

La mission *InSight* est un grand projet de mesures géophysiques de Mars. Quels sont ses objectifs ?

Étudier la structure interne de Mars. De nombreuses questions de géophysique martienne n'ont pour l'instant pas de réponse : la planète possède-t-elle un noyau liquide ? Quelle est la taille de ce noyau ? Quelle est la composition du manteau ? Etc. Pour y répondre, l'idée est simple, mettre en œuvre sur Mars les mêmes outils qui ont permis de déterminer la structure interne de la Terre : en l'occurrence, utiliser des sismomètres pour analyser les ondes sismiques qui se propagent dans la roche de la planète.

Sur Terre, l'idée de séismes est fortement associée à celle de plaques tectoniques, qui sont absentes sur Mars. Quelles sont les sources de séismes sur la planète rouge ?

La tectonique, ce n'est pas uniquement la tectonique des plaques. Il existe d'autres phénomènes qui peuvent faire bouger la croûte d'une planète. Par exemple, les planètes, comme la Terre ou Mars, ont accumulé beaucoup d'énergie sous forme de chaleur lors de leur formation. Cette énergie provient de la collision des roches qui se sont agglomérées pour former les planètes et aussi de la présence d'éléments radioactifs. Ces planètes se sont ensuite progressivement refroidies et contractées : leur volume diminue du fait d'effets thermoélastiques. Les tensions mécaniques, que cette contraction suscite notamment dans la lithosphère (la croûte et la partie supérieure du manteau), produisent des ruptures, des failles, qui s'accompagnent de séismes.

Sur Terre, certains séismes intraplaques, par exemple dans les plaques océaniques, sont le résultat de ce refroidissement. Sur la Lune, pendant sept ans, on a observé environ un séisme par an de magnitude supérieure à 5 sur l'échelle de Richter dû à cet effet. On s'attend donc à voir le même phénomène sur Mars. Alors certes, on ne s'attend pas à voir des séismes de magnitude 7, ou plus, mais on pourrait néanmoins enregistrer des séismes de magnitude 5,5.

Existe-t-il d'autres sources potentielles de séismes sur Mars ?

Oui, deux principalement. D'abord, la présence d'une atmosphère turbulente sur Mars avec du vent, mais aussi des tourbillons de poussière (ou *dust devils* en anglais), provoque aussi des signaux sismiques. Ensuite, il faut également considérer les impacts de météorites.

Enfin, plus spéculatif, on ne sait pas si Mars a encore une activité volcanique. Des points chauds ou des zones très actives seraient une source potentielle de tectonique. La mission

InSight n'a pas été conçue spécifiquement pour chercher du volcanisme mais si on détecte beaucoup de séismes dans une région de Mars, la meilleure explication sera l'activité volcanique. Ce serait une petite surprise, mais cette hypothèse n'est pas complètement irréaliste. Certains grands volcans martiens ont des caldeiras qui étaient actives il y a 50 à 100 millions d'années. Autour de certains volcans, des coulées de lave datent de seulement 2 à 3 millions d'années. Ce qui est très peu à l'échelle géologique.

Mais l'idée d'envoyer des sismomètres sur Mars est-elle nouvelle ?

Non, elle est ancienne. Pour donner une idée, le vol de *Spoutnik 1* date de 1957 et, dès 1959, le géophysicien américain Frank Press proposait de réaliser des mesures de sismicité sur la Lune, Mars, etc. En 1962, trois sondes du programme américain *Ranger* devaient transporter des sismomètres sur la Lune. Mais ces missions se sont toutes soldées par des échecs. Il faut dire qu'à cette époque, on tâtonnait avec la maîtrise des techniques pour la conquête spatiale. Par la suite, plusieurs dispositifs de mesure d'activité sismique ont été envoyés sur la Lune (le premier ayant été déployé par les astronautes de la mission *Apollo 12*, en 1969).

Pour Mars, il a fallu attendre les deux sondes *Viking*, qui sont arrivées sur la planète en 1976. Chaque atterrisseur transportait un sismomètre, des capteurs d'ailleurs plutôt bons au vu des techniques de l'époque. Mais les chercheurs se sont aperçus que, le jour, les instruments mesuraient surtout l'activité du vent. Et la nuit, lorsque les perturbations atmosphériques étaient moindres, leur sensibilité était insuffisante pour détecter des séismes.

Malgré ce résultat négatif, les géophysiciens ont vu dans ce premier essai martien un signe encourageant. En améliorant la sensibilité de l'instrument et en développant des techniques pour l'isoler du vent, il devait être possible d'explorer la structure interne de la planète rouge.

Quand avez-vous commencé à travailler sur ces projets de géophysique martienne ?

Après *Viking*, des chercheurs à l'institut de physique du globe de Paris, et des collègues soviétiques ont commencé à réfléchir à un nouveau projet de géophysique martienne. Celui-ci est devenu la mission *Mars 96*. J'ai participé à ce projet grâce à un concours de circonstances. Ma directrice de thèse, Barbara Romanowicz, quittait l'Institut de physique du globe pour prendre de nouvelles fonctions à l'université de Californie à Berkeley. À son départ, je l'ai alors remplacée sur le projet *Mars 96*.

> En quoi consistait la mission Mars 96?

Cette mission était ambitieuse. Elle comprenait un orbiteur, deux atterrisseurs et deux pénétrateurs qui devaient s'enfoncer de cinq à six mètres dans le sol martien. Chacun des quatre éléments au sol était équipé d'un sismomètre. Malheureusement, lors du lancement, le quatrième étage de la fusée a rencontré un problème. Nous avons alors perdu l'ensemble des équipements, qui sont retombés dans l'atmosphère terrestre. Ainsi, après des résultats nuls des sondes *Viking* et l'échec de *Mars 96*, les grandes questions sur la structure géophysique de Mars restaient ouvertes.

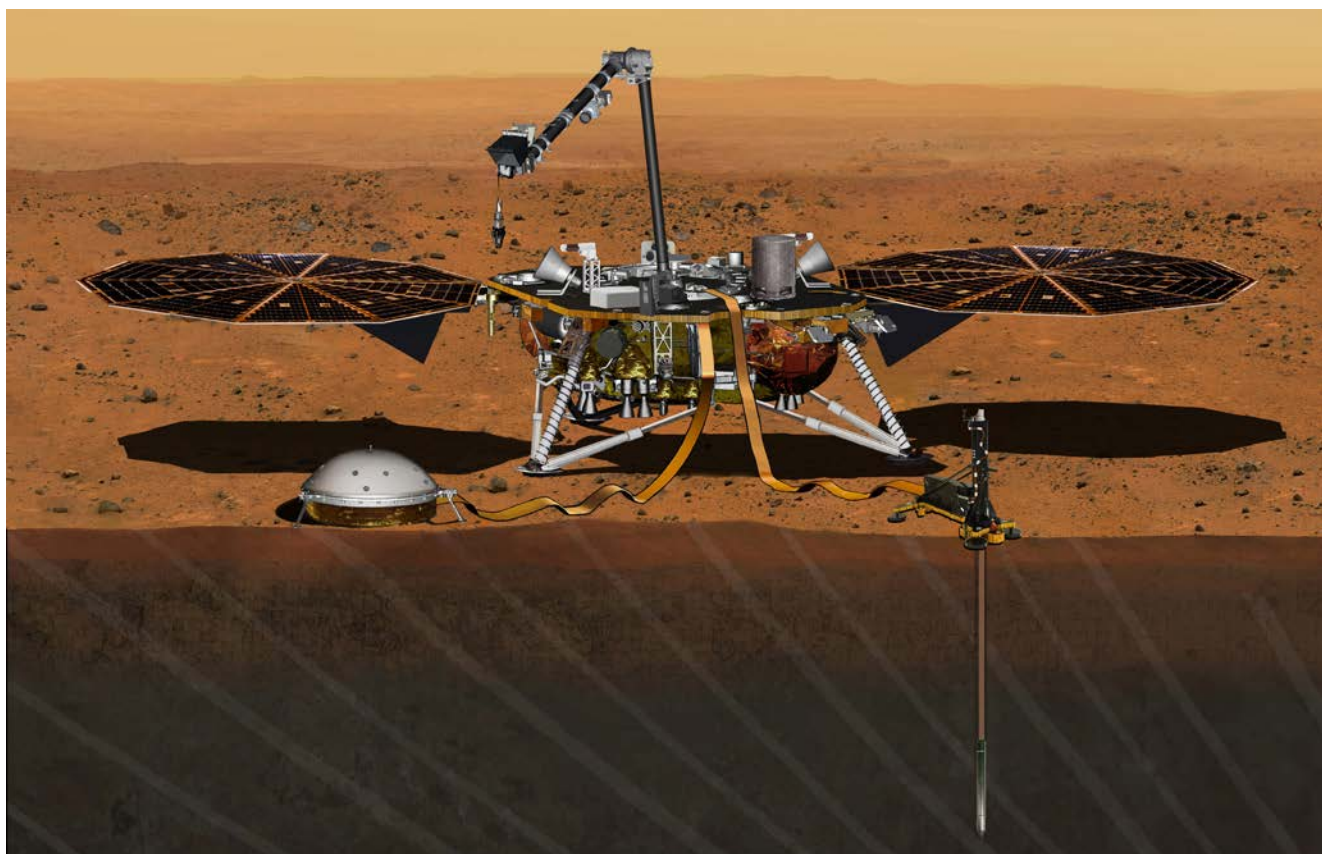
Suite à l'échec de Mars 96, comment la mission InSight a-t-elle vu le jour?

En Europe, avec plusieurs collègues, j'ai rapidement soumis de nouveaux projets centrés sur la géophysique martienne. Aux États-Unis, Bruce Banerdt, du Jet Propulsion Laboratory, à l'institut de technologie de Californie, faisait la même chose outre-Atlantique. Il faut bien voir qu'après la fin de la course vers l'espace entre les États-Unis et l'Union soviétique, le nombre de missions a beaucoup diminué et les budgets ont été drastiquement réduits. La concurrence entre les différents projets d'exploration spatiale est devenue très forte. Mais notre persévérance a fini par payer: le projet *GEMS2*, rebaptisé *InSight*, a été sélectionné en 2012 dans le cadre du programme

Discovery de la Nasa. Ce programme a pour objectif de financer des projets d'exploration du Système solaire dont le coût est en principe inférieur à 500 millions d'euros.

Nous sommes vraiment dans un esprit de découverte: la mission détectera pour la première fois des séismes sur Mars. Il y a une grande attente des planétologues et des géophysiciens: avant *InSight*, nous n'avions pas de données, après *InSight*, nous en aurons. La mission embarque presque tous les instruments classiques de la géophysique: un sismomètre, un appareil de mesure de flux de chaleur, un magnétomètre et des instruments de géodésie. L'idée est de réaliser une «radiographie» de l'intérieur de la planète Mars aujourd'hui. En utilisant les mesures de la vitesse de propagation des ondes sismiques, des membres de l'équipe d'*InSight* détermineront l'épaisseur de la croûte, la température et la composition minéralogique du manteau, etc. Les planétologues exploiteront ensuite ces données pour affiner leurs modèles. En effet, jusqu'à présent, certains paramètres n'avaient pas de contraintes et devaient être choisis de façon arbitraire. Par exemple, sachant que la croûte se forme à partir de couches successives de lave, une croûte de 30 ou 80 kilomètres implique des conditions différentes sur la quantité d'énergie accumulée lors de la formation de la planète. Les modèles devront alors reproduire les données réelles.

La mission *InSight* se posera dans la région d'Elysium Planitia, sur Mars. Elle embarque plusieurs instruments de mesures géophysiques. Le sismomètre, à l'abri sous une cloche (à gauche), et l'instrument de mesure de flux thermique (à droite) seront installés sur le sol de la planète grâce au bras articulé (au centre). La sonde transporte aussi un magnétomètre et un instrument radio, qui mesurera la vitesse de rotation de la planète (il sera possible d'en déduire, par exemple, la quantité de neige carbonique qui se dépose aux pôles en hiver).



Venons-en aux instruments, en quoi consiste le capteur de flux de chaleur ?

Conçu par l'agence spatiale allemande et l'Institut de recherche planétaire, à Berlin, le capteur repose sur un principe simple. Un percuteur percera un trou dans le sol jusqu'à cinq mètres de profondeur. Des capteurs de température, placés le long de ce forage, mesureront des variations de température en fonction du temps mais surtout en fonction de la profondeur. L'instrument chauffera d'abord le sol et mesurera la diffusion de cette énergie. Nous en déduirons la conductivité thermique de la roche. Et ensuite, nous déterminerons le flux de chaleur s'échappant de la planète qui se refroidit.

Le forage n'ira pas au-delà de cinq mètres ; est-ce suffisant pour mesurer le flux ?

Oui, nous aurons une précision suffisante pour calculer le flux... sauf surprise. En effet, si Mars a connu, par exemple, une période de fort refroidissement dans le passé, le sol, en profondeur, pourrait avoir enregistré ces températures. Nous serons alors incapables de mesurer le flux, mais cette information sur le passé de Mars est aussi intéressante en soi.

Mais pourquoi cette limite de cinq mètres ?

La raison paraît surprenante, mais nous sommes confrontés à une exigence liée à des réglementations très strictes, pour la protection planétaire. On pense qu'entre 5 et 20 mètres sous la surface de Mars, on peut avoir des habitats compatibles avec la survie de bactéries. Pour ne pas contaminer ces zones avec des microorganismes de la Terre, il aurait fallu obéir à des critères de stérilisation drastiques qui auraient considérablement augmenté le budget de la mission *InSight*.

L'instrument principal d'*InSight* est le sismomètre. Quels défis a-t-il représentés ?

La complexité de sa fabrication, supervisée par le Cnes, a nécessité une coopération internationale qui a impliqué notamment l'Institut de physique du globe, l'École polytechnique fédérale de Zurich, l'Imperial College de Londres, le Jet Propulsion Laboratory, l'Institut Max-Planck, avec la participation de l'entreprise Sodern. Cette équipe de plus de 200 ingénieurs et techniciens peut être fière du résultat.

Depuis les sondes *Viking*, la technique a nettement progressé. Le sismomètre est maintenant beaucoup plus sensible. L'un des plus gros défis était de l'isoler des perturbations extérieures. Une double cloche le protège des variations de température (qui sont d'environ 60 °C entre le jour et la nuit sur Mars) et du vent. Le système de protection limite ainsi les variations de température à un maximum de 20 °C en été. Et une jupe empêche le vent de s'engouffrer sous la cloche.

C'est aussi la première fois qu'une mission robotisée installera un instrument au sol grâce à un bras articulé. Jusqu'à présent, les robots approchaient un appareil de mesure de la cible ou prélevaient un échantillon pour le déposer dans l'instrument de mesure à bord de la sonde. D'où l'importance du choix du site d'atterrissage, sur un sol pas trop caillouteux et pas trop

Pour forer au-delà de 5 mètres, les règles de protection planétaire sont plus strictes

dur pour que le percuteur puisse réaliser le forage du capteur de flux de chaleur. Au sol, nous utiliserons des caméras pour sélectionner l'endroit le plus judicieux pour installer le sismomètre et le capteur de flux de chaleur.

Le lancement prévu en 2016 a été reporté à 2018 à cause du sismomètre. Que s'est-il passé ?

Un problème d'étanchéité... Le sismomètre est placé dans une enceinte sous vide pour gagner en sensibilité. Or la fuite, bien que très faible, compromettait la précision de mesure de l'instrument. Il a fallu repenser toute l'enceinte, ce qui a pris du temps. Cela fait partie des aléas du développement de nouvelles techniques dans des conditions extrêmes.

Aujourd'hui, quel est le calendrier de la mission ?

La mission a décollé le 5 mai 2018 de la base de Vandenberg, en Californie [ndlr : lorsque l'entretien a été réalisé, la sonde avait effectué plus de 80% de son voyage]. Elle doit se poser sur Mars le 26 novembre, après sept mois de voyage. Le déploiement des instruments s'effectuera en décembre et en janvier. La phase de mesures scientifiques durera près de deux ans. Point remarquable, elle se fera en partenariat avec des instruments en orbite. Par exemple, les mesures de champ magnétique au sol se feront avec celles de la sonde *Maven*. La moisson de données promet d'être riche en découvertes, de quoi occuper les géologues et les planétologues pendant des années. ■

PROPOS RECUEILLIS PAR SEAN BAILLY

BIBLIOGRAPHIE

P. Lognonné et al., **Planetary seismology**, dans *Extraterrestrial Seismology*, Cambridge University Press, 2015.

P. Lognonné et al., **Impact seismology on terrestrial and giant planets**, dans *Extraterrestrial Seismology*, Cambridge University Press, 2015.

P. Lognonné et al., **Mars et ça repart !**, Dossier Pour la Science, n° 84, juillet 2014.

D. Baratoux, **Quatre milliards d'années d'histoire**, Dossier Pour la Science, n° 84, juillet 2014.

F. Forget et al., **La planète Mars, histoire d'un autre monde**, Belin-Pour la Science, 2006.