

## **Proposition de stage de Master 2 Recherche** **Année académique 2023 – 2024**

**Responsable de stage : Jean-François GONZALEZ**

@ : jean-francois.gonzalez@ens-lyon.fr

☎ : 04 78 86 85 70

**Adresse/Lieu du Stage :** CRAL - site Jacques Monod : 46 allée d'Italie, Lyon

**Équipe de recherche d'accueil :** AstroENS

**Intitulé du stage :** Étude de la sédimentation verticale de grains de poussière poreux dans les disques protoplanétaires

### **Résumé du travail demandé :**

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 phases permettant la formation de planétésimaux kilométriques 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 avons développé un modèle physique réaliste de croissance et fragmentation des grains de poussière, ainsi que de l'évolution de leur porosité lors des collisions, et l'avons inclus dans le code public PHANTOM. Ce code, utilisant le formalisme SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics), 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 dynamique dans des simulations 3D globales de disques protoplanétaires. L'objectif de ce stage 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.

Le travail proposé consiste en l'exploitation d'une grille de simulations de l'évolution de grains poreux faisant varier les paramètres du modèle de porosité et la valeur de la vitesse seuil de fragmentation, déjà réalisée. Une première partie sera dédiée à l'analyse des résultats et 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. Dans une deuxième partie, des images synthétiques seront produites pour une comparaison directe aux observations. Le travail pourra être continué en thèse, afin de d'explorer plus avant l'influence des propriétés des grains de différentes compositions.

**Type de financement envisagé pour le stage :** financement du PNP acquis

**Indication éventuelle d'ouverture vers un sujet de thèse :** Oui

## **Master 2 Research internship offer** **Academic year 2023 – 2024**

**Internship supervisor: Jean-François GONZALEZ**

@ : jean-francois.gonzalez@ens-lyon.fr

☎ : 04 78 86 85 70

**Address/Workplace:** CRAL - site Jacques Monod : 46 allée d'Italie, Lyon

**Hosting research team:** AstroENS

**Internship title:** Study of the vertical settling of porous dust grains in protoplanetary disks

### **Summary of proposed work:**

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 steps leading to the formation of km-sized planetesimals, with the identification of problems for planet formation: the “barriers” of radial migration, bouncing, and fragmentation. The solutions that are proposed to circumvent them and rapidly form planetesimals require a dense layer of cm-sized “pebbles” in the disk mid-plane. Recent very high-resolution observations of disks seen edge-on have revealed such dust accumulations in very thin layers, but models of turbulent disks fail to reproduce them. We plan to reconcile models and observations by taking grain porosity into account.

We have developed a realistic physical model of dust grain growth and fragmentation, as well as of the evolution of their porosity during collisions, and we have included it in the public code PHANTOM. This code, using the SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) formalism, allows to model the spatial evolution of dust grains taking into account their interaction with the gas via aerodynamic drag in global 3D simulations of protoplanetary disks. The goal of this internship is to study the vertical settling of porous grains in order to better understand the simultaneous evolution of the size, porosity and altitude of such grains.

The proposed work is to exploit a grid of simulations of the evolution of porous grains varying parameters of the porosity model and fragmentation threshold velocity, already produced. A first part will be dedicated to the analysis of their results and the extraction of the thickness and mass of the dust layer to compare them to those inferred from observations and to define settling laws to be used in radiative transfer codes. In a second part, synthetic images will be computed for a direct comparison to observations. A follow-up to this work may be proposed as a PhD thesis in order to explore further the influence of the properties of grains of different compositions.

**Nature of the financial support for the internship:** PNP, confirmed

**Potential for a follow-up as a PhD thesis:** Yes