



## Étude du bruit de fond induits par les muons pour la mesure de la diffusion cohérente de neutrinos par l'expérience NUCLEUS.

**Spécialité** Physique nucléaire

**Niveau d'étude** Bac+5

**Formation** Master 2

**Unité d'accueil** [DPhN/LEARN](#)

**Candidature avant le** 05/04/2021

**Durée** 3 mois

**Poursuite possible en thèse** oui

**Contact** [LHULLIER David](#)

+33 1 69 08 94 97

[david.lhuillier@cea.fr](mailto:david.lhuillier@cea.fr)

### Résumé

Ce stage propose le montage et le test sur site du véto-muon de l'expérience NUCLEUS (diffusion cohérente neutrino-noyau) ainsi qu'un travail de simulation des événements rares de bruit de fond non rejetés par ce véto.

### Sujet détaillé

L'expérience NUCLEUS a pour objectif de réaliser la première détection de la diffusion cohérente des neutrinos de réacteur sur les noyaux atomiques. La section efficace d'interaction de ce processus est des ordres de grandeurs plus grande que celle de la désintégration bêta-inverse utilisée jusqu'à présent par toutes les expériences. La première mesure, réalisée avec interaction se réduit à un infime recul d'un noyau. Dans le cas de NUCLEUS la gamme d'énergie des reculs recherchés est autour de 100 eV seulement mais les bolomètres de saphir et de CaW04 qui seront utilisés atteignent aujourd'hui des seuils de détection de 20 eV. L'installation de l'expérience aura lieu en 2022 à 100 m des deux cœurs de la centrale EDF de Chooz dans les Ardennes. La mesure précise de ce couplage encore inexploré des neutrinos avec la matière offre des perspectives uniques de recherche d'une nouvelle physique au-delà du modèle standard.

Les performances intrinsèques des bolomètres étant déjà démontrées, un des principaux challenges de la mesure sera de des neutrinos de plus haute énergie issus d'un faisceau accéléré, ne date pourtant que de 2017 car la signature de cette rejeter les bruits de fond à un niveau nettement en-dessous du faible taux de comptage neutrino attendu, de l'ordre de 1/jour pour la première phase de NUCLEUS avec 10g de cible. Notre institut est en charge du véto muon de l'expérience, un blindage actif autour du détecteur central qui doit signer le passage à proximité du détecteur des rayons cosmiques, principale source de bruit de fond. La période du stage correspondra à la réception sur site des modules du véto-muon, constitués de panneaux de plastique scintillant dont le signal lumineux est extrait par des fibres optiques connectées à des Silicon-Photomultipliers (SiPM). L'étudiant(e) participera à l'ensemble de la préparation du détecteur avant son envoi prévu en Allemagne pour un montage à blanc complet de l'expérience à l'automne 2021. Le travail comprendra le montage des modules, la validation de l'électronique de traitement du signal qui aura été développée à l'IRFU, la calibration des SiPM et la validation de la réponse aux rayons cosmiques. Une chaîne complète d'analyse sera mise en place pour assurer un suivi automatique des performances des modules de

---

détection lors des prises de données.

La sensibilité de la mesure NUCLEUS dépendra en grande partie du bruit de fond résiduel non vu par le véto-muon. Un important travail de simulation est donc mené en parallèle pour traquer les processus rares déjouant les techniques de réjection prévues. La méthode de réduction de variance récemment développée à l'IRFU sera incorporée dans la simulation GEANT4 de NUCLEUS par un effort conjoint du DPhN et du DPhP. Cette technique de biaisage pourra être appliquée dans le cadre de ce stage à l'étude des neutrons rapides générés par les rayons cosmiques dans les structures du bâtiment EDF où aura lieu l'expérience. La fraction de ces neutrons atteignant le bolomètre sans être détectés dans les blindages actifs est très difficile à estimer sans un biaisage efficace. Ce type de bruit de fond étant commun à un large programme expérimental de mesures neutrino ou de recherche de matière noire, l'impact de ce type de développement est potentiellement fort.

Ce travail offre une large vision des différents aspects expérimentaux d'une mesure neutrino. Il se fera en étroite collaboration avec le département de physique des particules (IRFU-DPhP) dans le cadre de la collaboration internationale de NUCLEUS. Des aptitudes pour la programmation sont préférables mais non obligatoires. Une thèse est proposée dans la continuité de ce stage sur l'expérience NUCLEUS.

### **Mots clés**

neutrino, physique nucléaire, physique des particules, simulation

### **Compétences**

Détection par plastiques scintillants couplés à des fibres optiques. Calibration et suivi en temps de la réponses de SiPMs. Techniques de réduction de variance pour la simulation d'événements rares.

### **Logiciels**

C++ GEANT4 root

---

## **Study of the muon-induced background for the measurement of coherent neutrino scattering by the NUCLEUS experiment.**

### **Summary**

This internship proposes the assembly and on-site testing of the veto-muon of the NUCLEUS experiment (neutrino coherent scattering off nuclei) as well as a work of simulation of the rare background events not rejected by this veto.

### **Full description**

The objective of the NUCLEUS experiment is to carry out the first detection of the coherent diffusion of reactor neutrinos on nuclei. The effective cross-section of interaction of this process is orders of magnitude larger than the beta-inverse decay used by all experiments so far. However the first measurement, carried out with higher energy neutrinos from an accelerated beam, dates only from 2017 only because the signature of this interaction is reduced to a tiny recoil of a nucleus. In the case of NUCLEUS, the energy range of the desired recoil is only around 100 eV, but the sapphire and CaWO<sub>4</sub> bolometers that will be used currently reach detection thresholds of 20 eV. The installation of the experiment will take place in 2022 at 100 m from the two cores of the EDF power plant of Chooz in the Ardennes. The precise measurement of this as yet unexplored coupling of neutrinos with matter offers unique prospects for the search for new physics beyond the standard model.

As the intrinsic performance of the bolometers has already been demonstrated, one of the main remaining challenges of the measurement will be to reject the background level well below the expected low neutrino counting rate, of the order of 1/day for the first phase of NUCLEUS with 10g of target. Our institute is in charge of the muon veto of the experiment. This active shielding placed around the central detector is meant to tag the cosmic-rays, the main source of background. The internship period will correspond to the on-site reception of the muon-veto modules, made of plastic scintillator panels whose light signal is extracted by optical fibers connected to Silicon-Photomultipliers (SiPM). The student will participate in the entire preparation of the detector before it is shipped to Germany for a dress rehearsal of the experiment in the fall of 2021. The work will include the assembly of the modules, the validation of the signal processing electronics that will have been developed at the IRFU, the calibration of the SiPMs and the validation of the cosmic ray response. A complete analysis chain will be set up to ensure automatic monitoring of the performance of the detection modules during data acquisition.

The sensitivity of the NUCLEUS measurement will largely depend on the residual background noise not seen by the muon veto. An important simulation work is therefore carried out in parallel to track down rare processes that thwart the planned rejection techniques. The variance reduction method recently developed at IRFU will be incorporated into the GEANT4 simulation of NUCLEUS by a joint effort of DPhN and DPhP. This biasing technique could be applied in the framework of this training course to the study of fast neutrons generated by cosmic rays in the structures of the EDF building where the experiment will take place. The fraction of these neutrons reaching the bolometer without being detected in the active shielding is very difficult to estimate without effective biasing. As this type of background is common to a large experimental program of neutrino measurements and searches for dark matter, the impact of this type of development is potentially strong.

This work offers a broad view of the different experimental aspects of a neutrino measurement. It will be done in close collaboration with the Department of Particle Physics (IRFU-DPhP) in the framework of the international collaboration of NUCLEUS. Programming skills are preferred but not mandatory.

A thesis is proposed on the NUCLEUS experiment as a continuation of this internship.

### **Keywords**

neutrino, nuclear physics, particle physics, simulation

### **Skills**

Detection in plastic scintillators coupled with optical fibers. Calibration and monitoring of SiPMs response. Variance

---

reduction techniques for the simulation of rare events.

### **Softwares**

C++ GEANT4 root