

DIPLÔME NATIONAL DE DOCTORAT

(Arrêté du 25 mai 2016)

Date de la soutenance : **22 novembre 2023**

Nom de famille et prénom de l'auteur : **Monsieur COLAS Jules**

Titre de la thèse : « *Développement du détecteur CryoCube pour la recherche de nouvelle physique dans le secteur des neutrinos avec l'expérience Ricochet à l'Institut Laue Langevin* »



Résumé

Le 15 Octobre 1973, Daniel Z. Freedman, un physicien théoricien travaillant sur le modèle standard de la physique des particules, écrivait un premier article sur une hypothétique interaction cohérente élastique entre un neutrino et un noyau atomique (ou CEvNS). Dans cet article, le physicien souligne l'intérêt qu'aurait la découverte d'un tel processus pour faire évoluer notre connaissance des lois fondamentales et il écrit : "Our suggestion may be an act of hubris, because the inevitable constraints of interaction rate, resolution, and background pose grave experimental difficulties for elastic neutrino-nucleus scattering." Ce qui se traduit par le fait qu'il serait orgueilleux de chercher à mesurer ce processus compte tenu des difficultés expérimentales inhérentes à cette mesure. Loin de se décourager, la communauté scientifique a fait évoluer les techniques et la qualité des expériences, tout en accumulant des connaissances nouvelles, jusqu'à être finalement capable de mesurer ce processus en 2017. Il aura fallu plus de quarante années de recherche et développement. Aujourd'hui, une dizaine d'expériences tente de mesurer ce processus à des énergies encore insondées. Une déviation des mesures par rapport au modèles standard de la physique des particules pourrait révéler des mécanismes fondamentaux encore inconnus aujourd'hui, impactant significativement notre compréhension de l'univers. C'est dans ce cadre, très expérimental, mais dont la portée est fondamentale, que s'inscrit cette thèse de doctorat. Nous nous intéresserons, en détail, à l'expérience Ricochet et son détecteur CryoCube. Ce document est composé de huit chapitres. Ces derniers condensent trois années de travail sur différents aspects du projet Ricochet qui vise à mesurer avec précision le spectre CEvNS d'anti-neutrinos de réacteur nucléaire. Dans le chapitre 1 nous discuterons de la physique du neutrino et en particulier du CEvNS, ce qui nous amènera à conclure sur un état de l'art expérimental dans le domaine. Nous verrons ensuite, dans le chapitre 2, la stratégie de détection mise en oeuvre pour l'expérience Ricochet : les caractéristiques du site, le flux de neutrinos attendu, les bruits de fond expérimentaux ainsi que la projection des performances des détecteurs. Notamment, un de ces détecteurs appelé CryoCube, sur lequel cette thèse va se concentrer, sera décrit et expliqué en détail dans le chapitre 3. Nous verrons alors le principe de fonctionnement des détecteurs cryogéniques semi-conducteurs, segmentés, et instrumentés d'un senseur thermique et d'un senseur de charges électriques. Ce qui nous conduira à aborder la librairie MPS au chapitre 4, qui permet de traiter et d'analyser les données brutes issues des différentes voies du CryoCube. Nous verrons également comment le traitement a été optimisé pour les signaux de ce détecteur. Cette librairie est la pierre angulaire de l'analyse de données et intègre des fonctionnalités essentielles

pour estimer l'énergie des événements dans le détecteur avec la meilleure précision mais aussi pour estimer l'erreur associée au traitement réalisé. Le chapitre 5 portera sur la modélisation électronique de l'amplificateur de charge utilisé pour la mesure d'ionisation des éléments du CryoCube. Nous verrons comment traiter la transmission des bruits entre les voies d'ionisation d'un détecteur ainsi que le processus d'optimisation des composants de l'amplificateur pour atteindre les objectifs de performance du CryoCube. Nous verrons en particulier que plusieurs configurations sont compatibles avec une résolution de 20 eVee (RMS) sur la voie de mesure ionisation. Le chapitre 6 permettra ensuite d'amener une discussion sur les résultats expérimentaux associés au modèle de l'amplificateur de charge ainsi que les techniques mises en oeuvre pour améliorer la résolution en énergie. Nous verrons en particulier que le mini-CryoCube a atteint une résolution ionisation de l'ordre de 30-40 eVee (RMS) sur trois détecteurs simultanément pendant plusieurs centaines d'heures. Nous ferons un bilan sur les futurs développements pour améliorer la résolution en énergie et la discrimination du bruit de fond par le détecteur, avec l'ajout de quartz pour réduire la capacité électrique parasite. Dans le chapitre 7 nous aborderons une technologie de senseur totalement différente de ce qui a été présenté jusque là pour le CryoCube. Le wifi-KID est un projet exploratoire basé sur les détecteurs à inductance cinétique qui présentent un potentiel pour le développement de futures expériences. Nous aborderons les fondamentaux de ces détecteurs avant de discuter de résultats expérimentaux et des développements futurs par rapport à une utilisation en détection directe d'événements rares. Enfin, le dernier chapitre 8 résumera globalement l'ensemble des résultats importants présentés dans chaque chapitre pour mettre en avant les avancées réalisées ainsi que les futurs travaux.