

THÈSE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITÉ

ÉCOLE DOCTORALE N° 596

Matière, Molécules, Matériaux et Géosciences

Spécialité : Sciences de la Terre et des Planètes

Par

Shivangi SHARAN

Sur l'utilisation du champ magnétique pour caractériser l'intérieur des planètes : les cas de Jupiter et de Mars

The interior of planets as characterised by their magnetic fields : the Jovian and Martian cases

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 30/01/2023

Unité de recherche : Laboratoire de Planétologie et Géosciences, Nantes Université, CNRS UMR 6112, Nantes, France

Rapporteurs avant soutenance :

Maria Alexandra Pais Assistant Professor, Physics Department, University of Coimbra
Annick Chauvin Professeure, Géosciences Rennes, Université de Rennes

Composition du Jury :

Président :

Olivier Grasset Professeur, Laboratoire de Planétologie et Géosciences, Nantes Université

Examineurs :

Mioara Mandea Physicienne, Conseil National des Astronomes et Physiciens, Centre National d'Études Spatiale
Michele Dougherty Professor, Department of Physics, Imperial College London

Directeur de thèse :

Benoit Langlais Directeur de Recherche CNRS, Laboratoire de Planétologie et Géosciences, Nantes Université

Co-directeur de thèse :

Erwan Thébaud Directeur de Recherche CNRS, Laboratoire de Magmas et Volcans, Université Clermont Auvergne
Olivier Verhoeven Maître de Conférences, Laboratoire de Planétologie et Géosciences, Nantes Université

Invité :

Pascal Tarits Professeur, Laboratoire Géosciences Océan, Université Bretagne Occidentale

Titre : Sur l'utilisation du champ magnétique pour caractériser l'intérieur des planètes : les cas de Jupiter et de Mars

Mots clés : champ magnétique, Jupiter, dynamo, variation séculaire, Mars, conductivité

Résumé : On étudie le champ magnétique de Mars et de Jupiter pour avoir des informations sur son intérieur. Il existe des sources internes et externes de champ magnétique autour d'une planète qui peuvent être modélisées à l'aide des harmoniques sphériques. Les sources internes sont la dynamo, la croûte et les champs induits, et les sources externes sont produites à l'extérieur de la planète. Pour Jupiter, le champ dynamo interne est étudié à l'aide des données du satellite Juno, et pour Mars, les champs induits sont étudiés à l'aide des données de deux satellites, MGS et MAVEN.

Le champ dynamo de Jupiter est généré par la convection de l'hydrogène liquide conducteur. Ce champ et ses variations séculaire (SV) sont modélisés jusqu'aux degrés 16 et 8 respectivement. On déduit la profondeur de génération du champ à 0,83 fois le rayon de la planète. La SV varie à un taux d'environ 0,6%

par an et est principalement produite par les mouvements advectifs du fluide. Les cartes de champ montrent deux taches de flux proéminentes tandis que les cartes de SV montrent des caractéristiques zonales et non zonales.

Mars est gouvernée par des champs crustaux qui est au moins deux fois l'ordre de magnitude de celui observé sur Terre. Les champs résiduels obtenus après suppression des champs crustaux statiques sont de l'ordre de 10^2 nT. Les analyses donnent une tendance sur 27 jours qui peut être utilisée pour obtenir des indices magnétiques. Les champs résiduels est modélisé jusqu'au degré 3 pour ses deux composantes : le champ externe et le champ induit interne. A partir de celles-ci, on obtient des informations sur la conductivité électrique dans le manteau par inversion Bayésienne.

Title : The interior of planets as characterised by their magnetic fields : the Jovian and Martian cases

Keywords : magnetic field, Jupiter, dynamo, secular variation, Mars, conductivity

Abstract : We study the magnetic field of Mars and Jupiter to obtain information about their interior from them. There are internal and external sources of magnetic field around a planet which can be modelled using Spherical Harmonics (SH). The internal sources are the dynamo, crust and induced fields while the external sources are produced outside the planet due to interaction with solar phenomena. For Jupiter, we work with the internal dynamo field using Juno satellite data while for Mars, we work with the induced fields using data of two satellites, MGS and MAVEN.

Jupiter's dynamo field is produced due to convection in the conducting liquid metallic hydrogen and undergoes changes with respect to time called secular variations (SV). We model the internal field and its changes up to SH degree 16 and 8 respectively. From them, we decipher the depths of field generation at 0.83

times the radius of the planet. The SV varies at a rate of about 0.6% per year and is dominantly produced by the advective movements of the fluid. The field maps display two prominent flux patches while the SV maps display zonal and non-zonal features.

Mars presently does not possess a dynamo but is governed by crustal fields that are at least twice the order of magnitude than that observed on Earth. The residual fields obtained after removal of the static crustal fields are of the order of 10^2 nT. Their analysis provides a 27 days trend that can be used to obtain magnetic indices. The residual fields are then modelled up to SH degree 3 for its two components- the externally inducing and the internally induced fields. From them, we get some information about the conductivity of the interior using Bayesian inversion.