

Illustration de la sonde InSight et de ses deux instruments déployés à la surface martienne. © NASA/JPL-Caltech

La mission InSight : un atterrisseur pour explorer l'intérieur profond de Mars

Marie Yseboodt,
Tim Van Hoolst,
Sébastien Le Maistre
et Véronique Dehant

La sonde InSight, qui a pour but de révéler les détails de la structure interne de la planète rouge, vient d'installer à la surface de Mars un sismomètre ultra-précis et constamment à l'écoute des tremblements de Mars. Ce petit bijou de technologie est accompagné d'une sonde de chaleur pouvant atteindre jusqu'à 5 mètres de profondeur et d'un instrument permettant d'effectuer des mesures de la rotation de Mars.

26 Novembre 2018, Elysium Planitia : pendant que les ingénieurs de la NASA sont sur le qui-vive et que les scientifiques de la mission croisent les doigts, la sonde martienne InSight entame une périlleuse descente dans l'atmosphère de Mars. Sept minutes de terreur pendant lesquelles, en toute autonomie et loin des regards humains, elle exécute un plongeon vertigineux à travers l'atmosphère de la planète rouge, à une vitesse avoisinant les 5 km par seconde. H-3 minutes : ouverture du parachute, H-2.7 minutes : lar-

gage du bouclier de protection thermique, H-1 minute : allumage des rétrofusées... Le scénario d'atterrissage, déjà testé avec succès en 2007 pour la sonde Phoenix, est reproduit pour InSight et c'est 20 minutes plus tard que les premières images nous arrivent sur Terre... 'Amarsissage' réussi ! Le vaisseau spatial s'est posé en douceur sur les plaines d'Elysium, près de l'équateur de Mars.

La mission InSight, acronyme pour 'Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport', a été sélectionnée en 2012, dans le cadre du programme Discovery de l'agence spatiale américaine. C'est un programme de développement de projets spatiaux caractérisés par un cycle de développement court et à coût modéré. Le lancement de InSight, initialement prévu en 2016, a été repoussé à la fenêtre de lancement suivante, suite à la découverte quelques mois avant le départ, d'une fuite dans le sismomètre. Le lancement a finalement eu lieu le 26 mai 2018 depuis la base militaire américaine de Vandenberg en Californie. C'était la première fois qu'une sonde interplanétaire était lancée depuis la côte ouest des Etats-Unis.

Les instruments à bord

Depuis la fin du siècle dernier, Mars accueille régulièrement des atterrisseurs, mais InSight est assez différent des robots précédents : ni roue, ni instrument qui recherche l'eau ou la vie, ni spectromètre, ... InSight est un atterrisseur fixe dont le but est d'étudier la géophysique de Mars et plus particulièrement son intérieur profond. L'instrument phare de la mission est le sismomètre principalement français de très haute précision, appelé SEIS et conçu pour mesurer pour la première fois les tremblements de Mars.

Le deuxième instrument est allemand et s'appelle HP³ (Heat flow and Physical Properties Probe). Il mesure le flux de chaleur qui s'échappe de la surface de Mars. Le troisième instrument scientifique, fourni par la NASA, est un appareil de radioscience appelé RISE (Rotation and Interior Structure Experiment). Il renvoie les ondes radio émises depuis la Terre, comme un miroir électromagnétique. D'autres instruments annexes ont également été placés sur la plateforme : des instruments météorologiques (effectuant des mesures de température, de pression atmosphérique et de vitesse du vent), un magnétomètre et deux caméras. Les caméras n'ont pas pour vocation de nous envoyer chaque jour un beau panorama martien en couleur; elles sont assez rudimentaires mais permettent le déploiement optimal de SEIS et HP³ sur le sol martien. C'est en effet grâce à ces caméras qu'une zone plane propice aux mesures a été sélectionnée par l'équipe, au sud de l'atterrisseur afin d'éviter des variations de température causées par l'ombre de la plateforme. Le 19 décembre 2018, le grappin placé sur le bras robotisé a soulevé le sismomètre et l'a déposé sur le sol à 1,6 mètres de la plateforme. Un cadran solaire placé au-dessus du sismomètre a permis de déterminer son orientation avec beaucoup de précision. C'est un système surprenant pour nous qui sommes habitués à la technologie du 21^e siècle, mais comme Mars n'a pas de champ magnétique global ni de réseau de satellites GPS en



Photo des instruments SEIS et HP³ sur la plateforme, avant leur déploiement, sur fond de paysage martien.
© NASA/JPL-Caltech

orbite, il n'est pas facile de savoir précisément où se trouve le Nord géographique. Vu que l'instrument SEIS est composé de 3 pendules qui bougent chacun suivant un axe, il faut connaître précisément l'orientation de chacune de ces directions privilégiées afin d'interpréter correctement les futures mesures de séisme et de localiser leur origine.

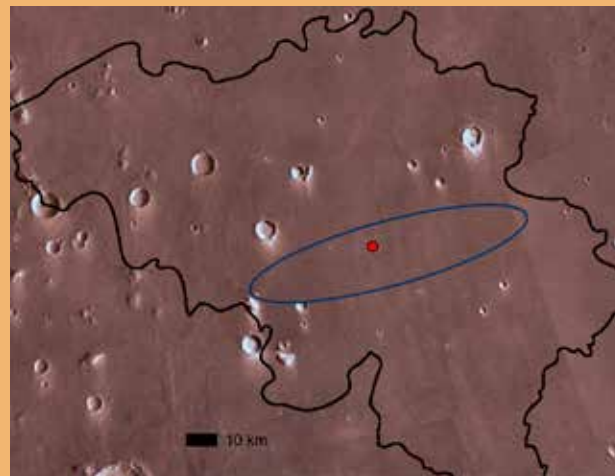
Ensuite le ruban plat qui permet d'envoyer l'électricité à l'instrument et de rapatrier les données vers l'atterrisseur a été positionné avec soin afin de ne pas transmettre les vibrations de la plateforme vers le sismomètre. L'instrument a été nivelé et les capteurs de SEIS ont été recentrés. Et finalement, le bouclier de protection éolien et thermique a été posé par-dessus le sismomètre afin de limiter les perturbations dues au vent et aux variations diurnes de la température. En effet le sismomètre étant une prouesse technologique très sensible à la moindre perturbation externe, il faut minimiser les effets de l'atmosphère afin d'écouter les tremblements du sous-sol.

Les scientifiques analysent les 'tremblements de Mars', qui sont principalement causés par les impacts de météorites et l'activité tectonique de la planète Mars. Bien que Mars ne possède pas de plaques tectoniques, elle subit des déformations tectoniques principalement liées au refroidissement de la planète et à l'existence de grandes montagnes telles que Tharsis. En outre, les scientifiques étudieront également les marées de Phobos, la plus proche des deux petites lunes de Mars. Le but ultime est de mieux visualiser l'intérieur de Mars.

La 'taupe'

Une fois le sismomètre déployé, les ingénieurs se sont focalisés sur le déploiement de la sonde HP³. Au programme pour la sonde : creuser le sol martien jusqu'à 5 mètres de profondeur et y mesurer le flux de chaleur ainsi que ses

Déploiement du bouclier thermique, qui protège le sismomètre des perturbations liées au vent et aux variations diurnes de la température martienne. © NASA/JPL-Caltech



Ellipse d'incertitude de la zone d'atterrissage (en bleu) dans Elysium Planitia, une zone proche de l'équateur. Le point rouge représente la localisation réelle de InSight. Le trait noir, représentant la Belgique, donne une idée de l'échelle. © NASA/ORB

variations. Pour ce faire, l'instrument enregistrera les températures et les propriétés du régolithe à diverses profondeurs.

Toutes ces manœuvres de déploiement ont duré environ trois mois, car les ingénieurs de la mission vérifient que chaque étape se déroule comme prévu grâce à des photos et mesures avant de passer à l'étape suivante. Ces procédures ont été mûrement réfléchies et répétées de très nombreuses fois à l'avance sur un module d'expérimentation terrestre, positionné de façon permanente dans le centre Californien de la NASA, le Jet Propulsion Laboratory (JPL). La communication avec la sonde demande actuellement une dizaine de minutes de trajet pour un aller simple et des contraintes de visibilité et de limitation de la puissance à bord de l'atterrisseur ne permettent pas un suivi continu de la sonde. InSight communique directement avec la Terre une heure par jour environ.

Mesure de la rotation de Mars

L'instrument de radioscience RISE permet non seulement de communiquer avec la Terre mais également de mesurer précisément les mouvements de chancellement de Mars dans l'espace et sa rotation propre, en réceptionnant et en envoyant des ondes radio directement vers la Terre, sans passer par des satellites relais. Les signaux sont émis depuis la Terre grâce à des antennes géantes (certaines faisant 70 mètres de diamètre) servant également à écouter le signal renvoyer par RISE. Ces antennes sont réparties sur trois continents différents afin de permettre la 'poursuite' des sondes spatiales à n'importe quel moment. Les oscillations de l'axe de rotation de Mars dans l'espace, appelées nutations, perturbent ce signal radio de façon différente selon l'état (liquide ou solide) et la taille du noyau. Leur mesure nous permettra donc de caractériser le noyau martien. L'instrument RISE est américain, mais les scientifiques de l'équipe de planétologie de l'Observatoire royal de Belgique (ORB), qui ont une grande expertise en

radioscience ainsi qu'en rotation et structure interne des planètes, sont fortement impliqués dans l'analyse des données ainsi que dans leur interprétation physique. Ils sont soutenus par le programme belge PRODEX (PROgramme de Développement d'Expériences scientifiques) géré par l'Agence spatiale européenne (ESA) en collaboration avec la Politique scientifique fédérale belge (Belspo).

Vu que les phénomènes recherchés ont des variations saisonnières et qu'une année sur Mars compte 687 jours terrestres, il faudra accumuler des données sur plusieurs mois avant de pouvoir extraire des renseignements concernant la structure profonde de Mars.

Où a-t'il atterri ?

Sélectionnée quelques années auparavant grâce aux photographies des satellites actuellement en orbite autour de Mars, la zone cible avait été choisie pour son relief sans escarpement et son altitude basse (-2500 mètres sous le niveau moyen de Mars), afin que l'atterrissage soit le plus sécurisé possible et que les parachutes aient suffisamment de distance pour ralentir l'atterrisseur dans cette atmosphère très ténue (la pression moyenne sur Mars est environ 170 fois plus faible que sur Terre).

L'ellipse d'incertitude de la zone d'atterrissage est principalement due à l'incertitude sur l'état de l'atmosphère à l'arrivée, sa densité locale ainsi que sur la force et la direction des vents. Cette zone de plus de 2000 kilomètres carré est un désert sec, plat et ennuyeux, peu intéressant pour les scientifiques à la recherche de traces d'eau à la surface de Mars, mais parfaite pour les observations géophysiques !

En utilisant les mesures de RISE acquises tout juste après l'atterrissage, les scientifiques de l'ORB et de la NASA ont calculé la position de l'atterrisseur réduisant la soixantaine de kilomètres d'incertitude à seulement quelques centaines de mètres. Grâce à une telle précision, la camé-

ra à très haute résolution du satellite Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) a pu prendre la première photo de InSight, en survolant la zone quelques jours plus tard.

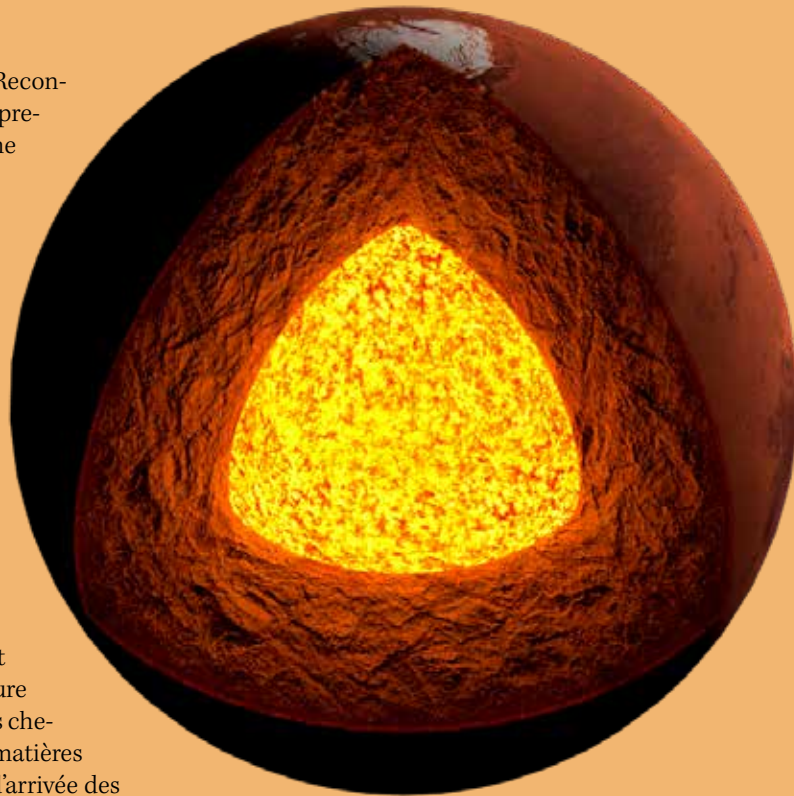
En quête d'intérieur

Les caractéristiques de la structure interne de Mars sont actuellement mal connues. La mission InSight a pour objectif principal de mieux connaître cette structure interne, dans le but de reconstituer son histoire. Les informations récoltées par les trois instruments scientifiques permettront également d'améliorer les modèles de formation et d'évolution des planètes telluriques qui composent notre système solaire. La sismologie est particulièrement bien adaptée à cette étude car les ondes se réfléchissent aux interfaces entre les couches de la structure interne de Mars et peuvent prendre différents chemins plus longs ou plus courts à travers les matières des différentes couches. Mesurer les temps d'arrivée des ondes sismiques nous permettra d'en savoir plus sur les couches traversées. Les autres instruments tels que l'expérience de radioscience ou la mesure du flux de chaleur nous apporteront des informations complémentaires sur les échanges de chaleur et sur l'état physique (liquide ou solide), la densité et les dimensions du noyau par exemple.

Souhaitons donc à cet explorateur géophysique de mesurer de nombreux séismes martiens et de survivre longtemps à la surface de Mars !



Photographie de la zone d'atterrissage de InSight vue depuis un satellite en orbite à quelques centaines de kilomètres d'altitude. Le point brillant est le bouclier de protection thermique qui recouvre le sismomètre. Sur Terre, il est assez rare de pouvoir photographier un sismomètre depuis un satellite, ces appareils de mesure étant généralement localisés bien à l'abri dans le fond d'une cave ou d'une grotte. Au moment de l'atterrissage, une couche de fines poussières a été soufflée par les retrofusées, ce qui a laissé une zone sombre autour de l'atterrisseur.
© NASA/JPL-Caltech/University of Arizona



Structure interne de Mars avec le noyau de fer, le manteau rocheux et la croûte. © ORB

Le futur

La Belgique construit un instrument de radioscience similaire à RISE. Il s'agit de l'instrument LaRa (Lander Radioscience) qui partira avec la mission ExoMars 2020.

Quelques chiffres

L'électricité nécessaire au fonctionnement de la sonde InSight provient de deux grands panneaux solaires d'environ deux mètres de diamètre. Ensemble, ils peuvent produire 4 500 wattheures par jour, ce qui est un record pour un atterrisseur martien. Cet engin spatial, de la taille d'une voiture si ses panneaux solaires sont déployés, pesait environ 700 kg avant son entrée dans l'atmosphère, et 360 kg une fois à la surface. A lui seul le sismomètre pèse près de 30 kg.

Plus

mars.nasa.gov/insight
www.seis-insight.eu
<http://marsatschool.ethz.ch>
twitter.com/LaraExoMars

Les auteurs

Marie Yseboodt, Tim Van Hoolst, Sébastien Le Maistre et Véronique Dehant travaillent dans l'équipe de planétologie à l'Observatoire Royal de Belgique et sont impliqués dans la mission InSight.