

## *Stage M2 / M2 internship – 2023*

### *Déterminer la nature de la matière noire et les propriétés du spectre de puissance primordial aux petites échelles grâce à la cosmologie à 21cm*

### *Uncovering the nature of dark matter and the properties of the primordial power spectrum on small scales with 21cm cosmology*

#### **Résumé :**

Dans le scénario standard actuel de la cosmologie, les fluctuations primordiales de matière donnent lieu, par croissance gravitationnelle précoce de celles de matière noire, aux galaxies telles qu'on les voit aujourd'hui. Ces fluctuations trouvent leur origine dans les oscillations quantiques d'un champ scalaire à la fin d'une phase d'inflation. Si les perturbations du champ gravitationnel ainsi générées sont gaussiennes, elles sont entièrement déterminées par leur spectre de puissance (le lien entre les perturbations du champ gravitationnel et celles de la matière dérive d'une fonction de transfert caractérisant la réponse des composantes de matière/s et de radiation/s aux premières). Ces hypothèses théoriques permettent une interprétation cohérente des données du fond diffus micro-onde cosmologique ainsi que de celles des grands relevés de galaxies. Pourtant, rien ne contraint pour l'heure le spectre de puissance primordial aux plus petites échelles. Or, l'étude de la structuration de la matière noire aux échelles subgalactiques (on parle de sous-structures galactiques) permet en principe d'accéder à ces zones inexplorées du spectre de puissance. Cette structuration dépend également très fortement de la nature de la matière noire, notamment de son caractère de particule élémentaire et/ou d'objet compact exotique, et de ses interactions avec la matière ordinaire ou avec elle-même. Elle combine donc des informations précieuses à la fois sur le scénario d'inflation sous-jacent et sur les propriétés de la matière noire. L'objet de ce stage est de comprendre comment la phase de réionisation de l'univers (due à l'allumage des premières étoiles), qui sera bientôt observée directement e.g. au travers de la raie d'hydrogène à 21cm (décalée par l'expansion) et du JWST, pourrait être affectée par la présence de sous-structures de matière noire, en tenant compte des variations dans leurs propriétés dérivant de différentes hypothèses théoriques. Il s'agit ici d'étudier des effets purement gravitationnels qui peuvent donc concerner la matière noire sous différentes formes (WIMPs, axions, ou encore trous noirs primordiaux), et qui dépendront des hypothèses adoptées pour le spectre de puissance primordial. Ce stage est interdisciplinaire par nature, mêlant des aspects théoriques aux frontières de la cosmologie primordiale, de la formation des structures, de l'astrophysique et de la physique des particules au-delà du modèle standard.

#### **Abstract:**

In the standard cosmological scenario, the tiny primordial matter density fluctuations, which can grow early enough thanks to collisionless and cold dark matter, are the seeds of galaxies. These fluctuations follow from perturbations in the gravitational field induced by quantum fluctuations of a scalar field after it dragged the universe in an inflation phase. If these perturbations are Gaussian on all scales, they are fully characterized by their associated power spectrum (these perturbations are then transferred to the matter density field/s depending on the expansion rate and the matter and radiation species). These theoretical inputs can lead to a consistent interpretation of the cosmic microwave background (CMB) data, as well as of those of large-scale galaxy surveys. However, the primordial power spectrum remains basically unconstrained on smaller scales. Fortunately, it actually turns out that the structuring of dark matter on subgalactic scales (in the form of subhalos) can give access to a convolution of both the primordial power spectrum in yet an unexplored range, and the dark matter intimate properties (nature, interactions with standard matter, etc.). The proposed internship intends to understand the impact of these subhalos on the reionization phase of the universe, which follows dark ages and stems from the ignition of the first stars in the early stages of galaxies – unprecedented probes will soon allow to have direct information on this period through e.g. 21cm cosmology and the JWST. In order to

constrain as many cold dark matter candidates as possible (axions, WIMPs, or primordial black holes), the work will mostly concentrate on model-dependent gravitational effects, taking different theoretical assumptions for the primordial power spectrum. This study will therefore develop at the frontiers of theoretical primordial cosmology, structure formation, and dark matter in its astroparticle physics declension.

**Nature du travail :**

Physique théorique et phénoménologie (concepts, calculs analytiques et numériques, prédictions, discussion des conséquences observationnelles).

**Work:**

Theoretical physics and phenomenology (concepts, both analytic and numerical calculations, predictions, observational implications).

**Pré-requis :**

Master 2.

Formation solide en physique théorique (cosmologie, particules).

Aisance dans le calcul analytique, pas d'allergie au calcul numérique.

Intérêts pour la connexion théorie-observations, et pour l'interdisciplinarité (cosmologie, astrophysique, particules).

Fortes motivation et capacité de travail.

**Prerequisite:**

Last year of Master.

Solid training in theoretical physics (in particular in cosmology and particle physics).

Skills in analytical calculations, not afraid of going to numerical calculations.

Interest in the theory-observation connection.

Strong motivation and work capacity.

**Proposition de thèse associée :** oui (sous réserve de sélection sur dossier par l'école doctorale I2S, sauf normaliens ou X).

**Associated PhD thesis proposal:** yes (pending selection by the doctoral school based on academic records).

**Contacts :**

Julien Lavallo (directeur de recherche CNRS – responsable/advisor) - [julien.lavalle@umontpellier.fr](mailto:julien.lavalle@umontpellier.fr)

**Document introductif au sujet / introductory document:** [ce lien](#) / [this link](#).

**Lieu/location:**

Laboratoire Univers et Particules de Montpellier (LUPM) – Equipe théorique [PACT](#)

CNRS & Université de Montpellier

Place Eugène Bataillon

F-34095 Montpellier Cedex 05 – France