



Sujet proposé pour un début de contrat en octobre 2019

---

**TITRE du SUJET : Convection double-diffusive dans les intérieurs planétaires**

Directeur :

**FOURNIER Alexandre, Pr, [fournier@ipgp.fr](mailto:fournier@ipgp.fr)**

Co-encadrant : *choisir éventuellement un.e co-directeur.trice avec HDR ou un.e coencadrant.e sans HDR supprimer les mots inutiles et ceux en italique*

**GASTINE Thomas, CR, [gastine@ipgp.fr](mailto:gastine@ipgp.fr)**

Equipe d'accueil : *à préciser et supprimer la ligne inutile*

**IPGP- Equipe de Géomagnétisme – UMR7154**

Financement : **Contrat doctoral avec ou sans mission d'enseignement**

---

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

---

Développement du Sujet : (1 à 2 pages)

Les mouvements convectifs turbulents dans les intérieurs fluides des planètes constituent la principale source d'énergie nécessaire à la génération de leur champ magnétique par effet dynamo. La convection est alimentée par deux sources principales d'anomalie de masse : d'une part une contribution thermique due au refroidissement séculaire des planètes, et d'autre part une contribution compositionnelle (ou chimique) provenant de la présence de différents éléments dans le milieu fluide. On parle alors de convection thermo-solutale, ou encore de convection double-diffusive. Au cours des 30 dernières années, la progression des moyens de calcul a entraîné le développement de modèles numériques globaux de plus en plus précis de la dynamique des intérieurs planétaires. Ces modèles numériques ont apporté des progrès significatifs à notre compréhension des phénomènes physiques responsables de la génération et de la variation temporelle du champ magnétique des planètes. En dépit de ces avancées importantes en matière de modélisation, les modèles numériques actuels s'appuient sur un certain nombre d'hypothèses simplificatrices. En particulier, l'écrasante majorité des modèles négligent les effets double-diffusifs et assimilent le forçage convectif à une origine purement thermique. La validité d'une telle approche pour modéliser la convection dans les intérieurs planétaires est loin d'être établie. En effet, la convection thermo-solutale possède plusieurs régimes dynamiques très spécifiques qui dépendent fortement des rôles stabilisants ou déstabilisants joués par la température et la composition chimique. Ces phénomènes physiques ont beaucoup été étudiés dans le cadre des écoulements océaniques mais ont fait l'objet d'un nombre très restreint d'études dédiées aux intérieurs planétaires en rotation rapide. L'objectif principal

de cette thèse est précisément de mieux comprendre l'influence de la rotation et/ou du champ magnétique sur les différents régimes de convection thermo-solutale.

## Contexte sociétal, économique et/ou industriel

Ce travail vise à améliorer notre compréhension des processus à l'origine de la création et des fluctuations spatio-temporelles des champs magnétiques planétaires. Dans le cas de la Terre, cette connaissance peut avoir des conséquences sociétales importantes, car la cartographie globale du champ magnétique est toujours utilisée à des fins d'orientation et de navigation. Une connaissance approfondie des processus à l'origine des fluctuations géomagnétiques peut in fine nous permettre de proposer des modèles numériques capables de prédire de manière fiable l'évolution du champ magnétique terrestre, en mettant en œuvre des méthodes d'assimilation de données.

## Contexte scientifique

Ce travail de thèse s'inscrit dans le cadre général de la modélisation en dynamique des fluides géophysiques et astrophysiques, par notamment l'étude d'instabilités et l'établissement de lois d'échelle. Il implique de développer une forte compétence en modélisation physique et numérique.

## Démarche

Pour mieux appréhender les différents régimes physiques de convection thermo-solutale en présence de rotation et/ou d'un champ magnétique, l'étudiant sera amené à réaliser une étude paramétrique systématique en variant notamment l'influence du taux de rotation et l'amplitude relative du forçage thermique et chimique. Pour ce faire, les calculs numériques envisagés seront réalisés avec le code 3-D en géométrie sphérique MagIC (<https://github.com/magic-sph/magic>), un code qui a notamment été validé par un benchmark de convection double-diffusive et dont un des encadrants en thèse (Thomas Gastine) est le développeur principal.

## Actions prévues pour la première année

La thèse commencera par un travail bibliographique de fond et une écriture des équations qui gouvernent le problème magnéto-hydrodynamique. Un soin particulier sera apporté aux points suivants :

- Adimensionnement des équations et identification des paramètres de contrôle
- Définition des conditions aux limites
- Travail sur la définition de l'état de référence

En parallèle de cette étape, l'étudiant devra prendre en main l'outil numérique et se

familiariser avec les plateformes de calcul intensif. Il procédera ensuite à une étude paramétrique de la convection thermo-solutale en rotation rapide. L'idée étant d'abord d'étudier l'influence de la rotation sur les différentes instabilités double-diffusives, ces simulations seront réalisées dans un premier temps sans champ magnétique. L'objectif principal de cette première étape sera de développer une compréhension des instabilités convectives double-diffusives et de leur propriétés spatio-temporelles. Pour ce faire, l'étudiant sera amené à établir des lois d'échelle pour la vitesse et le transport thermique et chimique.

## **Actions prévues pour la deuxième année**

Les configurations typiques les plus intéressantes obtenues lors de l'étude paramétrique sans champ magnétique seront ensuite recalculées mais cette fois en présence d'un champ magnétique pour étudier son influence sur les solutions obtenues. Dans les configurations pour lesquelles le champ magnétique généré par effet dynamo aura une composante dipolaire importante, on procédera à une mise à l'échelle de l'intensité moyenne du champ avec la puissance convective en vue notamment de confronter les résultats des dynamos thermo-solutales aux modèles numériques classiques purement thermiques. Les lois et comportements obtenus seront appliqués aux dynamos planétaires, avec un focus particulier sur la géodynamo.