



---

## RECHERCHE D'ONDES GRAVITATIONNELLES PRIMORDIALES AVEC QUBIC: DÉVELOPPEMENT DE TECHNIQUES DE MACHINE LEARNING

La quête de la polarisation en mode B du fond diffus cosmologique est l'un des défis les plus importants de la cosmologie observationnelle. Leur découverte signifierait la présence d'ondes gravitationnelles primordiales, théoriquement attendues de l'ère de l'inflation,  $10^{-35}$  secondes après le temps de Planck. C'est également l'un des plus difficiles, car le signal attendu est très petit et nécessite des instruments de grande sensibilité avec peu de biais systématiques et une large couverture de fréquence afin de séparer le signal primordial des émissions d'avant-plan.

QUBIC (QU Bolometric Interferometer for Cosmology: <http://qubic.in2p3.fr>) est un nouveau concept instrumental, dédié à la recherche du mode B à partir des modes Q et U, réunissant les avantages des bolomètres en termes de sensibilité et ceux des interféromètres en termes de contrôle des systématiques instrumentales. La nature interférométrique de QUBIC permet également une spectro-imagerie et une résolution spectrale améliorée vis-à-vis des imageurs, apportant un avantage important pour la suppression de l'avant-plan. Le démonstrateur technologique est en cours de tests à l'APC depuis 2019 et sera installé sur le site de QUBIC à 5 000 m d'altitude dans la province de Salta en Argentine, courant 2021.

L'objectif de la thèse, outre la participation aux activités de prise de données et d'exploitation de QUBIC (incluant des missions sur le site en Argentine), est plus spécifiquement de développer des méthodes d'analyse reposant sur l'intelligence artificielle et le "Machine Learning" dans la chaîne d'analyse de données de QUBIC:

- Séparation des effets atmosphériques du signal astrophysique
- Fabrication de cartes
- Séparation de composantes astrophysiques
- Estimation du spectre de puissance angulaire des modes-B

L'étudiant(e) travaillera au sein de l'équipe QUBIC de l'APC, en collaboration avec le reste de la collaboration en France, Italie, Irlande, et Argentine. Il/elle pourra aussi aborder d'autres activités scientifiques au cours de la thèse en parallèle à son sujet spécifique: Développement de la chaîne d'analyse de QUBIC depuis le traitement temporel des données brutes aux contraintes cosmologiques, spectro-imagerie et contrôle de la contamination par les avant-plans astrophysiques.

---

## SEARCH FOR PRIMORDIAL GRAVITATIONAL WAVES WITH QUBIC: DEVELOPMENT OF MACHINE-LEARNING TECHNIQUES

The quest for B-mode polarization of the Cosmic Microwave Background is among the main challenges in Observational Cosmology. Measurement of B-mode polarization in the CMB will be clear evidence of the presence of primordial gravitational waves which are theoretically expected to be produced during inflation about  $10^{-35}$  seconds after the Planck epoch. The B-mode measurement is perhaps the most difficult cosmological challenge because the expected signal is very small. It requires high sensitivity and negligible instrument systematic effects with wide frequency coverage in order to separate the primordial signal from foreground emissions.

QUBIC (QU Bolometric Interferometer for Cosmology: <http://qubic.in2p3.fr>) is a novel instrument concept dedicated to the search for B-modes by measuring the Q and U polarization modes. It brings together the advantages of bolometers with high sensitivity and those of interferometers that have exquisite control of instrument systematic effects. The interferometric nature of QUBIC also allows spectro-imaging and improved spectral resolution with respect to imagers, providing a significant advantage concerning foreground removal. The Technological Demonstrator is under test at APC since 2019 and will be installed at the QUBIC site at 5000m a.s.l. in the province of Salta in Argentina in 2021.

Besides participating in data taking and exploitation of QUBIC (including travel to Argentina), the Ph.D. student will work specifically on developing data analysis techniques based on artificial intelligence and Machine-Learning for the QUBIC data analysis pipeline:

- The separation between astrophysical and atmospheric signals
- Map-making
- Astrophysical component separation
- Polarized angular power spectrum measurement

The student will work within the QUBIC team at APC, collaborating with the rest of the collaboration in France, Italy, Ireland, and Argentina. He/She may also contribute to other scientific activities in parallel to his/her specific topic. These might include the development of the QUBIC Data Analysis pipeline from time-domain to cosmological constraints, spectro-imaging and astrophysical foreground contamination control, self-calibration and instrumental systematic effects control, machine-learning techniques applied to CMB data analysis.

---

**Responsable(s) / Advisor(s):** J.-Ch. Hamilton ([hamilton@apc.in2p3.fr](mailto:hamilton@apc.in2p3.fr)), S. Torchinsky ([satorchi@apc.in2p3.fr](mailto:satorchi@apc.in2p3.fr))

**Niveau demandé / Requirements:** M2 ou équivalent / Master, M.Sc.

**Profil:** Physique Fondamentale, Astrophysique, Informatique / Fundamental Physics, Astrophysics, Computer Science

---