

THÈSE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE N° 596

Matière, Molécules, Matériaux

Spécialité : *Physique des particules*

Par

Léonard Imbert

Deep learning methods and Dual Calorimetric analysis for high precision neutrino oscillation measurements at JUNO

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 2 Decembre 2024

Unité de recherche : Laboratoire SUBATECH, UMR 6457

Rapporteurs avant soutenance :

Christine Marquet Directrice de recherche au CNRS, LP2I Bordeaux
David Rousseau Directeur de recherche au CNRS, IJCLab

Composition du Jury :

Président :	Barbara Erazmus	Directrice de recherche au CNRS, Subatech
Examineurs :	Juan Pedro Ochoa-Ricoux	Full Professor, University of California, Irvine
	Yasmine Amhis	Directrice de recherche au CNRS, IJCLab
	Christine Marquet	Directrice de recherche au CNRS, LP2I Bordeaux
	David Rousseau	Directeur de recherche au CNRS, IJCLab
Dir. de thèse :	Frédéric Yermia	Professeur des universités, Nantes Université
Co-dir. de thèse :	Benoit Viaud	Chargé de recherche au CNRS, Subatech

Titre : Méthode Deep Learning and analyse Double Calorimétrique pour la mesure de haute précision des paramètres d'oscillation des neutrinos dans JUNO

Mot clés : Neutrinos; expérience JUNO; Deep Learning; reconstruction d'IBD; oscillations des neutrinos; double calorimetrie

Résumé : JUNO est un observatoire de neutrinos à scintillateur liquide, polyvalent et medium baseline (environ 52 km), situé en Chine. Ses principaux objectifs sont de mesurer les paramètres d'oscillation θ_{12} , Δm_{21}^2 et Δm_{31}^2 avec une précision au pour-mille et de déterminer l'ordre des masses des neutrinos avec un niveau de confiance de 3σ . Atteindre ces objectifs nécessite une résolution énergétique sans précédent de $3\%/\sqrt{E(\text{MeV})}$ avec cette technologie. Cela demande une compréhension approfondie des divers effets au sein du détecteur. Le système de double calorimetrie, composé de deux systèmes de mesure distincts observant le même événement, permet non seulement une calibration mais aussi une détection des effets du détecteur avec une grande précision, comme démontré dans cette thèse. Le Deep Learning, un outil de plus en plus utilisé en physique expérimentale, joue un rôle crucial dans cet effort. Dans cette thèse, je présente le développement, l'application et l'analyse des techniques de Deep Learning pour la reconstruction d'évènements dans l'expérience JUNO.

Title: Deep learning methods and Dual Calorimetric analysis for high precision neutrino oscillation measurements at JUNO

Keywords: Neutrinos; JUNO experiment; Deep learning; IBD reconstruction; neutrinos Oscillation; dual Calorimetry

Abstract: JUNO is a multipurpose, medium-baseline (~ 52 km) liquid scintillator neutrino observatory located in China. Its primary objectives are to measure the oscillation parameters θ_{12} , Δm_{21}^2 , and Δm_{31}^2 with per mil precision and to determine the neutrino mass ordering at a 3σ confidence level. Achieving these goals requires an unprecedented energy resolution of $3\%/\sqrt{E(\text{MeV})}$ with this technology. This demands a comprehensive understanding of the various effects within the detector. The Dual Calorimetry system—two distinct measurement systems observing the same event—enables not only high-precision calibration but also detection of detector effects, as demonstrated in this thesis. Deep learning, an increasingly powerful tool in physics, plays a critical role in this effort. In this thesis, I present the development, application, and analysis of Deep Learning techniques for reconstruction in the JUNO experiment.