

Sujet de thèse (externe)	Evolution thermique de la Lune : Flux de chaleur, volcanisme, et génération d'une dynamo
Equipe d'accueil	Géophysique Spatiale et Planétaire
Directeur de thèse:	Mark A. Wieczorek (Habilitation) Géophysique Spatiale et Planétaire Institut de Physique du Globe de Paris 4 avenue de Neptune 94100 Saint Maur des Fossés wieczor@ipgp.fr 01 45 11 41 26 (tél)
Co-Directrice de thèse:	Doris Breuer Institute of Planetary Research Deutsches Zentrum für Luft- u. Raumfahrt (DLR) Rutherfordstr. 2, 12489 Berlin, Germany Doris.Breuer@dlr.de +49 30 67055 301 (tél)

Résumé du sujet

Des avancées colossales concernant la compréhension de la structure interne de la Terre, de sa composition ainsi que des processus géologiques sous-jacents ont été faites durant le siècle passé. Néanmoins, il existe des aspects qui resteront toujours difficiles voire impossibles à étudier du point de vue terrestre. Nous disposons de quelques roches qui ont plus de 4 milliards d'années et la composition initiale ainsi que la structure de la croûte terrestre ont indéniablement été modifiées depuis par le volcanisme, l'érosion et la tectonique des plaques. C'est pour cette raison que l'étude d'autres planètes telluriques, et particulièrement notre Lune, devient d'une importance vitale pour la compréhension de ces temps reculés de l'histoire de la Terre. Cette thèse doctorale permettrait d'approfondir quelques questions importantes en planétologie comparée. Nous allons étudier l'évolution thermique de la Lune depuis sa création à aujourd'hui, et ce travail sera effectué en trois phases qui s'appuieront autant sur de la simulation numérique que sur l'analyse de données obtenues depuis orbite ou depuis la surface. Premièrement, quel est le flux de chaleur de la Lune ? De la glace ou d'autres volatiles pourraient-ils être stables à certaines latitudes ? Deuxièmement, pourquoi est-ce que la grande majorité des éruptions volcaniques ont eu lieu sur la face visible de la Lune et non sur sa face cachée ? Et troisièmement, est-ce que le noyau de la Lune est liquide et est-ce qu'il a pu, durant son histoire, donner lieu à un champ magnétique dipolaire similaire au champ terrestre ? Les réponses à ces questions vont contribuer à comprendre des phénomènes similaires sur d'autres planètes comme Mars, Mercure ou Vénus.

ANNEXE : Sujet détaillé

1. Introduction

Des avancées colossales concernant la compréhension de la structure interne de la Terre, de sa composition ainsi que des processus géologiques sous-jacents ont été faites durant le siècle passé. Néanmoins, il existe des aspects qui resteront toujours difficiles voire impossibles à étudier du point de vue terrestre. Nous disposons de quelques roches qui ont plus de 4 milliards d'années et la composition initiale ainsi que la structure de la croûte terrestre ont indéniablement été modifiées depuis par le volcanisme, l'érosion et la tectonique des plaques. C'est pour cette raison que l'étude d'autres planètes telluriques, et particulièrement notre Lune, devient d'une importance vitale pour la compréhension de ces temps reculés de l'histoire de la Terre. Cette thèse doctorale permettrait d'approfondir quelques questions importantes en planétologie comparée. Nous allons étudier l'évolution thermique de la Lune depuis sa création à aujourd'hui, et ce travail sera effectué en trois phases qui s'appuieront autant sur de la simulation numérique que sur l'analyse de données obtenues depuis orbite ou depuis la surface. Premièrement, quel est le flux de chaleur de la Lune ? De la glace ou d'autres volatiles pourraient-ils être stables à certaines latitudes ? Deuxièmement, pourquoi est-ce que la grande majorité des éruptions volcaniques ont eu lieu sur la face visible de la Lune et non sur sa face cachée ? Et troisièmement, est-ce que le noyau de la Lune est liquide et est-ce qu'il a pu, durant son histoire, donner lieu à un champ magnétique dipolaire similaire au champ terrestre ? Les réponses à ces questions vont contribuer à comprendre des phénomènes similaires sur d'autres planètes comme Mars, Mercure ou Vénus. Cette allocation doctorale bénéficiera de l'expertise en géophysique planétaire de l'Institut de Physique du Globe de Paris, ainsi que de l'engagement de notre groupe dans des missions planétaires courantes et à venir. Le directeur de thèse, M. Wiczeorek, est un co-investigateur du spectromètre à rayons-X sur la mission lunaire indienne Chandrayaan-1, de la mission GRAIL visant à cartographier le champ de gravité lunaire de la NASA qui sera lancée en 2011, et de la mission BepiColumbo pour Mercure de l'ESA. De plus, Doris Breuer, comme co-directrice et professeur invité à l'IPGP, apportera une expertise reconnue dans la modélisation de l'évolution thermique des planètes telluriques.

2.1 Flux de chaleur de la Lune et stabilité de la glace.

La première partie de cette thèse vise une meilleure quantification du flux de chaleur de la Lune et à déterminer si de la glace ou d'autres volatiles peuvent être stables dans le régolithe près des pôles lunaires. Pendant les missions Apollo, le flux de chaleur de surface a été estimé à deux endroits en mesurant les températures jusqu'à une profondeur de trois mètres sous la surface et durant une période de quelques années. Alors qu'il a été noté que ces températures varient sur des périodes correspondant au mois lunaire et à l'année terrestre, nous avons montré qu'il existe aussi un signal important relié à la précession du plan de l'orbite lunaire de 18,6 ans et qui a été négligé jusqu'à présent. En prenant en compte ce signal, et en utilisant un modèle de transfert radiatif, nous allons obtenir de meilleures estimations non seulement du flux de chaleur lunaire mais aussi des propriétés thermiques du régolithe. Nos nouvelles estimations du flux de chaleur lunaire seront ensuite utilisées comme contraintes pour nos calculs d'évolution thermique (comme décrit plus bas). Nous utiliserons aussi nos nouvelles estimations des propriétés thermiques du régolithe pour déterminer si de la glace proche de la surface peut être stable. L'axe de rotation de la Lune étant quasiment perpendiculaire au plan de l'orbite terrestre, très peu de radiation solaire atteint la surface à de hautes latitudes. Malgré le fait qu'il ait été prédit depuis longtemps que l'on peut trouver de la glace dans des cratères ombragés de manière permanente, nos simulations préliminaires montrent que la glace peut aussi être stable sous la surface à de hautes latitudes même si elles sont illuminées par le soleil. La glace est une ressource très importante pour le futur de l'homme sur la Lune et est aussi scientifiquement importante car ces volatiles sont probablement anciens et pourraient provenir d'impacts de comètes. Nous utiliserons enfin les mesures orbitales de température de surface obtenues par l'instrument DIVINER de la mission LRO de la NASA.

2.2 Evolution thermique de la Lune.

La surface lunaire peut être divisée grossièrement en deux types de terrain : la croûte "lumineuse", primordiale et ancienne et les coulées de lave basaltique "sombres" qui sont relativement plus récentes. Quand le vaisseau soviétique Luna 3 obtint des images de la face cachée de la Lune pour la première fois en 1959, ce fût une petite

surprise de découvrir qu'il n'existait quasiment pas de coulée de lave basaltique sur cet hémisphère. Les raisons de cette asymétrie entre le volcanisme des deux hémisphères restèrent un mystère jusqu'en 1998 quand la mission Lunar Prospector mesura l'abondance des éléments radioactifs (potassium, thorium et uranium) en utilisant des rayonnements- γ depuis orbite. Ces mesures ont montré que la vaste majorité des éléments radioactifs dans la croûte sont situés sur la face visible, dans les mêmes régions où la plupart des éruptions de basaltes ont eu lieu. Il est maintenant admis que le volcanisme basaltique et la production de chaleur dans la croûte sont liés, mais peu d'études ont testé quantitativement cette hypothèse.

Dans cette seconde tâche, nous utiliserons des simulations de l'évolution thermique en trois dimensions qui prennent en compte la convection dans le manteau, les changements de phase et la variation spatiale des éléments radioactifs dans la croûte (et éventuellement dans le manteau). Ces simulations seront contraintes par le flux de chaleur mesuré aux différents points d'alunissage Apollo, les cartes d'abondance en potassium, thorium et uranium du spectromètre rayon- γ de Lunar Prospector, l'âge des maria et la distribution spatiale du volcanisme basaltique. L'objectif principal est de déterminer si des variations latérales de production de chaleur dans la croûte peuvent causer des variations latérales de fusion dans le manteau comme cela a été suggéré dans nos modélisations précédentes (Wieczorek et Phillips, 2000).

2.3 Le noyau lunaire.

Avant les missions Apollo, l'idée communément répandue était que la Lune est une relique primordiale et non-différenciée du système solaire original. Un tel corps n'aurait jamais pu former de noyau ni de dynamo permettant la création d'un champ magnétique comme celui sur Terre. Cela a donc été une grande surprise quand les satellites et les mesures de surface ont détecté un champ magnétique localisé, fort et provenant de la croûte. L'analyse paléomagnétique des échantillons Apollo a permis l'identification d'une magnétisation rémanente forte et stable. Des études ont depuis montré que la Lune a un petit noyau métallique et certaines mesures laissent à penser qu'une partie de ce noyau pourrait encore être sous forme liquide de nos jours. Dans cette troisième tâche, nous allons utiliser nos simulations de l'évolution thermique pour déterminer si le noyau de la Lune pourrait rester liquide jusqu'à aujourd'hui. De plus, en calculant la perte de chaleur du noyau en fonction du temps, nous déterminerons s'il est possible que le noyau ait généré une dynamo capable de créer un champ magnétique dipolaire. Ces simulations seront contraintes par de nouvelles mesures paléomagnétiques qui sont en train d'être effectuées par notre collaborateur B. Weiss (MIT), aussi bien que par nos recherches actuelles sur le magnétisme de la croûte d'après les mesures orbitales.

3. Collaborations internationales

Ce projet bénéficiera de multiples collaborations internationales ainsi que de l'activité de notre laboratoire dans le "Pôle Terre-Planètes" du "Campus Spatial" de l'Université Paris Diderot. Nos modélisations d'évolution thermique seront effectuées en collaboration avec Doris Breuer au Centre d'Aérospatiale Allemand (DLR, Berlin) où le candidat passera entre trois et six mois pour apprendre à utiliser un code de convection thermique. De plus, nos modélisations du noyau lunaire se feront en collaboration avec B. Weiss du Massachusetts Institute of Technology (MIT) dans le but d'incorporer de nouvelles mesures paléomagnétiques des échantillons lunaires à nos simulations. De nombreux aspects des recherches de notre laboratoire sur le magnétisme lunaire sont financés par une bourse MIT-France. Ce projet bénéficiera aussi de la participation de Wenzhe Fa, qui est un post-doc dans notre groupe et qui travaille sur les missions Chandrayaan-1, Chang'e-1, et Lunar Reconnaissance Orbiter, ainsi que de Qian Huang qui est une doctorante co-dirigée entre l'IPGP et l'Observatoire Astronomique de Shanghai qui travaille sur les données topographiques de la mission Mini-Ranger-1 pour étudier les sols sous le pôle sud lunaire. Enfin, le champ de gravité lunaire GRAIL de la NASA qui sera lancée en 2011 et plusieurs aspects des activités de cette mission auront pour but de contraindre l'asymétrie de l'évolution thermique de la Lune. La possibilité existe pour un co-financement de cette thèse depuis le DLR.