



*English below*

## **SÉDIMENTATION VERTICALE DES GRAINS DE POUSSIÈRE POREUX DANS LES DISQUES PROTOPLANÉTAIRES ET IMPACT SUR LA FORMATION DE PLANÉTÉSIMAUX**

Laboratoire : Centre de Recherche Astrophysique de Lyon – UMR 5574 (<https://cral.univ-lyon1.fr/>)

Directeur : Matthew Lehnert

Direction de thèse (HDR ou équivalent) : Jean-François GONZALEZ, équipe AstroENS

Co-direction :

Adresse électronique et téléphone : [jean-francois.gonzalez@ens-lyon.fr](mailto:jean-francois.gonzalez@ens-lyon.fr), 04 72 72 89 16

### Contexte et Description du projet :

Dans les disques protoplanétaires, les particules de poussière de la taille du  $\mu\text{m}$  s'agglomèrent pour former des planètes, objets  $10^{13}$  à  $10^{14}$  fois plus grands. Bien que le déroulement des dernières étapes de cette formation soit maintenant bien compris, de nombreuses incertitudes subsistent sur les premières phases avec l'identification de problèmes pour la formation planétaire : les « barrières » de migration radiale, de rebond, et de fragmentation. Les solutions qui sont envisagées pour s'en affranchir et former rapidement des planétésimaux nécessitent une couche dense de « galets » centimétriques dans le plan médian des disques. Des observations récentes à très haute résolution de disques vus par la tranche ont révélé de telles accumulations de poussière dans des couches très minces, or les modèles de disques turbulents ne parviennent pas à les reproduire. Nous projetons de réconcilier modèles et observations en prenant en compte la porosité des grains.

Nous étudions les disques protoplanétaires au moyen du code hydrodynamique SPH PHANTOM, qui permet de modéliser l'évolution spatiale de grains de poussière en tenant compte de leur interaction avec le gaz sous l'effet de la friction aérodynamique. Nous y avons introduit le traitement des processus de croissance et fragmentation des grains et, depuis peu, de l'évolution de leur porosité lors des collisions. Ce code est le seul au monde prenant en compte tous ces effets simultanément dans des simulations tridimensionnelles globales de disques protoplanétaires.

L'objectif de cette thèse est d'étudier la sédimentation verticale de grains poreux afin de comprendre finement l'évolution simultanée de la taille, porosité et altitude de tels grains de poussière et la formation de couches minces et denses dans le plan médian. Nous étudierons également l'influence de la composition chimique des grains. Le travail proposé dans cette thèse pourrait s'articuler comme suit :

1. Exploitation d'une grille de simulations, déjà réalisée, de l'évolution de grains poreux faisant varier les paramètres du modèle de porosité et la valeur de la vitesse seuil de fragmentation. Nous commencerons par l'extraction de l'épaisseur et la masse de la couche de la poussière afin de les comparer à celles déduites des observations et de définir des lois de sédimentation qui seront utilisables dans des codes de transfert de rayonnement.
2. Production, à partir de ces mêmes simulations, d'images synthétiques à plusieurs longueurs d'onde et pour plusieurs traceurs pour une comparaison directe aux observations avec le HST, VLT/SPHERE, le JWST et ALMA et pour préparer l'exploitation de l'ELT à la fin de la décennie.
3. Nouvelles simulations de l'évolution de grains poreux pour des compositions différentes. Nous considérerons en particulier des compositions jamais prises en compte dans des simulations numériques jusqu'à présent, comme des grains de silicates recouverts d'un manteau de matière organique, plus collante. Nous évaluerons l'influence de la composition des grains sur la formation des pièges à poussière auto-induits.

4. Conclusion sur la viabilité des mécanismes de formation de planétésimaux dans les plans médians des disques issus de nos simulations.

Date de début de thèse : 1<sup>er</sup> octobre 2024

Autres sources de financement envisagées que l'ED52 : aucune



*Français ci-dessus*

## **VERTICAL SETTLING OF POROUS DUST GRAINS IN PROTOPLANETARY DISKS AND IMPACT ON PLANETESIMAL FORMATION**

Institute: Centre de Recherche Astrophysique de Lyon – UMR 5574 (<https://cral.univ-lyon1.fr/>)

Director: Matthew Lehnert

PhD supervisor (HDR or equivalent): Jean-François GONZALEZ, AstroENS team

Co-supervisor:

Email address and phone number: [jean-francois.gonzalez@ens-lyon.fr](mailto:jean-francois.gonzalez@ens-lyon.fr), 04 72 72 89 16

### Context and Project description:

In protoplanetary disks,  $\mu\text{m}$ -sized dust particles agglomerate to form planets, objects  $10^{13}$  to  $10^{14}$  times larger. Although the last stages of this formation are now well understood, many unknowns remain about the first stages with the identification of problems for planet formation: the radial drift, bouncing, and fragmentation “barriers”. The solutions currently proposed to overcome them and rapidly form planetesimals require a dense layer of cm-sized “pebbles” in the disk midplanes. Recent very high-resolution observations of edge-on disks have shown such dust accumulations in very thin layers, but the models of turbulent disks cannot reproduce them. We propose to reconcile models and observations by taking into account the porosity of grains.

We study protoplanetary disks with the SPH hydrodynamics code PHANTOM, allowing to model the spatial evolution of dust grains taking into account their interaction with the gas via aerodynamic drag. We have implemented the treatment of grain growth and fragmentation processes and, more recently, of the evolution of their porosity during collisions. This code is the only one in the world able to take into account all these effects simultaneously in global three-dimensional simulations of protoplanetary disks.

The goal of this thesis is to study the vertical settling of porous grains in order to better understand the simultaneous evolution of size, porosity and altitude of such grains and the formation of thin and dense layers in the midplane. We will also study the influence of the grain chemical composition. The proposed work for this thesis would be organized as follows:

1. Analysis of a grid of simulations, already computed, of the evolution of porous grains with varying parameters of the porosity model and fragmentation threshold velocity. We will start with the extraction of the thickness and mass of the dust layer in order to compare them to those inferred from observations and to define settling laws to be used in radiative transfer codes.
2. Production, from these same simulations, of synthetic images at various wavelengths and for different tracers for a direct comparison to observations with HST, VLT/SPHERE, JWST and ALMA, and to prepare the exploitation of the ELT at the end of the decade.
3. New simulations of the evolution of porous grains for different compositions. We will consider in particular compositions never before included in numerical simulations, such as silicates coated with a layer of stickier organic matter. We will assess the influence of grain composition on the formation of self-induced dust traps.
4. Conclusion on the viability of the planetesimal formation mechanisms in the midplanes of our simulated disks.

Starting PhD date: 1<sup>st</sup> of October 2024

Other foreseen funding than ED52: none