

Sismologie planétaire comparée entre Mars et la Lune au moyen des données des missions InSight et Farside Seismic Suite

Résumé :

La sismologie constitue un outil puissant pour sonder l'intérieur des corps planétaires. Grâce à la mission InSight, qui a déployé un sismomètre à la surface de Mars pendant 4 ans, de premières contraintes sur la structure interne de la planète Mars ont pu être révélées. Obtenir de telles informations sur une planète autre que la Terre avec une seule station sismique constitue un véritable défi scientifique. A la lumière des premières études menées sur ce sujet, l'objectif de cette thèse est d'aller plus loin dans l'interprétation des signaux sismologiques martiens, aussi bien au niveau de l'analyse des enregistrements que dans l'inversion des données pour estimer la structure interne de la planète. Ces travaux seront ensuite appliqués et adaptés à la future mission lunaire Farside Seismic Suite.

Objectifs :

Les objectifs de cette thèse seront les suivants :

1. produire une nouvelle génération de modèle de structure interne de Mars (croûte, manteau, noyau) au moyen des données du sismomètre SEIS à bord de la mission InSight
2. préparer l'exploitation scientifique des données du sismomètre lunaire de la mission Farside Seismic Suite (atterrissage prévu en 2025)

Contexte :

Les enregistrements du sismomètre SEIS de la mission InSight ont prouvé que Mars est une planète active. Parmi les centaines de tremblements de Mars détectés, quelques-uns ont une qualité suffisante pour identifier les phases sismiques utiles pour contraindre la structure interne de Mars, qui constitue une clé pour comprendre les processus de formation et d'évolution planétaires. En particulier, la structure du manteau et du noyau des objets planétaires conserve des traces de leur différenciation planétaire précoce. Elle contient également des informations critiques sur le style et l'état du moteur thermique de la planète, ainsi que sur la composition et la dynamique de leur noyau de fer, y compris la production de champ magnétique interne. Au cours des deux dernières années, des modèles moyens unidimensionnel de la croûte, du manteau et du noyau de Mars ont été déduits par l'équipe scientifique (Khan et al., 2021, Knapmeyer-Endrun et al., 2021, Stahler et al., 2021, Drilleau et al., 2022, Duran et al., 2022, Kim et al., 2022). Après ces travaux pionniers, les modèles doivent maintenant être affinés à la lumière de nouvelles analyses.

De plus, les modèles de recharge de l'instrument SEIS seront déposés à la surface de la Lune début 2025 au sein de la suite instrumentale Farside Seismic Suite. Cinquante ans après le déploiement des sismomètres Apollo, ces nouvelles données sismiques permettront de répondre à de nombreuses questions actuellement sans réponse précise, telles que la taille du noyau lunaire (Weber et al., 2011 ; Garcia et al., 2011), l'épaisseur de la lithosphère (Garcia et al., 2019) ou encore la distribution de la sismicité de la face cachée de la Lune. Afin de préparer l'analyse scientifique de ces données, il convient à la fois de re-étudier les données Apollo et de simuler l'analyse de ces nouvelles données par diverses méthodes. Le doctorant aura l'occasion de travailler dans un contexte international dans le contexte de missions spatiales. Des déplacements sont prévus au cours de la thèse afin de présenter les résultats lors de conférences internationales.

Méthode :

Afin d'identifier de nouvelles ondes sismiques interagissant avec la croûte, le manteau et le noyau, nous mettrons en place à la fois des méthodes de traitement de données, de simulation numérique des formes d'ondes sismiques et d'inversion.

Un flux de traitement des données brutes a déjà été mis en place et ISAE-SUPAERO, pour supprimer les signaux parasites (glitches, contamination par le vent).

Il sera complété par des outils de tracé de rayons et de modélisation de forme d'onde complète pour une meilleure analyse des signaux.

Des méthodes d'inversion de cette nouvelle base de données seront mises en place afin de mieux résoudre la structure profonde de Mars en termes de vitesses sismiques et de paramètres géodynamiques (température, viscosité, composition...). Le doctorant pourra utiliser et améliorer des algorithmes d'inversion probabiliste développés dans l'équipe InSight (Samuel et al., 2019, Drilleau et al., 2021, 2022).

Enfin, les outils développés pour Mars seront appliqués aux données FSS. Cependant, des outils d'analyse de données spécifiques devront être mis en place avant l'arrivée des instruments à la surface de la Lune.

Résultats attendus :

1 article scientifique sur la structure interne de Mars

1 article scientifique sur la valeur ajoutée des données FSS pour la sismologie lunaire

Références bibliographiques :

Durán, C., Khan, A., Ceylan, S., Charalambous, C., Kim, D., Drilleau, M., et al. (2022).

Observation of a core-diffracted P-wave from a farside impact with implications for the lower-mantle structure of Mars. *Geophysical Research Letters*, 49, e2022GL100887.

<https://doi.org/10.1029/2022GL100887>

Drilleau, M., Samuel, H., Rivoldini, A., et al. (2021). Bayesian inversion of the Martian structure using geodynamic constraints, *Geophysical Journal International*, 226, 1615-1644, doi: 10.1093/gji/ggab105

Drilleau, M., Samuel, H., Garcia, R. F., Rivoldini, A., Perrin, C., Michaut, C., ... & Banerdt, W. B. (2022). Marsquake locations and 1-D seismic models for Mars from InSight data. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 127(9), e2021JE007067.

Garcia, R. F., Gagnepain-Beyneix, J., Chevrot, S., & Lognonné, P. (2011). Very preliminary reference Moon model. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 188(1-2), 96-113.

Garcia, R. F., Khan, A., Drilleau, M., Margerin, L., Kawamura, T., Sun, D., ... & Zhu, P. (2019). Lunar seismology: An update on interior structure models. *Space Science Reviews*, 215(8), 1-47.

Khan, 1., Ceylan, S., van Driel, M., et al. (2021). Upper mantle structure of Mars from InSight seismic data. *Science*, 373, 434-438, doi: 10.1126/science.abf2966

Kim, D., Banerdt, W. B., Ceylan, S., et al. (2022). Surface waves and crustal structure on Mars. *Science*, 378, p. 417-421. <https://doi.org/10.1126/science.abq7157>

Knapmeyer-Endrun, B., Panning, M., Bissig, F., et al. (2021). Thickness and structure of the martian crust from InSight seismic data. *Science*, 373, 438-443. doi:

10.1126/science.abf8966

Samuel, H., Lognonné, P., Panning, M. & Lainey, V. (2019). The rheology and thermal history of Mars revealed by the orbital evolution of Phobos, *Nature*, 569, 523–527

Stahler, S., Khan, A., Banerdt, W. B., et al. (2021). Seismic detection of the Martian core. *Science*, 373, 443–448. doi: 10.1126/science.abi7730

Weber, R. C., Lin, P. Y., Garnero, E. J., Williams, Q., & Lognonné, P. (2011). Seismic detection of the lunar core. *Science*, 331(6015), 309-312.

Profils et compétences recherchés :

Master 2 en Planétologie et/ou Sciences de la Terre et/ou Mathématiques appliquées
Goût pour la géophysique, le calcul scientifique ou le traitement de données, et la programmation