

## Recherche du neutrino stérile auprès du réacteur de l'ILL : expérience Stereo.

### DESCRIPTION ET PROBLEMATIQUE

La thèse proposée porte sur la physique des neutrinos de réacteurs, une thématique particulièrement active en ce moment. Le dernier angle de mélange  $\theta_{13}$ , vient en effet d'être mesuré grâce au concept de deux détecteurs identiques mesurant le flux de neutrinos à deux positions différentes. Les expériences Double Chooz, Daya Bay et Reno ont ainsi démontré la grande précision atteignable aujourd'hui sur la mesure du spectre en énergie des neutrinos de réacteur avec la technologie des liquides scintillants (LS). Tandis que la connaissance de  $\theta_{13}$  ouvre la voie vers les mesures de la violation de la symétrie CP dans le secteur leptonique, l'expérience JUNO propose de pousser encore plus loin la précision de détection avec un grand volume de LS afin de déterminer la hiérarchie de masse des neutrinos. L'Irfu a une contribution importante dans l'expérience Double Chooz et met à profit son expertise pour développer deux nouveaux axes :

- l'application des neutrinos à la surveillance des réacteurs pour la non-prolifération des armes nucléaires. C'est l'objectif du projet Nucifer, un détecteur compact de neutrinos qui prend actuellement des données auprès de réacteur de recherche Osiris du CEA Saclay.
- la recherche d'un neutrino stérile de masse autour de  $1 \text{ eV}/c^2$ . Ce nouvel état de neutrino pourrait se manifester par une nouvelle oscillation à courte distance. C'est le sujet de cette thèse.

La quête du neutrino stérile a été relancée en 2011 par des travaux de l'équipe de l'Irfu. La motivation initiale était de fournir une prédiction précise du spectre neutrino émis par les réacteurs pour l'analyse des données de Double Chooz. Alors que l'incertitude des calculs précédents n'a pu être améliorée, notre équipe a démontré des biais dans les anciennes prédictions qui, une fois corrigés, conduisaient à une augmentation du flux prédit. En conséquences l'ensemble des mesures réalisées auprès des réacteurs affiche un déficit de neutrinos détectés de  $6.5 \pm 2.4 \%$ .

Comme pour les autres déficits déjà observés, une explication possible est une disparition des neutrinos électroniques émis par les réacteurs vers une autre saveur de neutrino, par le phénomène d'oscillation. Dans le cas des réacteurs cependant tous les mélanges ont déjà été mesurés. Il faut donc invoquer un nouveau neutrino et celui-ci ne peut pas se coupler avec l'interaction faible car nous savons d'après les mesures de décroissance du Z0 au CERN que seules 3 saveurs ( $e, \mu$  et  $\tau$ ) couplent au

Z0. Ce nouveau neutrino doit donc être stérile et les contraintes expérimentales imposent une masse autour de  $1 \text{ eV}/c^2$ .

L'équipe du SPHN est fortement impliquée sur ce sujet et dirige le projet Stereo, qui vise à tester l'hypothèse du neutrino stérile auprès du réacteur ILL de Grenoble. Si le neutrino stérile existe il ne pourra pas être détecté directement. En revanche il se manifestera lors de la propagation des 3 états « actifs » de neutrinos qui pourront se mélanger vers un état supplémentaire. Le signal recherché est alors une probabilité accrue de disparition des antineutrinos électroniques des réacteurs sous la forme d'un nouveau motif d'oscillation, de période spatiale de quelques mètres seulement. Le principe de Stereo repose sur 6 cellules de détection identiques (fig.1) disposées entre 8.5 et 11 m de distance du cœur du réacteur de recherche de l'ILL. La technologie retenue, un liquide scintillant dopé au Gadolinium, est dans la continuité des expériences Double Chooz et Nucifer. La difficulté de Stereo réside essentiellement dans la maîtrise des bruits de fond induits par le réacteur et par le rayonnement cosmique.

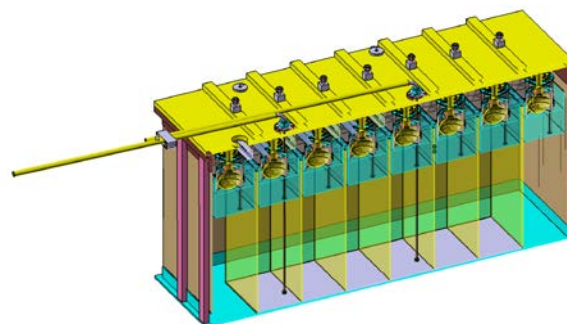


Figure 1 : Vue en coupe du détecteur Stereo et de ses 6 cellules centrales.

Un important travail de caractérisation du site a été réalisé pour définir tous les blindages nécessaires. Les différentes parties du détecteur et des blindages sont actuellement en construction. L'installation sur site de l'appareillage est prévue au printemps-été 2016.

### DESCRIPTION

#### GROUPE/LABO/ENCADREMENT

La thèse s'effectuera au sein du Service de Physique Nucléaire (SPHN) du CEA Saclay. L'équipe est formée de physiciens et étudiants expérimentateurs, associés avec les ingénieurs et techniciens de l'Irfu. Dans le cadre des projets Double Chooz et Nucifer le groupe travaille en étroite collaboration avec le groupe neutrinos réacteurs du Service de Physique des Particules (SPP) du CEA.

### TRAVAIL PROPOSE

Le début de la thèse proposée coïncide avec le CEA/IRFU 1

début de la prise de données qui doit s'étaler sur environ 2 ans. Le travail demandé sur ce projet sera donc centré sur l'analyse et la simulation avec deux axes principaux à développer pour exploiter au mieux le signal neutrino:

- L'étude des bruits de fond réacteur et cosmique
- La caractérisation de la réponse en énergie du détecteur

Ce travail couvre un large éventail de physique (scintillation liquide, neutronique, réactions de spallation, physique des réacteurs, ...). La taille modeste de la collaboration de Stereo implique une bonne visibilité du travail de thèse et une compréhension possible de l'ensemble de l'expérience. Le travail de thèse doit aboutir à une première publication démontrant les capacités du détecteur avec une partie de la statistique, puis une publication finale avec l'optimisation des erreurs systématiques pour un test performant de l'hypothèse du neutrino stérile.

Ces trois ans de thèse correspondent à une phase de transition pour le projet Nucifer également mené au sein de l'équipe du SPhN. Ce détecteur est actuellement en fin de prise de donnée auprès du réacteur de recherche Osiris du CEA-Saclay. Il a pour objectif de tester la possibilité de surveiller le contenu en plutonium d'un cœur de réacteur en mesurant l'évolution du taux de neutrinos détectés au cours du temps. Une première publication de nos résultats démontre le bon comportement de ce détecteur de conception très simple et appelle à un redéploiement vers un réacteur de puissance comme ceux du parc EDF. Cette continuation du projet Nucifer pourrait permettre à l'étudiant(e) de s'impliquer sur le test d'un nouveau liquide scintillant permettant d'optimiser le compromis entre les contraintes de rendement lumineux, de réjection du bruit de fond et de sûreté. Les améliorations de la technologie de détection pour ce type de petit détecteur, installé proche de la surface, sont d'un intérêt direct pour les mesures de physique fondamentale auprès des réacteurs.

## FORMATION ET COMPETENCES REQUISES

Le candidat devra être titulaire d'un Master2, ou équivalents, avec une formation à l'une au moins des spécialités suivantes:

- Physique des particules
- Physique nucléaire
- Physique des réacteurs

Le candidat peut avoir un parcours universitaire (physique, physique appliquée) ou venir d'une école d'ingénieur.

## COMPETENCES ACQUISES

Le travail proposé offre une formation vers un profil complet de physicien expérimentateur avec des contributions très visibles dans des collaborations de petites tailles et une approche globale de la physique des neutrinos de réacteur. Cette thématique est actuellement très active dans la communauté avec plusieurs projets concurrents à travers le monde qui doivent prendre des données dans les 3 années à venir. Ce contexte est propice à l'épanouissement d'un jeune chercheur pour une poursuite de carrière en recherche académique. Les travaux en connexion avec la physique des réacteurs, plusieurs plateformes de simulation (GEANT4, MCNPX, TRIPOLI4,...) et l'instrumentation liée à la scintillation liquide sont directement valorisables dans l'industrie.

## COLLABORATIONS/PARTENARIATS

Le projet est développé en collaboration avec CNRS/LAPP-Ancey, CNRS/LPSC-Grenoble, ILL-Grenoble, MPIK-Heidelberg et l'Université de Casablanca.

## CONTACTS

Directeur de thèse :

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

Co-encadrant :

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