

## Équipe Neutrino: proposition de Stage M2

### Mesure de précision des paramètres d'oscillations avec JUNO

L'équipe Neutrino (CNRS/IMT-Atlantique/Nantes Université) est très largement impliquée dans la mesure de précision des paramètres d'oscillations et la première mesure de l'ordre des masses avec JUNO. En plus du soutien de nos trois tutelles, elle est également financée par l'Agence Nationale de la Recherche sur ces deux thèmes de recherche.

L'étude des oscillations des neutrinos explore le mélange de saveurs leptoniques dans le cadre du modèle standard (MS) de la physique des particules. Ce modèle ne prédit pas les paramètres d'oscillation, qui doivent être mesurés expérimentalement, comme l'ont fait les expériences SuperKamiokande et SNO, lauréates du prix Nobel de physique en 2015. Aujourd'hui, les résultats s'inscrivent dans le paradigme à trois saveurs (électronique, muonique, tauique), néanmoins l'ordre des masses et la phase de violation CP restent à déterminer. L'expérience JUNO, qui débutera en Chine en 2025, regroupe près de 500 scientifiques internationaux. Son objectif principal est la mesure précise des oscillations d'antineutrinos provenant de réacteurs nucléaires situés à 53 km, au sein d'un détecteur en sphère de 35 m de diamètre rempli de 20 kt de liquide scintillant, avec 40 000 photomultiplicateurs.

Le phénomène quantique d'oscillation, changeant spontanément le type de neutrinos, dépend de paramètres dont la mesure nous renseigne sur les lois fondamentales de la physique des particules. En 6 ans, JUNO améliorera de près d'un ordre de grandeur la précision sur ces paramètres, et, surtout, pourrait déterminer à 3 sigma "l'ordre des masses" des neutrinos. Cela implique de mesurer le spectre en énergie des antineutrinos avec une précision inédite.

Le stage proposé au sein de l'équipe Neutrino de Subatech se concentrera sur un des principaux axes de l'expérience : la mesure précise des paramètres d'oscillation des neutrinos. L'utilisation de méthodes statistiques avancées est essentielle pour analyser le spectre avec la précision requise. Le développement de ces méthodes a débuté à Subatech en utilisant un cadre d'analyse statistique adapté de l'expérience Double Chooz. Le stage consistera à participer à l'amélioration de ce cadre d'analyse pour la première mesure (100 jours de données) des paramètres d'oscillation, qui sera cruciale pour la crédibilité de JUNO. Ces premières mesures permettront à JUNO de posséder les mesures les plus précises des paramètres d'oscillation dits solaires ( $\theta_{12}$ , et  $\Delta m^2_{21}$ ) et d'apporter des informations cruciales sur  $\Delta m^2_{31}$ .

De même nous continuerons l'exploration de méthodes d'apprentissages profonds innovants émergeant des travaux précurseurs au sein de cette équipe. Ce sujet fondamental pour l'amélioration de la précision des mesures pourra être abordé lors du stage.

La ou le candidat.e devra :

- Avoir de l'expérience en programmation informatique (maîtrise des langages C++ et python)
- Avoir une bonne compréhension orale et bonnes capacités à écrire et parler en anglais
- Être Capable de travailler en équipe et au sein d'une grande collaboration internationale.

Par ailleurs un contrat doctoral sera ouvert en octobre 2025, intitulé « First Per-Mille Precision and 5 sigma Ordering Mass determination in Neutrino Oscillation Physics with JUNO ». Cette thèse est financée par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) dans le cadre du projet DualCaloPerMilleJUNO (Projet de recherche collaborative 2024).

#### Contacts :

- [mathieu.bongrand@in2p3.fr](mailto:mathieu.bongrand@in2p3.fr), [viaud@subatech.in2p3.fr](mailto:viaud@subatech.in2p3.fr), [yermia@in2p3.fr](mailto:yermia@in2p3.fr)