

*Contraindre les propriétés de la matière noire cosmologique aux petites échelles  
avec des systèmes exoplanétaires*

*Constraining the properties of cosmological dark matter on small scales  
with exoplanetary systems*

**Résumé :**

Dans le scénario standard actuel de la cosmologie, les fluctuations primordiales de matière générée par l'inflation donnent naissance aux galaxies telles qu'on les observe aujourd'hui. La brique élémentaire de ces édifices cosmologiques est la matière noire, qui, en vertu de ses très faibles interactions avec la matière ordinaire et le rayonnement, permet aux fluctuations primordiales de croître suffisamment tôt dans l'histoire de l'univers. Les premières échelles physiques à s'effondrer sont les plus petites, entrées les plus précocement dans l'horizon causal, et leur taille caractéristique dépend de la nature et des propriétés d'interactions de la matière noire (particules exotiques, trous noirs primordiaux, etc.). Elles peuvent être minuscules, de l'échelle de masse d'une planète (diluées sur un volume comparable à celui du système solaire, ou bien plus compactes selon différents modèles), et les galaxies seraient ainsi peuplées de myriades de ces mini-halos (ou sous-structures) de matière noire invisibles car dénuées d'étoiles et de gaz. Toutefois, ces sous-structures portent des informations précieuses : leurs propriétés reflètent non seulement le spectre de puissance des fluctuations primordiales à des échelles pour l'heure inexplorées (seules les fluctuations de taille cosmologique l'ont été jusqu'ici), mais aussi les propriétés d'interactions de la matière noire avec les particules du modèle standard. Elles renseignent donc à la fois sur la période d'inflation primordiale, et sur la nature de la matière noire. La présence de ces sous-structures modifie les prédictions pour les recherche de matière noire, et pourraient notamment laisser des traces gravitationnelles qui permettraient d'identifier ou de contraindre plusieurs scénarios théoriques couplés. L'objet de ce stage est d'essayer de contraindre l'existence de mini-halos de matière noire relativement compacts par les perturbations gravitationnelles qu'ils produiraient dans les systèmes exoplanétaires, réduisant potentiellement la durée de vie de ces derniers par effet de chauffage. En effet, l'accumulation de données sur ces systèmes les rendent attractifs pour ce genre de tests préliminaires. Il conviendra au préalable de bien comprendre les liens entre le spectre de puissance des perturbations primordiales, la nature de la matière noire, et les propriétés de structuration de la matière noire aux petites échelles (sub-galactiques). Ce stage est interdisciplinaire par nature, mêlant des aspects théoriques aux frontières de la cosmologie primordiale, de la formation des structures, de l'astrophysique (dynamique gravitationnelle) et de la physique des particules au-delà du modèle standard. Avant l'étude de dynamique gravitationnelle classique, il faudra notamment comprendre de manière détaillée comment, à partir d'un modèle de matière noire, les sous-structures se forment dans l'univers primordial, et voient leurs propriétés dépendre à la fois du spectre de puissance des fluctuations primordiales et des interactions de la matière noire avec le plasma.

Les travaux mis en œuvre durant ce stage sont susceptibles d'être poursuivis en thèse.

**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. They are transferred to the matter-radiation 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 mostly unconstrained on smaller scales. Fortunately, it 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 particles, etc.). The proposed internship intends to test and constrain the presence of dense dark matter subhalos in the Milky Way through the gravitational heating they would inject into exoplanetary systems, potentially shortening their lifetime. The present and forthcoming accumulation of data on exoplanets could indeed make these systems interesting probes of dark matter scenarios. Beside this specific preliminary study, the student will have to understand the theoretical links between the primordial spectrum of density fluctuations, the nature of dark matter, and the properties of their structures on subgalactic scales. This study will therefore develop at the frontiers of theoretical primordial cosmology, structure formation, and dark matter in its astroparticle physics declension.

This training is susceptible of being an introductory stage to a PhD thesis.

**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.

**Durée :** 3 ou 4 mois (bourse d'environ 500€/mois).

**Duration:** 3 or 4 months (grant of ~500€/month).

**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) – Équipe théorique [PACT](#)  
CNRS & Université de Montpellier  
Place Eugène Bataillon  
F-34095 Montpellier Cedex 05 – France