



Sujet proposé pour un début de contrat en octobre 2015

TITRE DU SUJET: Origine de la matière solide du Système Solaire : Modélisation de la dynamique et chimie du disque protoplanétaire jeune en lien avec les données cosmochimiques

Directeur: **Sébastien CHARNOZ (Prof. Université Paris Diderot, charnoz@cea.fr)**

Co-Directeur: **Marc CHAUSSIDON (DR CNRS, chaussidon@ipgp.fr)**

Equipe d'accueil: **IPGP - équipe CAGE (Cosmochimie-Astrophysique-Géophysique Expérimentale) - UMR7154**

Financement: Contrat doctoral

*Plus de renseignement voir : <http://ed560.ipgp.fr>, Rubrique : Offres_de_thèse
Il est indispensable de faire acte de candidature sur le site de l'Ecole doctorale*

Résumé:

Bien qu'il y ait un consensus sur le fait que la matière originale des planètes est la même que celle du Soleil, la diversité des compositions chimiques et isotopiques des météorites primitives (chondrites) nous indique que le matériau nébulaire a été fortement modifié (condensation, vaporisation, transport...) avant son incorporation dans les planètes.

L'objectif de la thèse est de modéliser la formation des solides et leur transport lors de la phase d'assemblage du disque protoplanétaire en prenant en compte la dynamique et thermodynamique du disque. A l'aide de simulations numériques on essaiera de construire des «familles synthétiques» de chondrites qui seront comparées aux données de laboratoires concernant l'abondance de plusieurs éléments clefs (Al, Mg, Fe, S) dans les chondrites pour contraindre l'environnement dynamique et thermodynamique de formation des premiers corps à l'origine des planètes et ainsi mieux comprendre le premier million d'années du disque protoplanétaire.

C'est une thèse multidisciplinaire, à l'interface entre l'astrophysique et la cosmochimie, au sein de la nouvelle équipe, CAGE, de l'IPGP.

Descriptif du sujet:

L'objet de cette thèse est de développer une approche interdisciplinaire (aller-retour entre les modèles astrophysiques et les données cosmochimiques) et multi-outils (simulations numériques et intégration des études analytiques de météorites) pour mieux comprendre les phases les plus primitives d'évolution de la matière (gaz et grains solides) qui ont conduit à la formation des planètes dans le disque d'accrétion protoplanétaire. Bien que l'on ait une vision d'ensemble assez précise de la formation des planètes (croissance progressive d'objets kilométriques à partir de poussières nanométriques), les échantillons dont on dispose de ces premiers objets planétaires (les météorites primitives ou chondrites) nous indiquent que la dynamique de la nébuleuse protoplanétaire et son évolution dans le premier million d'années a été complexe, et de ce fait, demeure très mal comprise.

Même si la composition chimique moyenne des planètes terrestres est similaire à celle du Soleil (moins l'hydrogène et l'hélium), l'étude de la composition chimique et isotopique des chondrites démontre que le matériau de la nébuleuse a eu une histoire physico/chimique très complexe (différents épisodes de condensation, évaporation, fusion,

...) avant son assemblage dans les précurseurs des planètes. Ces processus sont responsables des fractionnements géochimiques observés pour les éléments majeurs des chondrites, que ce soit à l'échelle globale ou dans leurs composants à l'échelle micrométrique (chondres, matrice, et rares inclusions réfractaires): e. g. variations de concentrations des éléments réfractaires tels que Al, Ca (évaporation/condensation), du Fe (soustraction ou addition de métal) ou du Mg (soustraction ou addition d'olivine). Ces variations pourraient être la conséquence d'un transport sélectif des solides condensés et transformés dans la nébuleuse protoplanétaire primordiale, avant même la formation des planétésimaux. Les datations des composants des météorites par les radioactivités éteintes telles que le ^{26}Al , montrent que ces fractionnements géochimiques résultent de processus qui se sont déroulés très tôt, pendant les premières centaines de milliers d'années du disque protoplanétaire.

Un des enjeux scientifiques le plus importants aujourd'hui dans l'étude de l'évolution précoce du système solaire est d'arriver à interpréter quantitativement les informations données par les météorites sur la physico-chimie (pression, température et composition) et la dynamique (temps et espace) du disque dans le cadre d'un modèle astrophysique cohérent de disque protoplanétaire. C'est tout l'objectif de cette thèse.

Les travaux conduits dans cette thèse viseront à déterminer la dynamique de la nébuleuse protoplanétaire en construisant un code de transport des poussières (code Hydro 1D couplé à un code thermodynamique simple) qui permette de suivre en fonction du temps les concentrations des éléments majeurs clefs (Ca, Mg, Al, Si, O & Fe) dans les solides formés et transportés dans le disque, depuis l'échelle du grain micrométrique jusqu'à celle du planétésimal kilométrique. Une telle approche est novatrice: elle est originale et difficile. Cela nécessite de prendre en compte plusieurs effets physiques au sein du même code (turbulence, viscosité, présence de dead-zones, alimentation de la nébuleuse par un nuage en effondrement, réactions entre le gaz et les solides). Plusieurs scénarios de la nébuleuses seront explorés (effondrement du nuage moléculaire, présence de dead-zones, nébuleuse de masse minimum, migration de la limite des glaces) pour évaluer leur pertinence à expliquer les variations de composition observées dans les chondrites.

L'originalité et la force de cette thèse est son côté multidisciplinaire car il faudra faire un aller-retour entre simulations numériques et "observations réelles" dans les météorites. Toutes sortes de données chimiques et isotopiques (O, Mg, ...) existent pour les chondrites et leurs composants. Une difficulté du travail sera de déterminer celles qui sont critiques vis à vis de la validation des simulations.

Un des aspects scientifiques les plus intéressants et attendu est la possibilité de confirmer ou non, si l'essentiel des solides constituant les chondrites sont issus d'une séquence de condensation d'un gaz de composition solaire produit par évaporation de la poussière présolaire du disque au voisinage du Soleil lui-même (hypothèse standard aujourd'hui, mais non solidement confirmée) ou s'il faut invoquer une source de chauffage (tel qu'un choc d'accrétion) directement dans le nuage qui a donné naissance au disque protoplanétaire. Un autre résultat très important pourrait être de progresser dans la compréhension de l'origine des chondres (collisions entre des planétésimaux ou ondes de choc se propageant dans le disque).

Cette thèse, si elle est menée à bien, donnera des éléments nouveaux et déterminants qui soit confirmeront, soit infirmeront, une des hypothèses essentielles du paradigme actuel de la formation planétaire.

Sur le plan international, pour l'instant il n'y a aucune étude du transport des poussières qui prenne en compte l'effondrement de la nébuleuse protoplanétaire ainsi que les effets de transition de phase (vaporisation des cristaux de silicates et redistribution par

diffusion turbulente dans le disque) dans un disque qui évolue. Seuls des travaux menés à l'Université de Chicago, avec laquelle nous avons des collaborations suivies, se rapprochent de certains aspects de ce sujet de thèse.

L'IPGP a récemment lancé un programme multidisciplinaire Sciences de la Terre/ Astrophysique au sein du Labex UnivEarths (dans lequel s'inscrit cette thèse) avec le laboratoire AIM (CEA Saclay). Ils sont des leaders internationaux sur le thème de l'étude de météorites et en Astrophysique. Les laboratoires proches avec lesquels nous collaborons créent un contexte de recherche exceptionnel pour le futur étudiant: Le Muséum d'Histoire Naturelle (Paris) est leader sur les météorites, l'Observatoire de Paris Meudon est un grand centre d'Astrophysique de niveau mondial.