



---

## SEARCHING FOR PRIMORDIAL GRAVITATIONAL WAVES WITH QUBIC: Pipeline development and cosmological constraints

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 primordial gravitational waves which are theoretically expected to be produced during inflation at about  $10^{-35}$  seconds after the Planck epoch. Their presence would be a non-trivial result concerning quantum gravity because tensor modes would mean the metric must be quantized. 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 to separate the primordial signal from foreground emissions.

QUBIC (QU Bolometric Interferometer for Cosmology: <http://qubic.org.ar>) 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 their high sensitivity and interferometers with their exquisite control of instrument systematic effects. The interferometric nature of QUBIC also allows spectro-imaging giving improved spectral resolution concerning imagers, which is a significant advantage for foreground removal. The QUBIC Observatory was inaugurated in Nov. 2022 on its observing site at 5000m a.s.l. in the province of Salta in Argentina. The Technological Demonstrator is installed at the site and is currently undergoing commissioning. Observations are expected to start early in 2025.

In addition to participation in data acquisition and analysis of QUBIC (including travel to Argentina), the Ph.D. student will participate in the following topics:

- Developing the data analysis pipeline: Time-domain raw data processing, filtering, map reconstruction, angular power spectrum measurement, and cosmological constraints, especially using the spectro-imaging technique unique to QUBIC, that allows improved cleaning from the contamination of foreground emission.
- Implementing and using self-calibration to account for instrumental systematic effects in the data analysis pipeline
- developing data analysis techniques based on Artificial Intelligence for the QUBIC data analysis pipeline: raw data cleaning, map-making, component separation, and cosmological parameters estimation.

The student will work within the QUBIC-APC team at APC, with the rest of the collaboration in France, Italy, Ireland, and Argentina.

---

## RECHERCHE D'ONDES GRAVITATIONNELLES PRIMORDIALES AVEC QUBIC: Développement de la chaîne d'analyse et contraintes cosmologiques

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 signerait la présence d'ondes gravitationnelles primordiales, théoriquement attendues de l'ère de l'inflation,  $10^{-35}$  secondes après le temps de Planck. Leur présence serait aussi un résultat non-trivial concernant la gravité quantique puisque la présence de modes tenseur (ondes gravitationnelles primordiales) signifierait que la métrique est quantifiée. 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.org.ar>) 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. L'Observatoire QUBIC a été inauguré en Novembre 2022 sur le site d'observations à 5000 m d'altitude dans la province de Salta en Argentine. Le Démonstrateur Technologique est installé sur le site et est actuellement en phase de *commissioning* et démarrera la prise de données début 2025.

Outre la participation aux activités de prise de données et d'exploitation de QUBIC (incluant des missions sur le site en Argentine), l'étudiant(e) participera aux recherches suivantes:

- Développement de la chaîne d'analyse de données: traitement temporel des données brutes, reconstruction de cartes, mesure du spectre angulaire et contraintes cosmologiques, en utilisant la technique d'imagerie spectrale, propre à QUBIC, qui permet un nettoyage amélioré de la contamination par les avant-plans astrophysiques.
- Implémentation et exploitation de la self-calibration et prise en compte des effets systématiques instrumentaux dans la chaîne d'analyse de données.
- développement des méthodes reposant sur l'intelligence artificielle dans la chaîne d'analyse de données de QUBIC: nettoyage des données brutes, fabrication de cartes et estimation des paramètres cosmologiques.

L'étudiant(e) travaillera au sein de l'équipe QUBIC-APC, en collaboration avec la collaboration en France, Italie, Irlande, et Argentine.

---

**Responsable(s) / Advisor(s):** Jean-Christophe Hamilton ([hamilton@apc.in2p3.fr](mailto:hamilton@apc.in2p3.fr)), Steve Torchinsky ([satorchi@apc.in2p3.fr](mailto:satorchi@apc.in2p3.fr))

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

**Profil:** Physique Fondamentale, Astrophysique, Instrumentation / Fundamental Physics, Astrophysics, Instrumentation

---