extend the energy range beyond MeV, thicker crystals with good charge carrier transport properties are needed. This is currently possible with CZT, but a number of challenges need to be overcome.

In a pixelated detector where only the X and Y coordinates of the interaction are recorded, increasing the thickness of the crystal degrades spectral performance. Obtaining Z interaction depth information in a monolithic crystal theoretically makes it possible to overcome the associated problem. This requires the deployment of experimental methods, physical simulations, the design of readout microelectronics circuits and original data analysis methods.

The aim of the internship is to carry out a feasibility study on the proposed instrumental method based on the simultaneous measurement of signals at the detector's cathode and anode. To do this, we will first carry out a simulation of the detector to predict the shape of the signals on the electrodes as a function of the interaction position (X, Y, Z) of the photon. These signals will then have to be reproduced in the laboratory at the input of a new electronic readout (integrated circuit designed by our team) to validate its relevance for the project or the need for design changes.

To carry out this project, the student will be able to use a simulation environment developed in Python and Julia for thin CdTe detectors, as well as existing test benches for similar readout circuits. The student will be part of a team of research engineers including instrumental physicists, readout circuit designers and test engineers. This internship could be followed by a PhD with the aim of designing a new type of detector with completely new performance for gamma-ray astrophysics and the nuclear industry.

### **Keywords**

semiconductor detector, gamma spectroscopy, simulations, instrumentation, analog electronics, ASIC

### **Skills**

simulations, measurements, analog electronics

### **Softwares**

python, julia



## Etude de faisabilité par simulation d'expériences de production de noyaux radioactifs auprès du futur irradiateur pour la fusion IFMIF-DONES

**Spécialité** Physique nucléaire

**Niveau d'étude** Bac+4/5

**Formation** Ingenieur/Master

**Unité d'accueil** [DPhN/LEARN](#)

**Candidature avant le** 30/04/2025

**Durée** 4 mois

**Poursuite possible en thèse** non

**Contact** [LETOURNEAU Alain](#)

+33 1 69 08 76 01

[alain.letourneau@cea.fr](mailto:alain.letourneau@cea.fr)

### Résumé

Le travail de stage consistera à étudier par simulation la possibilité d'utiliser les neutrons produits par l'installation IFMIF-DONES pour réaliser des expériences de physique nucléaire et notamment de production de noyaux radioactifs.

### Sujet détaillé

IFMIF-DONES (International Fusion Materials Irradiation Facility DEMO Oriented Neutron Source) [1] sera la plus intense source de neutrons au monde. Elle est en cours de construction en Espagne et servira à étudier les effets des neutrons dans les matériaux de structure qui seront utilisés dans les futurs réacteurs de fusion. Les neutrons seront produits par un faisceau de deutons de 50 MeV frappant une cible de lithium liquide. Si la principale utilisation de l'installation sera pour l'étude des matériaux de fusion, une étude préliminaire menée par notre équipe [2], a montré que IFMIF-DONES présentait de nombreux intérêts pour nombre d'applications comme l'imagerie neutronique, la production de radioéléments, les études fondamentales, ....

Dans ce travail de stage, nous proposons d'étudier la possibilité d'implanter des expériences de physique nucléaire dans une salle d'expérience située à l'arrière de la zone d'irradiation et dans laquelle un faisceau collimaté de neutrons pourrait être disponible. Les expériences prévues sont de deux types : la spectroscopie gamma de noyaux riches en neutrons produits par fission d'une cible d'actinide ; la mesure de réactions nucléaires d'intérêt pour la nucléosynthèse stellaire. Pour ces deux expériences, il s'agira d'évaluer les taux de production pour comparer à d'autres installations et d'estimer les bruits de fond induits par les neutrons et les rayonnements gamma afin d'en définir la faisabilité.

Le logiciel Geant4, écrit en C++ et développé par le CERN pour traiter de l'interaction rayonnement matière, sera utilisé à ces fins de simulation.

Ce travail viendra compléter un travail déjà réalisé sur l'utilisation des neutrons dans IFMIF-DONES et sera le point de départ pour définir les futures expériences qui prendront place dans l'installation.

Des connaissances en C++ et calculs numériques sont souhaitables.

---

[1] <https://ifmif-dones.es/>

[2] J. Hirtz et al., "Neutron availability in the Complementary Experiments Hall of the IFMIF-DONES facility", Fusion Engineering and Design 179 (2022) 113133, arXiv:2201.08711

### **Mots clés**

Physique nucléaire, Neutronique, Simulation

### **Compétences**

Des connaissances en C++ et calculs numériques sont souhaitables.

### **Logiciels**

Geant4

---

# Simulation-based feasibility study of radioactive nuclei production experiments at the future IFMIF-DONES fusion irradiator

## Summary

The internship will involve simulating the possibility of using the neutrons produced by the IFMIF-DONES facility to carry out nuclear physics experiments, and in particular to produce radioactive nuclei.

## Full description

IFMIF-DONES (International Fusion Materials Irradiation Facility DEMO Oriented Neutron Source) [1] will be the world's most intense neutron source. Currently under construction in Spain, it will be used to study the effects of neutrons in the structural materials to be used in future fusion reactors. The neutrons will be produced by a 50 MeV deuteron beam striking a liquid lithium target. While the main use of the facility will be for the study of fusion materials, a preliminary study carried out by our team [2] has shown that IFMIF-DONES is of great interest for a number of applications, such as neutron imaging, radioelement production, fundamental studies, etc. ....

In this internship, we propose to study the possibility of setting up nuclear physics experiments in an experiment room located behind the irradiation zone, where a collimated neutron beam could be available. Two types of experiments are planned: gamma spectroscopy of neutron-rich nuclei produced by fission of an actinide target; and measurement of nuclear reactions of interest for stellar nucleosynthesis. For these two experiments, the aim will be to evaluate production rates for comparison with other facilities, and to estimate the background noise induced by neutrons and gamma rays, in order to define their feasibility. Indeed, these experiments use detectors that are highly sensitive to radiation, and could be blinded or fail to operate in excessively noisy environments.

The Geant4 software package, written in C++ and developed by CERN to deal with radiation-matter interaction, will be used for these simulation purposes.

This work will complement work already carried out on the use of neutrons in IFMIF-DONES, and will be the starting point for defining future experiments to be carried out in the facility.

[1] <https://ifmif-dones.es/>

[2] J. Hirtz et al., "Neutron availability in the Complementary Experiments Hall of the IFMIF-DONES facility", Fusion Engineering and Design 179 (2022) 113133, arXiv:2201.08711

## Keywords

## Skills

## Softwares

Geant4



IRFU : Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'univers

Saclay

[DAP/LCS](#)

## Dévoiler le champ de marée cosmologique en trois dimensions

**Spécialité** Astrophysique

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [DAP/LCS](#)

**Candidature avant le** 23/04/2025

**Durée** 5 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [Kilbinger Martin](#)  
+33 1 69 08 17 53  
[martin.kilbinger@cea.fr](mailto:martin.kilbinger@cea.fr)

**Autre lien**  
<https://www.cosmostat.org/jobs/uncovering-3d-cosmos>

### Résumé

### Sujet détaillé

Voir page du sujet <https://www.cosmostat.org/jobs/uncovering-3d-cosmos>

### Mots clés

### Compétences

### Logiciels

python

---

## Uncovering the three-dimensional cosmological tidal field

### Summary

This internship will estimate 3D orientations of galaxies and measure correlations between 3D shapes of galaxies with UNIONS and SDSS data. This will serve as an important precursor study with future Euclid data.

### Full description

See internship page <https://www.cosmostat.org/jobs/uncovering-3d-cosmos>

### Keywords

cosmology, galaxy formation

### Skills

statistical analysis, imaging data processing, spatial correlation functions

### Softwares

python



IRFU : Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'univers

Saclay

[D'Ap/LCS](#)

## Inférence au niveau du champ des cartes de lentille gravitationnelle faible dans le relevé UNIONS (Ultraviolet Near Infrared Optical Northern Survey)

**Spécialité** Astrophysique

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [D'Ap/LCS](#)

**Candidature avant le** 23/04/2025

**Durée** 5 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [Kilbinger Martin](#)

+33 1 69 08 17 53

[martin.kilbinger@cea.fr](mailto:martin.kilbinger@cea.fr)

**Autre lien** [https://www.cosmostat.org/jobs/sbi\\_wl](https://www.cosmostat.org/jobs/sbi_wl)

### Résumé

### Sujet détaillé

Voir page du sujet [https://www.cosmostat.org/jobs/sbi\\_wl](https://www.cosmostat.org/jobs/sbi_wl)

### Mots clés

### Compétences

### Logiciels

python



---

## **Field-level inference of weak lensing map statistics in the Ultraviolet Near Infrared Optical Northern Survey (UNIONS)**

### **Summary**

The goal of the internship is to set up a pipeline to perform full-field inference of UNIONS. Carrying out a simulation-based analysis of UNIONS weak lensing data is of interest to compare with other surveys, such as DES or KiDS, and to prepare the data processing of the European space mission Euclid.

### **Full description**

See internship page [https://www.cosmostat.org/jobs/sbi\\_wl](https://www.cosmostat.org/jobs/sbi_wl)

### **Keywords**

cosmology, machine learning

### **Skills**

deep learning, neural density estimation, statistical inference

### **Softwares**

python



## Analyse des rayons gamma retardés de la fission thermique de l'U-235 mesurés sur le spectromètre FIPPS

**Spécialité** Physique nucléaire

**Niveau d'étude** Bac+4/5

**Formation** Ingenieur/Master

**Unité d'accueil** [DPhN/LEARN](#)

**Candidature avant le** 04/05/2025

**Durée** 3 mois

**Poursuite possible en thèse** non

**Contact** [Materna Thomas](#)  
+33 1 69 08 40 91  
[thomas.materna@cea.fr](mailto:thomas.materna@cea.fr)

### Résumé

Le stage consistera à développer un code d'analyse semi-automatique de spectres bidimensionnels. Il sera appliqué aux données du spectromètres FIPPS pour étudier la production des rayons gamma retardés de la fission thermique de l'U-235.

### Sujet détaillé

L'anomalie des antineutrinos de réacteur, à savoir un déficit significatif, de  $5.5 \pm 1.2$  % dans le nombre d'antineutrinos détectés à courte distance des réacteurs reste une énigme. Les résultats de plusieurs expériences de grande envergure, dont celle menée par notre laboratoire avec le détecteur STEREO auprès du réacteur à haut flux de Grenoble, confirment l'anomalie mais rejette l'hypothèse proposée initialement, celle d'une oscillation des antineutrinos vers un état stérile. L'hypothèse actuellement retenue est l'existence de biais dans la prédiction obtenue à partir des spectres beta de référence, mesurés dans les années 80 avec le spectromètre magnétique BILL auprès du réacteur de Grenoble. La prédiction de spectres des antineutrinos directement à partir des données nucléaires actuelles, et donc sans utiliser les mesures BILL, est également possible mais les incertitudes sont dominées par des erreurs et/ou des lacunes dans les données de décroissance beta (effet Pandémonium).

Le stage consistera à poursuivre le développement d'un code d'analyse de spectres bidimensionnels basé sur des méthodes de Machine Learning. Ce code sera utilisé pour extraire dans les données du spectromètre FIPPS de l'ILL les productions précises de rayons gamma retardés de différents noyaux produits lors de la fission thermique de l'U-235 et de les comparer aux valeurs calculées avec les données nucléaires actuelles (rendements de fission, données de décroissance). Ces résultats permettront à terme d'évaluer un modèle de la fonction force beta développé dans notre laboratoire permettant de corriger l'effet Pandémonium.

De bonnes connaissances en physique nucléaire et un attrait marqué pour l'expérimentation et l'analyse des données sont indispensables. Ce stage requière de très bonnes compétences en programmation. Une connaissance de l'environnement ROOT et des techniques de Machine Learning sont un atout sans être une obligation.

---

**Mots clés**

Spectroscopie gamma, fission nucléaire, désintégration beta

**Compétences**

Analyse de spectres de rayons gamma

**Logiciels**

C++, ROOT, python

---

## **Analysis of delayed gamma rays from U-235 thermal fission measured on the FIPPS spectrometer**

### **Summary**

The internship will consist in developing a semi-automatic software tool for the analysis of two-dimensional spectra. It will be applied to data from the FIPPS spectrometer to study the production of delayed gamma rays from the thermal fission of U-235.

### **Full description**

The reactor antineutrino anomaly, namely a significant deficit of  $5.5 \pm 1.2$  % in the number of antineutrinos detected at short distance from the reactors remains an enigma. The results of several large-scale experiments, including the one carried out by our laboratory with the STEREO detector at the high flux reactor of Grenoble, confirm the anomaly but reject the hypothesis initially proposed, an oscillation of antineutrinos towards a sterile state. The current hypothesis is the existence of biases in the prediction obtained from reference beta spectra, measured in the 1980s with the BILL magnetic spectrometer at the Grenoble reactor. The prediction of antineutrino spectra directly from actual nuclear data, and thus without using the BILL measurements, is also possible but the uncertainties are dominated by errors and/or gaps in the beta decay data (Pandemonium effect).

The aim of the internship is to complete the development of a two-dimensional spectra analysis code based on Machine Learning techniques. This code will be used to extract in data from the FIPPS spectrometer (ILL) the precise production of delayed gamma-rays from various nuclei produced during the thermal fission of U-235, and to compare them with values calculated with current nuclear data (fission yields, decay data). These results will later be used to evaluate a model of the beta force function developed in our laboratory with the aim of correcting for the Pandemonium effect.

A good knowledge of nuclear physics and a strong interest in experimentation and data analysis are essential. This internship requires very good programming skills. Knowledge of the ROOT environment and Machine Learning techniques is an asset, but not a requirement.

### **Keywords**

Gamma-ray spectroscopy, nuclear fission, beta decay

### **Skills**

Gamma-ray spectra analysis

### **Softwares**

C++, ROOT, python



## Analyse jointe de la distribution des galaxies de DESI et du lentillage du CMB

**Spécialité** Astrophysique

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [DPhP](#)

**Candidature avant le** 06/05/2025

**Durée** 4 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [de MATTIA Arnaud](#)

+33 1 69 08 62 34

[arnaud.de-mattia@cea.fr](mailto:arnaud.de-mattia@cea.fr)

### Résumé

Ce stage sera axé sur une analyse jointe novatrice des données du Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) et des mesures de lentillage de fond diffus cosmologique (CMB) issues de Planck et du télescope cosmologique d'Atacama (ACT). Ce travail ouvrira la voie au projet de doctorat intitulé "Inférence bayésienne avec des simulateurs différentiables pour l'analyse jointe de la distribution des galaxies et du lentillage du CMB".

### Sujet détaillé

#### Contexte

Le Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) est un spectrographe multi-objets installé sur le télescope Mayall à Kitt Peak, en Arizona. Il peut mesurer le spectre de 5000 objets à chaque pointé. DESI a commencé ses opérations en mai 2021 et permettra de mesurer le décalage vers le rouge de 40 millions de galaxies et de quasars avec un décalage inférieur à 4,2 sur une période de 5 ans, augmentant ainsi de dix fois les statistiques par rapport aux précédentes enquêtes spectroscopiques (par exemple, BOSS, eBOSS).

L'étude des propriétés statistiques du champ de densité des galaxies, déduit des positions observées des galaxies, permet de fortement contraindre les modèles cosmologiques. Par l'intermédiaire de la signature des oscillations acoustiques de baryons (BAO), ces analyses permettent de mesurer l'histoire de l'expansion de l'Univers et, par conséquent, son contenu énergétique, y compris la dynamique de l'énergie noire. Les résultats cosmologiques obtenus à partir de la première année de données de DESI, combinés avec les données du fond diffus cosmologique (CMB) et des supernovae, ont révélé une petite tension avec le modèle actuel de la constante cosmologique, suggérant une possible nature dynamique de l'énergie noire, un résultat qui a suscité un grand intérêt dans la communauté. Les relevés du décalage vers le rouge des galaxies permettent également d'étudier la croissance des structures cosmiques sur une large gamme d'échelles et de décalages spectraux. De telles mesures permettent de tester rigoureusement la relativité générale en tant que moteur de la croissance des structures. Les résultats de la première année de données de DESI seront publiés en novembre.

---

Une autre méthode importante pour sonder la structure à grande échelle de l'Univers est le lentillage gravitationnel, qui résulte du fait que la trajectoire de la lumière des galaxies d'arrière-plan ou du CMB est déviée par le champ gravitationnel des structures massives situées entre la source et l'observateur. La combinaison de la distribution des galaxies et du lentillage faible du CMB (dans des analyses dites "3x2 points") permet une mesure tomographique du signal de lentillage et lève la dégénérescence entre le biais des galaxies et la croissance des structures, propre aux analyses utilisant uniquement la distribution des galaxies. Les mesures de lentillage faible de la croissance des structures (par le biais du paramètre  $S_8 = \sigma_8 (\Omega_m / 0.3)^{0.5}$ ) ont montré des valeurs de 2-3 sigma inférieures à celles inférées à partir des données Planck dans le modèle  $\Lambda$ CDM, bien que certaines études récentes aient trouvé une meilleure concordance. Récemment, la distribution des galaxies et le lentillage du CMB ont été analysés conjointement pour poser des contraintes sur le paramètre  $f_{NL}$ , qui quantifie la quantité de non-gaussianité générée par l'inflation. En particulier, la détection d'un  $f_{NL}$  largement supérieur à 1 exclurait l'inflation à champ unique.

### Travail proposé

Dans ce projet, nous combinerons les données DESI avec les récents résultats de Planck PR4 et ACT DR6. La première version des données DESI (DR1) constitue le plus grand ensemble de données spectroscopiques jamais obtenu. Nous examinerons des échantillons de galaxies rouges lumineuses (0.4

La réalisation d'une telle analyse nécessite une estimation de la covariance conjointe entre la distribution 3D des galaxies et le lentillage du CMB. Nous aborderons ce problème par des calculs analytiques et des simulations rapides des données observées. Le simulateur sera implémenté en JAX, qui permet des calculs sur GPU et la différenciation automatique, ce qui sera utile pour des applications futures (voir le projet de doctorat associé). En partant du solveur à N corps rapide JaxPM, développé par des collaborateurs, le candidat implémentera la relation entre le champ de matière noire et le champ de densité des galaxies, la fonction de sélection du relevé DESI et le lentillage du CMB.

### Lieu de travail

Le stage se déroulera au sein du Département de Physique des Particules (DPhP) de l'Institut de Recherche sur les lois fondamentales de l'Univers (Irfu). Le candidat travaillera au sein du groupe de cosmologie du DPhP, qui regroupe 10 chercheurs permanents, 2 post-doctorants et 3 doctorants. Au cours de la dernière décennie, le groupe a participé à d'importantes collaborations internationales : SNLS, Planck, BOSS et eBOSS, où il était responsable de plusieurs analyses cosmologiques clés. Récemment, le groupe a joué un rôle déterminant dans l'instrument DESI, la préparation du relevé et l'analyse cosmologique. Le candidat bénéficiera donc de l'expertise et de l'implication du groupe en rejoignant la collaboration DESI, qui regroupe environ 1000 physiciens, ingénieurs et étudiants de 72 institutions.

Dans le cadre de son travail au sein de DESI, il aura accès au National Energy Research Scientific Computing Center à Berkeley, en Californie, pour effectuer ses analyses. Des allocations pourraient être soumises au supercalculateur Jean Zay du CNRS à Orsay pour couvrir les besoins supplémentaires en calcul.

### Compétences requises

Une solide formation en cosmologie, en analyse statistique et en programmation informatique est attendue. Une expérience avec le calcul scientifique en Python et les bibliothèques numériques est vivement appréciée.

### Mots clés

cosmologie, grandes structures, lentillage gravitationnel faible

### Compétences

### Logiciels

---

Python / JAX (<https://jax.readthedocs.io/en/latest/quickstart.html>)

---

# Joint Analysis of DESI Galaxy Clustering and CMB Lensing

## Summary

This internship will focus on a pioneering joint analysis of data from the Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) and Cosmic Microwave Background (CMB) lensing measurements from Planck and the Atacama Cosmology Telescope (ACT). The work will pave the way for the PhD project titled "Bayesian Inference with Differentiable Simulators for the Joint Analysis of Galaxy Clustering and CMB Lensing".

## Full description

### Context

The Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) is a multi-object spectrograph mounted on the Mayall telescope at Kitt Peak, Arizona. It is able to measure the spectra of 5000 objects at each pointing. DESI has started operations in May 2021 and will enable redshift measurements for 40 million galaxies and quasars at redshift below 4.2 over 5 years, yielding a tenfold increase in statistics compared to previous spectroscopic surveys (e.g. BOSS, eBOSS).

The study of the statistical properties of the galaxy density field, inferred from observed galaxy positions, allows stringent constraints to be put on cosmological models. Through the signature of baryon acoustic oscillations (BAO), such so-called clustering analyses can measure the expansion history of the Universe, hence its energy content, including the dynamics of dark energy. Cosmological results obtained from the first year of DESI data, combined with cosmic microwave background (CMB) and supernovae datasets have revealed a potential tension with the current cosmological constant model, suggesting the possibility of a dynamic nature for dark energy, a finding which has sparked great interest within the community. Galaxy redshift surveys also probe the growth of cosmic structure on a wide range of scales and redshifts. Such measurements allow stringent test of general relativity as a fuel for structure growth. The results obtained from the first year of DESI data will be released in November.

Another important probe of the large scale structure of the Universe is gravitational lensing, as a result of the path of light from background galaxies or the CMB being deflected by the gravitational fields of massive structures between the emission and the observer. The combination of galaxy clustering and CMB weak lensing (through so-called 3x2-pt analyses) allow a tomographic measurement of the lensing signal and break the degeneracy between galaxy bias and the growth of structure of clustering-only analyses. Weak lensing measurements of the growth of structure (through the parameter  $S_8 = \sigma_8 (\Omega_m / 0.3)^{0.5}$ ) have been found to be 2-3 sigma lower than the value inferred from Planck CMB data within LCDM, though some recent studies have found a better agreement. Recently, galaxy clustering and CMB lensing have been analyzed jointly to set constraints on the parameter  $f_{NL}$  which quantifies the amount of non-Gaussianity generated by inflation. In particular, detecting  $f_{NL} \gg 1$  would rule out single-field inflation.

### Suggested work

In this project, we will combine DESI data with the recent Planck PR4 & ACT DR6 release. The available first DESI data release (DR1) constitutes the largest spectroscopic dataset ever assembled. We will consider samples of luminous red galaxies (0.4

Performing such an analysis requires an estimation of the joint covariance between the 3D galaxy clustering and CMB lensing. We will approach this challenge with analytic calculation and fast simulations of observational data. The simulator will be implemented in the JAX framework, which allows for computation on the GPU, and automatic differentiation, which will prove useful for future applications (as proposed in the associated PhD project). Starting from fast N-body solver JaxPM developed by collaborators, the candidate will implement the relation between the dark matter field and the galaxy density field, the DESI survey selection and the CMB lensing observable.

### Work place

The internship will be carried out in the Particle Physics Department (DPhP) of the Institute for Research on the fundamental laws of the Universe (Irfu).



---

The candidate will work within the DPhP cosmology group, gathering 10 permanent researchers, 2 postdocs and 3 PhD students. Over the last decade, the group has participated to major international collaborations: SNLS, Planck, BOSS and eBOSS, where it was responsible for several key clustering analyses. Lately the group has occupied a decisive role in the DESI instrument, the survey preparation and the cosmological analysis. The candidate will thus benefit from the expertise and involvement of the group when joining the DESI collaboration, which gathers about 1000 physicists, engineers and students coming from 72 institutions.

As part of their work within DESI, they will be granted access to the National Energy Research Scientific Computing Center at Berkeley, California, to perform their analyses. Allocations could be submitted at the CNRS Jean Zay supercalculator in Orsay to cover extra computing needs.

Solid groundings are expected in cosmology, statistical analysis and computer programming. Experience with Python scientific computing and numerical libraries is greatly appreciated.

### **Keywords**

cosmology, large scale structure, weak gravitational lensing

### **Skills**

### **Softwares**

Python / JAX (<https://jax.readthedocs.io/en/latest/quickstart.html>)



## Modélisation de la formation des magnétars : relaxation long terme du champ magnétique

**Spécialité** Astrophysique

**Niveau d'étude** Bac+4/5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [Dap/LMPA](#)

**Candidature avant le** 01/04/2025

**Durée** 4 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [RAYNAUD Raphaël](#)

+33 1 69 08 56 07

[raphael.raynaud@cea.fr](mailto:raphael.raynaud@cea.fr)

**Autre lien**

<https://docs.google.com/document/d/1RRzfuwOGvCaNjjRCSPCSIY92-frYQmXU/edit?usp=sharing&oid=117082917296166736781&rtopf=true&sd=true>

### Résumé

Ce stage propose d'étudier la formation des étoiles à neutrons les plus magnétiques, les magnétars, en modélisant la relaxation du champ magnétique résultant d'une dynamo convective qui amplifierait le champ à l'intérieur de la protoétoile à neutrons.

### Sujet détaillé

Les magnétars sont les étoiles à neutrons arborant les plus forts champs magnétiques connus dans l'Univers, historiquement découverts comme des sources galactiques de haute énergie (pulsars X anormaux et sursauteurs gamma mou). La formation de ces objets figure parmi les scénarios les plus étudiés pour expliquer certaines des explosions les plus violentes : les supernovae superlumineuses, les hypernovae et les sursauts gamma. L'exploitation scientifique des données de plus en plus abondantes provenant de ces différents objets nécessite le développement de modèles plus prédictifs, en particulier au niveau des caractéristiques du champ magnétique et de son évolution.

Notre équipe a réussi à reproduire numériquement des champs magnétiques d'une intensité comparable à celle des magnétars en simulant des mécanismes d'amplification dynamo qui se développent dans les premières secondes après la formation de l'étoile à neutrons. La plupart des manifestations observationnelles des magnétars nécessitent cependant que le champ magnétique survive sur des échelles de temps bien plus longues (de quelques semaines pour les supernovae superlumineuses à des milliers d'années pour les sursauteurs gamma mous).

Le travail de stage consistera donc à développer des simulations de relaxation initialisées à partir d'un état dynamo calculé précédemment par l'équipe, en les prolongeant vers des stades plus tardifs après la naissance de l'étoile à neutrons lorsque la dynamo n'est plus active. L'objectif est de déterminer comment le champ magnétique turbulent généré dans les premières secondes va évoluer pour atteindre un état d'équilibre stable, à même d'expliquer ces

---

observations, et dont on cherchera à caractériser la topologie. L'évolution du champ magnétique sera calculée avec le code de calcul parallèle MagIC qui résout les équations de la MHD en géométrie sphérique et qui a été adapté au cas des étoiles à neutrons jeunes (Raynaud et al. 2020, Reboul-Salze et al. 2021, Barrère et al. 2023).

Ce stage d'une durée de 4 mois se déroulera au sein du Laboratoire de Modélisation des Plasmas Astrophysiques au Département d'Astrophysique du CEA Saclay et sera encadré par Raphaël Raynaud et Jérôme Guilet. Il sera effectué en collaboration avec Paul Barrère (Université de Genève) et Andrei Igoshev (University of Leeds).

### **Mots clés**

Mécanique des fluides, MHD, calcul haute performance

### **Compétences**

Simulation numérique

### **Logiciels**

Fortran, Python

---

## Modelling magnetar formation: long-term relaxation of the magnetic field

### Summary

This internship proposes to study the formation of the most magnetic neutron stars, magnetars, by modelling the relaxation of the magnetic field resulting from a convective dynamo that could amplify the field inside the protoneutron star.

### Full description

Magnetars are neutron stars with the strongest magnetic fields known in the Universe, historically discovered as galactic high-energy sources (anomalous X-ray pulsars and soft gamma repeaters). The formation of these objects is among the most studied scenarios to explain some of the most violent explosions: superluminous supernovae, hypernovae, and gamma-ray bursts. The increasing amount of scientific data from these various objects necessitates the development of more predictive models, particularly regarding the characteristics of the magnetic field and its evolution.

Our team successfully reproduced magnetic fields with intensities comparable to those of magnetars through numerical simulations of dynamo amplification mechanisms that develop in the first seconds after the formation of the neutron star. However, most observational manifestations of magnetars require the magnetic field to survive over much longer timescales (from a few weeks for superluminous supernovae to thousands of years for soft gamma repeaters).

The internship will involve developing relaxation simulations, initialized from a dynamo state previously calculated by the team, extending them to later stages after the birth of the neutron star when the dynamo is no longer active. The objective is to determine how the turbulent magnetic field generated in the first seconds evolves to reach a stable equilibrium state capable of explaining these observations, and to characterize its topology. The evolution of the magnetic field will be calculated using the MagIC code, which solves the MHD equations in spherical geometry and has been adapted for young neutron stars (Raynaud et al. 2020, Reboul-Salze et al. 2021, Barrère et al. 2023).

This 4-month internship will take place at the Laboratory for Astrophysical Plasma Modelling at the Astrophysics Department of CEA Saclay and will be supervised by Raphaël Raynaud and Jérôme Guilet. It will be conducted in collaboration with Paul Barrère (University of Geneva) and Andrei Igoshev (University of Leeds).

### Keywords

astrophysical fluid dynamics, MHD, high performance computing

### Skills

Numerical simulations

### Softwares

Fortran, Python



## Euclid : Estimation de la masse des amas de galaxies par effet de lentille gravitationnelle faible en s'appuyant sur la distribution de matière projetée (4-6 mois)

**Spécialité** Astrophysique

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [DEDIP/LILAS](#)

**Candidature avant le** 28/02/2025

**Durée** 4 mois

**Poursuite possible en thèse** non

**Contact** [PIRES Sandrine](#)  
+33 1 69 08 80 72  
[sandrine.pires@cea.fr](mailto:sandrine.pires@cea.fr)

### Résumé

Le but du projet est de développer une méthode qui permet de mesurer la masse des amas de galaxies en s'appuyant sur les cartes de convergence et de comparer les résultats avec les méthodes existantes qui s'appuient sur les données de cisaillement gravitationnel.

### Sujet détaillé

Les amas de galaxies sont les plus grandes structures de l'Univers liées par la gravité. Leur contenu est le reflet de celui de l'Univers: 85% de matière noire et seulement 15% de matière ordinaire. Les amas sont une précieuse source d'information pour la Cosmologie et sont particulièrement importants pour l'étude de la matière noire. La deflexion des rayons lumineux par les amas de galaxies par effet de lentille gravitationnelle permet de cartographier la masse des amas indépendamment de leur nature. Les futurs relevés optiques grand champ dédiés à la mesure du cisaillement gravitationnel tels que Euclid vont permettre pour la première fois de détecter des amas de galaxies en s'appuyant sur l'observation du cisaillement gravitationnel due à leur masse totale. Cela va nous permettre de construire un catalogue d'amas représentant la vraie population d'amas qui va ainsi nous permettre de mieux contraindre les abondances d'amas de galaxies dans l'Univers.

L'objectif du stage consiste à mettre au point un nouvel estimateur non biaisé de la masse des amas de galaxies à partir des effets de lentilles gravitationnelles, pour l'échantillon d'amas détectés précédemment.

La méthode standard consiste à réaliser une simple dé-projection du signal de cisaillement en utilisant le modèle sphérique Navarro-Frenk-White (NFW) standard de densité d'un amas. Cette méthode donne une estimation de la masse au premier ordre mais il a été montré récemment par Giocoli et al. 2024 que la triaxialité des amas introduit un biais important dans l'estimation de la masse. L'utilisation de la convergence (e.g. Pires et al. 2020) qui est directement reliée à la distribution de masse projetée peut permettre de réduire cet effet.

Dans un premier temps, le candidat(e) devra produire des simulations de cartes du signal attendu pour un amas de

---

galaxies par effet de lentille gravitationnelle en s'appuyant sur les caractéristiques du relevé Euclid (bruit, distribution de redshift des sources,...). Il devra alors développer une nouvelle méthode non paramétrique pour estimer la masse des amas de galaxies à partir de la convergence. Les résultats seront comparés à ceux obtenus avec les méthodes traditionnelles qui s'appuient sur le cisaillement.

Ce stage qui sera co-encadré à la fois par S. Pires (Astrostatisticienne et experte en effet de lentille gravitationnelle faible) et Loris Chappuis (Expert en amas de galaxies) se déroulera dans un contexte très stimulant avec l'arrivée des premières données de la mission Euclid prévue en Mars 2025

Durée : 4 à 6 mois

### **Mots clés**

Traitement du signal

### **Compétences**

Astrophysique, Traitement du signal

### **Logiciels**

python 3

---

## **Euclid : Estimation of the mass of the clusters of galaxies using weak lensing convergence maps (4-6 months)**

### **Summary**

The aim of the project is to develop a method to estimate the mass of galaxy clusters using convergence maps and to compare the results with existing methods that rely on shear data.

### **Full description**

Clusters of galaxies are the largest and most massive collapsed structures in the Universe. Their content reflects that of the Universe : 85% of dark matter and only 15% of ordinary matter in the galaxies and the inter-galactic gas. Clusters contain valuable information on cosmology, and are particularly important for dark matter studies. Weak Lensing is the process in which light from background galaxies is bent by foreground objects (i.e cluster of galaxies) as it travels toward us. The resulting distortions in the shape of background galaxies provides a direct way to probe the total mass distribution of galaxy clusters. Upcoming full-sky weak lensing surveys such as Euclid will offer for the first time the possibility to detect galaxy clusters based on their lensing signal i.e. directly on their total mass. This will allow us to build a galaxy cluster catalogue representative of the true cluster population, providing new constraints on galaxy cluster abundances in the Universe.

The goal of the project is to develop a new (unbiased) estimator of the mass of the clusters of galaxies selected by weak lensing.

While a simple deprojection of a standard spherical Navarro-Frenk-White (NFW) density model will give a first-order mass estimate, the triaxiality of the clusters introduces an important scatter in the mass estimate, as has been recently demonstrated by Giocoli et al. 2024. The use of the convergence helps mitigate this issue because it gives a direct access to the projected mass distribution (e.g. Pires et al 2020).

In a first part, the student will produce semi-analytical simulations of the expected weak Lensing signal from a cluster of galaxies based on the characteristics of the Euclid survey (noise, redshift distribution of the sources,...). Then, he will develop a new model-independent method to estimate the mass of the cluster from the convergence. The results will be compared to those obtained with traditional methods based on the shear signal.

The supervision of the thesis will be jointly performed by S. Pires (Astrostatistician and Weak Lensing expert) and Loris Chappuis (Cluster of galaxies expert). The student will be in a very stimulating context with the first quick release of Euclid Survey data currently planned for March 2025

Duration : 4 - 6 months

### **Keywords**

Amas de galaxie, Lentilles gravitationnelles faibles

### **Skills**

Astrophysics, Signal processing

### **Softwares**

python 3