

A

CTUALITÉS

P.6 Échos des labos

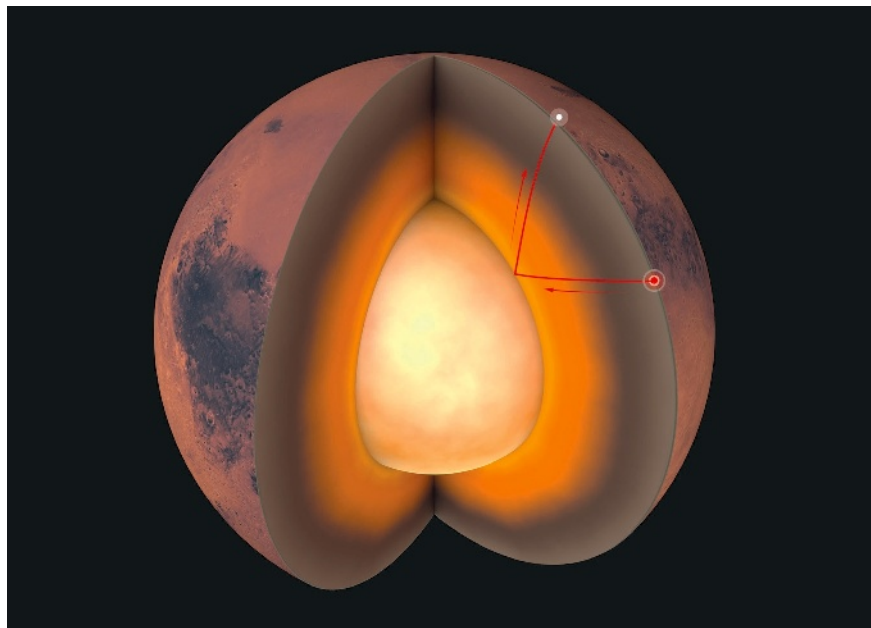
P.18 Livres du mois

P.20 Disputes environnementales

P.22 Les sciences à la loupe

PLANÉTOLOGIE

MISSION INSIGHT: LA PLANÈTE MARS À CŒUR OUVERT



Coupe de la structure interne de la planète Mars. La propagation d'ondes sismiques se réfléchissant à la surface du noyau a permis d'estimer le rayon de ce dernier.

Grâce au sismomètre d'InSight, la structure interne de la Planète rouge se précise, avec un noyau qui se révèle plus grand et moins dense que prévu.

Au début du xx^e siècle, des géophysiciens ont dévoilé la structure interne et inaccessible de la Terre grâce à l'étude des ondes sismiques. Déclenchées par un tremblement de terre, ces ondes se propagent à travers la planète, changent de vitesse ou de direction quand elles arrivent à l'interface de deux milieux différents. C'est ainsi que les spécialistes ont précisé les propriétés du noyau, du manteau et de la croûte terrestres, et ont posé les fondations de nos connaissances géologiques. La structure interne des autres planètes du Système solaire est encore très mal connue. C'est tout l'enjeu de la mission *InSight* et de son sismomètre Seis qui ont, pour la première fois et avec succès, cartographié l'intérieur de la planète Mars. Au sein d'une collaboration

internationale, Philippe Lognonné, de l'université de Paris, de l'institut de physique du globe de Paris et responsable scientifique de Seis, et ses collègues viennent de publier trois articles livrant une description inégalée de la Planète

**Le noyau martien
a un rayon d'environ
1830 kilomètres**

rouge. Une moisson de découvertes particulièrement riche qui détaille pour la première fois les propriétés du noyau, du manteau et de la croûte martiennes.

La mission *InSight* est arrivée sur Mars en novembre 2018 et l'instrument Seis a commencé ses prises de données en février 2019. Après plusieurs mois de fonctionnement, les géophysiciens ont présenté un certain nombre de résultats en 2020. La planète est bien soumise à des séismes, mais semble plus calme que prévu. En l'absence de tectonique des plaques (à la différence de la Terre), la plupart des vibrations détectées semblent dues à une activité de faible profondeur localisée dans la région de Cerberus Fossae. La magnitude de tous ces événements reste modeste, inférieure à 3,7.

La difficulté avec des séismes de faible magnitude est qu'il est plus ardu d'en extraire de l'information. En outre, la surface de Mars est soumise à des vents importants qui génèrent du bruit dans les enregistrements du sismomètre. Pour limiter ces effets parasites, un bouclier éolien et thermique recouvre l'instrument pour l'isoler au maximum des perturbations météorologiques. Le sismomètre a ainsi détecté plus de 600 séismes.

Le premier des nouveaux résultats porte sur la mesure du rayon du noyau martien et la caractérisation de son état. Pour cela, il était nécessaire d'enregistrer un signal sismique d'ondes qui rebondissent sur l'interface manteau-noyau. La collaboration InSight a ainsi déterminé que le rayon du noyau fait environ 1830 kilomètres (un peu plus de la moitié du rayon total de Mars) et que le noyau est liquide. Le rayon obtenu fait partie de la fourchette haute des estimations généralement admises jusqu'ici. Comme la masse du noyau était connue par ailleurs en étudiant les mouvements de la planète, un noyau plus grand implique que sa densité soit moins élevée qu'on ne le pensait. Son alliage fer-nickel est donc très enrichi en éléments plus légers tel que l'hydrogène, l'oxygène ou le carbone.

Avec un noyau aussi gros, le manteau est moins épais et sa base n'atteint pas des pressions suffisantes pour former un type particulier de minéraux, une pérovskite nommée «bridgmanite» (qui représente les roches les plus abondantes dans

le manteau inférieur de la Terre). «Des modèles d'évolution thermique de la planète Mars prévoient leur existence et ont montré que leur forte viscosité et leur caractère isolant auraient limité les mouvements de convection, source des échanges de chaleur dans l'intérieur de la planète» souligne Adrien Broquet, de l'université de l'Arizona, qui a participé à l'étude. Ainsi, en l'absence de bridgmanite dans le manteau martien, la convection aurait été extrêmement vigoureuse mais brève, ce qui expliquerait pourquoi Mars a perdu son champ magnétique global si rapidement. Or le déclin du champ magnétique martien a de fortes implications sur le maintien d'eau liquide à sa surface et sur son habitabilité.»

La convection intense et brève ainsi que la perte de chaleur associée ont peut-être contribué à un effet dynamo dans le noyau plus important et un champ magnétique plus intense que prévu. En l'occurrence, *InSight* est aussi équipée d'un magnétomètre qui a enregistré le champ magnétique rémanent à la surface

de Mars. Quand la dynamo planétaire était encore active, lors de la formation de lave (pendant une éruption volcanique ou un impact de météorite), le champ magnétique a réorienté les minéraux, tel que la magnétite, de la roche fondue. Cette orientation a été conservée lorsque la lave s'est refroidie et durcie, laissant un champ magnétique rémanent. D'après les mesures d'*InSight*, ce dernier est dix fois plus important que les estimations effectuées par les sondes en orbite. La dynamo martienne pourrait ainsi avoir été aussi intense que l'actuelle dynamo terrestre.

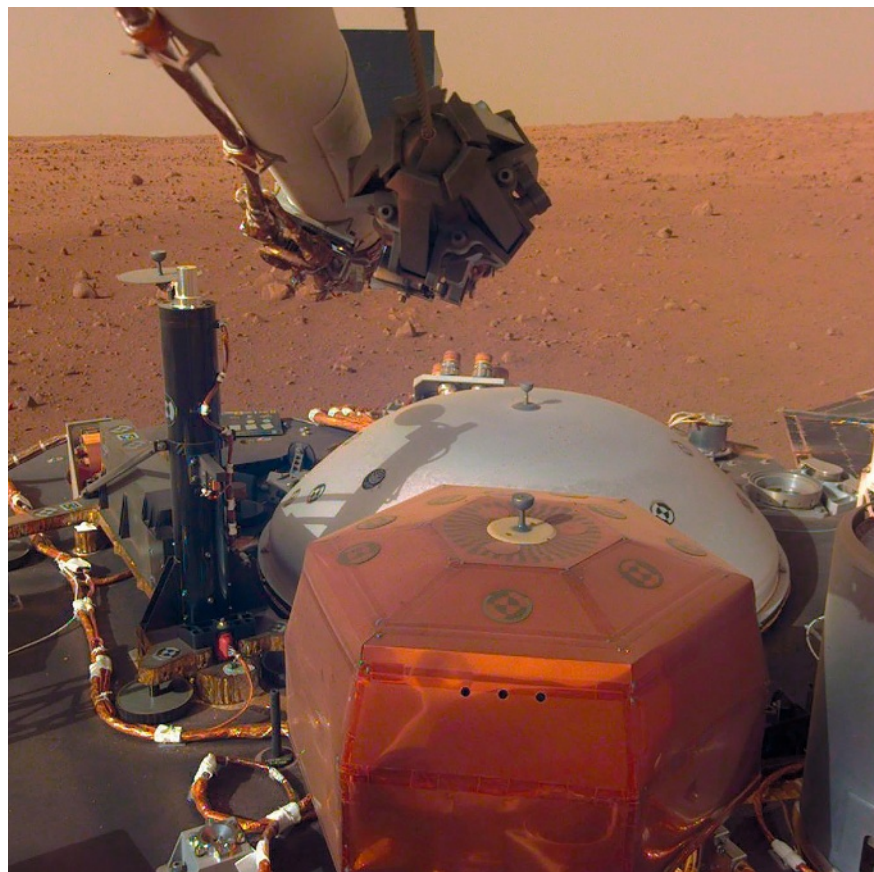
Actuellement, le flux de chaleur de l'intérieur vers la surface de Mars serait cinq fois plus faible que celui de la Terre. La partie basse du manteau serait soumise à de lents mouvements de convection, tandis que la lithosphère, composée de la couche supérieure et rigide du manteau et de la croûte, aurait une épaisseur comprise entre 400 et 600 kilomètres (elle est de 80 kilomètres sur Terre).

La mission *InSight* apporte également des informations sur la partie la plus superficielle de la Planète rouge, la croûte. Juste en dessous du sismomètre, celle-ci présenterait une couche de 10 kilomètres d'épaisseur très altérée et poreuse (probablement en lien avec l'activité de l'eau dans le passé martien). Reste à savoir si cette couche existe globalement ou si elle n'est que locale. Les chercheurs ont aussi identifié des discontinuités à 25 et 39 kilomètres de profondeur, qui pourraient correspondre à la base de la croûte. Là encore, il est trop tôt pour dire laquelle correspond à la frontière avec le manteau, mais ces résultats permettent d'ores et déjà d'écarter des modèles qui fixaient cette transition à près de 100 kilomètres de la surface.

L'équipe d'*InSight* espère encore récolter environ un an de données. Cela dépendra notamment de l'accumulation de poussière sur les panneaux solaires qui alimentent les instruments. Mais le succès de la mission encourage à se tourner vers d'autres corps du Système solaire. La Lune fait déjà l'objet de projets pour les années à venir, mais Titan et Europe, lunes de Saturne et Jupiter, seraient aussi intéressantes, sinon plus. ■

Sean Bailly

A. Khan *et al.*, *Science*, vol. 373, pp. 434-438, 2021 ;
B. Knapmeyer-Endrun *et al.*, *ibid.*, pp. 438-443 ;
S. C. Stähler *et al.*, *ibid.*, pp. 443-448



Cette photo a été prise après l'atterrissage sur Mars de la sonde *InSight* et avant la mise en place au sol du sismomètre Seis (en rouge). Le bouclier éolien et thermique est visible au second plan (en blanc).