

<https://lpnhe.in2p3.fr/spip.php?article1611>

# Révéler le mystère des rayons cosmiques par la radio : modélisation et analyse de signaux radios détectés par



**GRAND** Date de mise en ligne : mardi 9 novembre 2021

- Thèses, Stages, Formation et Enseignement - Propositions de thèses 2022 -

---

Copyright © LPNHE - UMR 7585 - Tous droits réservés

---

**Titre :** Révéler le mystère des rayons cosmiques par la radio : modélisation et analyse de signaux radios détectés par GRAND

**Directeur de thèse :** [Olivier Martineau](#)

**Co-encadrants :** [Kumiko Kotera](#) (IAP) et [Simon Prunet](#) (Observatoire de Nice)

**Équipe :** Rayonnement Cosmique et Matière Noire ; groupe GRAND

**Bourse de thèse :** Oui, assurée

## Description :

Quelles sont les sources des rayons cosmiques d'ultra-haute énergie, ces particules qui pleuvent du cosmos avec des énergies colossales, et dont l'origine reste mystérieuse ? Le projet GRAND (Giant Radio Array for Neutrino Detection) vise à répondre à cette question, à l'aide d'un réseau de 200 000 antennes radios déployé en plusieurs sous-réseaux à travers le monde. Si la construction de cet instrument est prévue pour les années 2030, le déploiement d'un premier prototype de 300 antennes radios, GRANDProto300, est déjà en cours dans le désert de Gobi en Chine. Celui-ci sera un banc de test idéal pour valider cette technique de détection novatrice, et pour investiguer l'origine des rayons cosmiques dans une gamme d'énergie peu étudiée.

Les particules cosmiques induisent dans l'atmosphère des cascades de particules secondaires qui vont générer une émission électromagnétique brève ( $< 100\text{ns}$ ) que les antennes de GRAND détecteront dans la gamme de fréquences 50-200 MHz. Dans le cas des neutrinos, ces cascades de particules suivront des trajectoires quasi-horizontales, un cas de figure encore très peu étudié expérimentalement. Le travail de thèse s'articulera autour de deux axes :

- Développer une modélisation analytique du signal électromagnétique. Si le signal radio généré par les cascades de particules entrant verticalement dans l'atmosphère est assez bien modélisé et exploité, celui des particules arrivant à incidence rasante est à peine compris. Un objectif de cette thèse sera de construire une modélisation analytique et semi-analytique à partir des principes de base de l'électrodynamique, en tenant rigoureusement compte des effets relativistes (compression Cherenkov, etc.). Les résultats obtenus seront comparés avec des simulations numériques macroscopiques, ainsi que des données réelles du prototype GRANDProto300. Une telle modélisation sera cruciale pour l'analyse des signaux détectés par GRAND. Cette thèse sera donc au cœur des projets scientifiques de la collaboration GRAND.
- Développer une méthode de reconstruction des caractéristiques des rayons cosmiques primaires (direction d'origine, énergie, nature) qui soit applicable aux données du futur projet GRAND. Ce travail se basera sur les travaux antérieurs menés dans le cadre de deux thèses co-encadrées par Kumiko Kotera et Olivier Martineau, qui ont permis d'ébaucher, à partir de données simulées, une méthode de reconstruction adaptée aux trajectoires fortement inclinées. Le travail consistera principalement à tester ces méthodes de reconstruction sur les données expérimentales de GRANDProto300 et à les affiner, en y intégrant notamment les résultats de la partie analytique détaillée au point précédent. Des méthodes alternatives (basés sur le Machine Learning notamment) pourront être explorées pour l'analyse des données. L'objectif final de ce second axe de travail sera de démontrer que des neutrinos peuvent être détectés de manière non-ambigüe dans GRAND, et que leurs propriétés (et en premier lieu, leur direction d'origine), peuvent être reconstruites avec une très grande précision par ce détecteur futur.

Ce travail s'insère dans un projet prospectif conduit par le LPNHE et l'IAP avec le Karlsruhe Institute of Technology

(Allemagne) au sein de la collaboration GRAND. Ce projet, dans lequel le doctorant ou la doctorante jouera un rôle central, vise à développer des méthodes d'acquisition et de reconstruction de données pour les détecteurs radio de future génération.

Stage :

Un stage avant le début du doctorat est prévu.

**Lieu de travail :** LPNHE, en collaboration étroite avec l'Institut d'Astrophysique de Paris (équipe GRAND de Kumiko Kotera), où le doctorant ou la doctorante pourra disposer d'un espace de travail

Séjours réguliers à l'Observatoire de Nice

**Déplacements éventuels :**

- Prises de données et tests sur le site de l'expérience GRANDProto300 en Chine
- Prises de données et tests sur le site de le banc de test GRANDProto à l'Observatoire de Nançay
- Séjours réguliers au Karlsruhe Institute of Technnology (Allemagne)

**Documentation :** [www.grand.cnrs.fr](http://www.grand.cnrs.fr)

**Contacts :**

- [Olivier Martineau](#)
- [Kumiko Kotera](#)
- [Simon Prunet](#)