

DOSSIER DE PRESSE

Programme scientifique d'exploration de Mars à l'Observatoire royal de Belgique dans le cadre des missions futures dont ExoMars



Observatoire royal de Belgique
Av. Circulaire, 3 - Ringlaan 3
1180 BRUXELLES – BRUSSEL

Contact : Véronique Dehant, 02/373.02.66, v.dehant@oma.be

Table des matières

| | | |
|------|---|----|
| 1. | Introduction..... | 3 |
| 2. | Pourquoi Mars ?..... | 3 |
| 3. | Quelques caractéristiques de Mars..... | 5 |
| 3.1. | Données climatiques | 5 |
| 3.2. | Données géodésiques | 6 |
| 3.3. | Données magnétiques..... | 6 |
| 3.4. | Données concernant l'eau | 6 |
| 4. | La mission ExoMars | 7 |
| 4.1. | Introduction | 7 |
| 4.2. | Objectifs | 8 |
| 4.3. | Scénario de la mission ExoMars 2016 | 8 |
| 4.4. | Scénario de la mission ExoMars 2018 | 9 |
| 4.5. | Le Rover européen « ExoMars » et ses instruments..... | 9 |
| 4.6. | Quelques mots sur le Rover de la NASA « MAX-C »..... | 11 |
| 4.7. | La station Humboldt et ses instruments – Les missions suivantes | 11 |
| 5. | Participation de l'ORB à la mission ExoMars : LaRa..... | 13 |
| 6. | Design et construction de l'instrument LaRa..... | 16 |
| 7. | L'équipe de LaRa..... | 16 |

1. Introduction

Depuis toujours, l'homme a prêté une attention particulière à la planète Mars. Sa couleur rouge titillait l'imagination des astronomes et des astrologues des civilisations antérieures. Différentes mythologies avaient fait de cette planète le symbole de la guerre et du feu.

Après la Terre, Mars est certainement la planète la mieux connue de notre système solaire. Mais Mars ressemble-t-elle à la Terre ? D'où lui vient sa couleur rouge ? Pourrions-nous respirer sur cette planète et de quoi se compose son atmosphère ? Y fait-il chaud ? En bref, quelles sont les caractéristiques de Mars ? Que peut-on apprendre sur notre Terre en étudiant Mars ?

La mission ExoMars est la première mission du programme Aurora mis au point par l'ESA, l'Agence spatiale européenne. Aurora est un programme d'exploration spatiale qui prévoit, à long terme, l'exploration de Mars par une mission humaine. ExoMars est une mission principalement d'exobiologie dont l'objectif est de caractériser l'environnement biologique de Mars en vue d'une future exploration. Dans la recherche de la vie sur Mars, elle est la première mission à combiner à la fois la mobilité d'un Rover¹ et l'exploration de Mars sous sa surface, endroit où les molécules organiques ont peut-être pu se conserver.

L'Observatoire royal de Belgique (ORB) a voulu s'impliquer dans cette mission et plus particulièrement dans l'expérience LaRa (Lander Radioscience) avec Mme Véronique Dehant comme coordinatrice de l'équipe. LaRa étudiera l'orientation et la rotation de Mars. Malheureusement, les instruments de mesure géophysique (LaRa, le sismomètre, le magnétomètre,...) ne font plus partie de la mission ExoMars 2018. Les géophysiciens proposent actuellement leurs instruments dans le cadre de missions futures de l'ESA à l'horizon de 2022.

L'Observatoire royal de Belgique a acquis une expertise mondialement reconnue dans le domaine de la géodésie spatiale et de l'étude de la structure de l'intérieur de la Terre. Depuis 1998, l'ORB a étendu son domaine de recherche à la planète Mars.

L'étude de la géophysique de Mars est une opportunité exceptionnelle pour l'Observatoire et plus particulièrement pour les scientifiques spécialisés en géodésie spatiale. Elle permettra en effet à la Belgique de promouvoir la qualité de son savoir dans le secteur concerné et de ses recherches scientifiques en général. C'est l'occasion pour la Belgique de participer activement à une expérience phare de l'exploration martienne dont l'enjeu est un pas important dans notre connaissance du système solaire en général et des planètes telluriques en particulier.

2. Pourquoi Mars ?

Mars est une planète dont l'exploration est très intéressante pour mieux comprendre le processus de formation des planètes et leurs évolutions. En effet, Mars présente aujourd'hui des surfaces qui se sont figées tout au long de son histoire, contrairement à la Terre qui est en perpétuelle « rénovation » (les anciens terrains sont continuellement détruits par les conséquences des divers mouvements tectoniques et par les différents types d'érosion, ce qui laisse la place à de nouveaux sols). L'absence de tectonique actuellement à la surface de Mars donne accès à l'ensemble des processus permettant de retracer la naissance, la vie et l'évolution d'une planète de type terrestre. En raison de sa taille et de sa masse beaucoup plus

¹ Rover : dans ce cadre, il s'agit d'une sonde capable de se déplacer à la surface d'une lune ou d'une planète.

faibles que celles de la Terre, Mars pourrait avoir connu une évolution beaucoup plus rapide : la Terre, plus massive, connaîtrait un refroidissement plus lent, mais l'existence d'une tectonique des plaques à la surface de la Terre pourrait avoir changé la donne. La distance de la planète par rapport au Soleil est un autre élément crucial. Elle influence sa composition interne, explique son insolation et par conséquent son atmosphère et son histoire thermique. Bien que comparables, les compositions chimiques et les densités de la Terre et de Mars ne sont toutefois pas identiques. Malgré des évolutions semblables, on constate que les deux planètes telluriques ont pu connaître des destins très différents. Il est toujours impossible à l'heure actuelle d'affirmer que Mars possède un noyau liquide et une graine solide comme la Terre. Peut-on penser que Mars reflète l'avenir à long terme de la Terre, lorsque cette dernière se sera considérablement refroidie ? L'étude de l'intérieur de la planète Mars permettra, entre autres, de répondre à de telles questions.

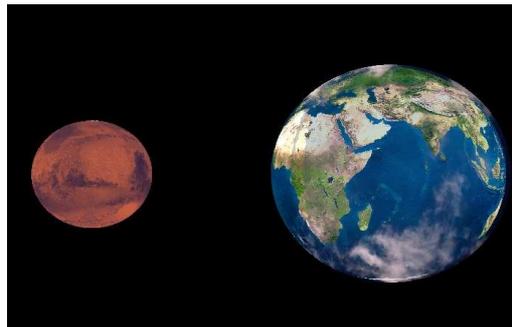


Figure 1: Comparaison de l'aspect extérieur de la Terre et de Mars.

Un autre intérêt des hommes pour la planète Mars est lié à la possibilité d'une vie extraterrestre. Comme la Terre, Mars est une planète qui aurait pu présenter, à un moment de son évolution, les conditions favorables à l'éclosion d'une forme de vie. La présence d'eau liquide à la surface ou dans le sous-sol est une condition à l'émergence éventuelle de la vie et les observations montrent que la surface de Mars est caractérisée par de nombreuses traces d'écoulements et de ravinements. Les scientifiques ne sont pas unanimes dans leurs interprétations, mais une bonne partie d'entre eux pense que Mars aurait pu posséder un vaste réseau de cours d'eau, voire même un large océan, grâce auxquels une forme de vie primitive aurait pu se développer. Une autre tendance dans l'interprétation des traces d'eau observées en surface est l'apparition d'évènements catastrophiques ponctuels avec de larges écoulements d'eau dans le passé de Mars.

Les missions martiennes ont débuté en 1960, par le lancement de deux orbiteurs russes: *Marsnick 1* et *Marsnick 2*, ces missions se sont malheureusement soldées par un échec. Les Etats-Unis ont suivi en 1964, avec le lancement de *Mariner 4* qui a transmis les premières images de Mars. A partir de ce moment, soviétiques et américains se sont succédés dans la mise en oeuvre de nombreux projets d'étude de cette planète. Si les échecs furent nombreux, d'autres missions ont été couronnées par un franc succès. On doit ainsi, entre autres, les premières cartographies de Mars à la mission *Mariner 9* (lancement en 1971) qui découvre des volcans géants et des vallées évoquant des lits de rivières. D'où la question : « Y a-t-il de l'eau sur Mars ? ». Ensuite, en 1975, *Viking 1* et *Viking 2* sont lancées par les Etats-Unis et prennent des photos. Un autre succès retentissant est celui de *Mars Pathfinder* (1996), sonde de 259 kilos accompagnée d'un petit véhicule automatique, "Sojourner", qui a analysé et photographié le sol martien proche du site d'atterrissage. La même année, l'orbiteur *Mars Global Surveyor* (MGS) est lancé, il nous a fourni un grand nombre d'informations jusqu'en 2006 (année au cours de laquelle nous avons perdu le contact), il a permis d'établir une cartographie de Mars et a remis en question la non existence de l'eau à l'état liquide sur Mars. *Mars Odyssey* (lancé en 2001) et *Mars Reconnaissance Orbiter* (« MRO », lancé en 2005)

fournissent également une moisson de données impressionnantes toujours en cours d'interprétation. La première sonde européenne, *Mars Express*, est en orbite autour de Mars depuis le 25 décembre 2003 et la mission est couronnée de succès. La mission Mars Express a révélé beaucoup de dépôts contenant du sel et de l'argile qui ne pourraient exister sans la présence d'eau liquide. Ceci renforce l'hypothèse que, dans le passé, Mars était plus humide et sans doute plus chaude qu'aujourd'hui. En 2003, les Rovers d'exploration de la NASA *Spirit* et *Opportunity* ont démontré que l'environnement avait été humide sur Mars. En 2007, la mission américaine Phoenix a mis en évidence la présence de glace d'eau dans le sous-sol martien. Ces missions ont convaincu la communauté scientifique de l'intérêt d'avoir un élément mobile dans les futures missions.

En 2016 et 2018, l'ESA et la NASA explorent conjointement la planète rouge à la recherche de signes de vie passée ou présente. Les deux agences lanceront un orbiteur en 2016 qui mesurera le méthane et les gaz rares dans l'atmosphère de Mars, et deux rovers en 2018 qui parcourront la surface et même analyseront des échantillons du sous-sol martien (par forage). Cette dernière mission sera la première mission à combiner la mobilité d'un Rover et les prélèvements d'échantillons sous la surface de Mars. Elle sera suivie par des missions à partir de 2022 qui prépareront le retour d'échantillons Martiens.

L'apport de ces missions est d'une grande importance pour l'amélioration de notre connaissance de la planète rouge et plus généralement du système solaire.



Figure 2 : Mars – Crédits : ESA/Mars Express Wide Angle Camera

3. Quelques caractéristiques de Mars

3.1. Données climatiques

En raison de son plus grand éloignement par rapport au Soleil, Mars reçoit nettement moins d'énergie solaire que la Terre. De plus, l'effet de serre de son atmosphère est moins important. Sa température moyenne annuelle est de -53°C ($+14^{\circ}\text{C}$ pour la Terre). Elle peut varier d'environ -140°C à $+20^{\circ}\text{C}$. La planète connaît en outre des écarts thermiques journaliers importants qui peuvent s'expliquer par l'absence d'océans et par la ténuité de l'atmosphère. Sur Mars, la variation verticale de la température est très importante : un humain pourrait ressentir une différence de température d'une vingtaine de degrés entre sa tête et ses pieds.

Une particularité de l'atmosphère de Mars est l'importance de son échange de matière avec les calottes polaires. Ces calottes sont constituées de glace, mais se recouvrent en hiver d'une couche de neige carbonique (composée de dioxyde de carbone (CO_2)). La taille de ces calottes varie beaucoup de manière saisonnière. Leur accroissement (en hiver) est dû à la condensation (passage de l'état gazeux à l'état solide) du CO_2 atmosphérique, leur diminution

en été à la sublimation (passage de l'état solide à l'état gazeux), processus par lequel le CO₂ est alors rendu à l'atmosphère.

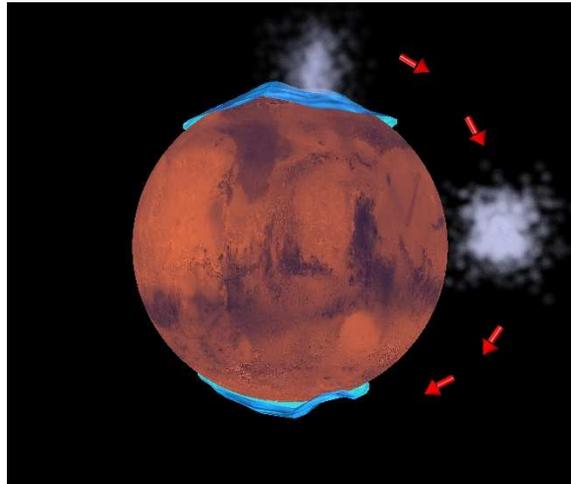


Figure 3: Processus de sublimation/condensation des calottes polaires

3.2. Données géodésiques

Mars gravite sur une orbite elliptique à une distance moyenne de quelques 228 millions de kilomètres du Soleil. Son diamètre équatorial est deux fois plus petit que celui de la Terre, sa masse est quelque dix fois moins importante. L'année martienne (période de révolution autour du Soleil) équivaut environ à deux ans terrestres (687 jours) et la durée moyenne des jours martiens (période de rotation sur elle-même) est de 24h37min. Des estimations des variations de la longueur du jour ont pu être obtenues lors de missions précédentes (Viking, Pathfinder, Mars Global Surveyor) et ont pu être reliées aux changements saisonniers de la taille des calottes polaires.

3.3. Données magnétiques

Le champ magnétique est un facteur important à prendre en considération pour comprendre l'évolution d'une planète. La présence d'un champ magnétique global est liée à l'existence de mouvements dans le noyau liquide constitué de fer. Le refroidissement de Mars ainsi que les concentrations en minéraux influencent la physique du noyau et en particulier son état liquide ou solide. Contrairement à la Terre, on n'observe pas actuellement de champ magnétique global significatif à la surface de Mars. Cependant, la sonde Mars Global Surveyor a mis en évidence un champ magnétique important à certains endroits de la planète. Il s'agit en réalité de traces fossiles d'un champ magnétique global passé qui s'est figé dans certaines roches au fur et à mesure de leur solidification et qu'on peut encore mesurer actuellement (champ magnétique rémanent).

3.4. Données concernant l'eau

Nous savons actuellement que l'eau liquide ne peut pas exister à la surface de Mars en raison de la faible pression atmosphérique et des températures qui y règnent. Cette faible pression atmosphérique de l'ordre de 6 mbar est due à la faible densité de l'atmosphère. Il y a cependant beaucoup d'indications que l'eau liquide a existé dans le passé à la surface de Mars. Les engins spatiaux ont relevé récemment la présence de structures géologiques qui ressemblent à des lits de rivières dans l'hémisphère Sud dont le relief est élevé et qui est couvert de cratères. Ils ont montré également l'existence de terrains relativement jeunes dans les plaines du Nord. Ces terrains auraient pu être couverts par un gigantesque océan qui

prenait à peu près les deux tiers de la planète, mais cette hypothèse est fortement remise en question à l'heure actuelle. On interprète souvent ces ensembles morphologiques martiens comme étant la conséquence d'évènements volcano-tectoniques qui auraient fondu la glace contenue dans le sol martien créant d'énormes masses d'eaux qui auraient coulé vers les basses plaines du Nord, entraînant le creusement des vallées de débâcles². L'existence d'hydrogène dans le sol martien (jusqu'à quelques mètres de profondeur) indique également que, même si l'eau n'existe pas actuellement à la surface de Mars, elle pourrait être présente sous forme de glace en dessous de la surface, dans le pergélisol³, ou encore sous forme de minéraux hydratés.

L'existence d'eau dans le sol martien est une question très intéressante car elle est liée à la question de la présence de vie sur Mars.

4. La mission ExoMars

4.1. Introduction

En 2016, l'ESA, l'agence spatiale européenne, lancera en collaboration avec la NASA un orbiteur de télécommunication et un atterrisseur de démonstration ; en 2018, une sonde contenant deux rovers : un rover Américain et un rover Européen et leur système d'atterrissage ; en 2020-2022 une (ou plusieurs) autre(s) sonde(s) contenant un ou plusieurs atterrisseurs est (sont) envisagée(s). Pour compléter cette mission, les missions qui suivront auront pour but de faire un retour d'échantillons du sol martien. Les objectifs généraux sont l'exploration de Mars par l'homme et plus généralement l'élaboration d'un plan européen intégré dans une collaboration internationale d'exploration à long terme, par l'homme ou à l'aide de robots, des objets du système solaire et notamment de ceux qui pourraient contenir des traces de vie.

L'Observatoire royal de Belgique (ORB) prend activement part à cette exploration ; en effet, Mme Véronique Dehant, chercheuse à l'ORB, est coordinatrice de l'équipe responsable de l'instrument LaRa (Lander Radioscience) permettant de rassembler des informations sur l'intérieur de Mars, son atmosphère et ainsi de mieux comprendre la formation, l'évolution et l'habitabilité de la planète.



Figure 4: ExoMars Orbiter (Trace Gas Orbiter, TGO) – Crédits : ESA

² Débâcle : caractérise la fonte des glaces d'un fleuve ou de la mer.

³ Pergélisol : partie gelée du sol martien.

4.2. Objectifs

Les futures missions vers Mars ont pour but d'accroître d'une part nos connaissances scientifiques sur la planète Mars et d'autre part nos compétences technologiques permettant d'amener la sonde à bon port et même de rapatrier des échantillons sur Terre.

Plus précisément, les objectifs scientifiques sont les suivants :

- La recherche de la vie présente ou passée sur Mars ;
- La caractérisation de la distribution d'eau et de la géochimie en fonction de la profondeur dans le sol ;
- L'étude de l'environnement à la surface de Mars et l'identification des risques pour une future mission humaine ;
- L'étude de l'intérieur de Mars afin d'avoir une meilleure compréhension de l'évolution de Mars et de son habitabilité.

Les objectifs technologiques à atteindre sont:

- La gestion de l'entrée dans l'atmosphère, de la descente et de l'atterrissage de la sonde sur la surface de Mars (atterrisseur démonstrateur) ;
- L'acquisition d'une mobilité sur Mars de l'ordre de quelques kilomètres grâce à un Rover (ExoMars);
- Le prélèvement des échantillons sur Mars à une profondeur de deux mètres grâce à une foreuse ;
- La préparation des échantillons pour l'analyse et la distribution des résultats ;
- Le rapatriement de ces échantillons sur Terre.

Ces objectifs seront déjà partiellement atteints par les séries d'instruments qui seront lancés dans le futur proche dont ceux à bord des Rovers, donc mobiles, pourvus d'instruments de sondage du sol et du sous-sol (charge utile Pasteur).

4.3. Scénario de la mission ExoMars 2016

Le voyage sur Mars durera environs 9 mois. La sonde sera composée du module de croisière contenant des instruments scientifiques (ExoMars Trace Gas Orbiter) et du module de descente démonstrateur. Le module ExoMars Trace Gas Orbiter sera non seulement une sonde spatiale à objectifs scientifiques, mais aussi chargé de transporter le module de descente de la Terre vers Mars. Il se mettra en orbite autour de Mars et il attendra que les conditions soient favorables pour libérer l'atterrisseur. En effet, sur Mars, il peut y avoir à cette époque de l'année martienne des tornades de poussières qui pourraient endommager la mission. Au moment opportun, il libèrera donc le module de descente sur la bonne trajectoire. L'ExoMars Trace Gas Orbiter continuera sa trajectoire en orbite autour de Mars pour effectuer des mesures scientifiques et servir de relais aux deux rovers de la mission de 2018. L'ExoMars Trace Gas Orbiter a pour objectif d'étudier en détails l'atmosphère martienne et en particulier son contenu en méthane, un gaz qui pourrait être témoin de vie sur Mars.



Figure 5 : L'ExoMars Trace Gas Orbiter de l'ESA – Crédits : ESA

4.4. Scénario de la mission ExoMars 2018

En 2018, un second lancement contenant les deux rovers (américain Max-C et européen Pasteur) sera effectué et un système semblable à MSL (Mars Science Laboratory) permettra aux deux rovers d'atterrir avec précision à la surface de Mars.

La sonde spatiale d'ExoMars 2018 est constituée d'un module de descente composite (MDC) qui réalise l'entrée dans l'atmosphère, la descente et l'atterrissage sur la surface de Mars. Pour permettre un atterrissage dans des conditions optimales, le MDC contient un bouclier thermique, un système de parachute, un système de contrôle à réaction, des propulseurs de descente et les deux rovers (intégrés dans le même module de descente). L'atterrissage final est réalisé, après application des moteurs à retro-réaction etc..., à partir d'une centaine de mètres seulement, à l'aide d'un système à airbags. Une fois posé, l'atterrisseur décharge les deux Rovers d'environ 250kg (Pasteur) et 65kg (Max-C).

4.5. Le Rover européen « ExoMars » et ses instruments

Le Rover européen de la mission de 2018 est un robot mobile à six roues destiné à la recherche en géologie et exobiologie. Il parcourra plusieurs kilomètres à la recherche de signes de vie passée ou présente. Il est chargé de récolter des échantillons sur et sous la surface de Mars. Pour cela, il est équipé d'une foreuse prélevant des échantillons jusqu'à deux mètres de profondeur et d'un système qui gère les échantillons récoltés, le SPDS (Sample Preparation and Distribution System) : il prépare les échantillons, les analyse et envoie ensuite les résultats vers la Terre. Le Rover est également équipé de la charge utile « Pasteur » comportant onze instruments différents.

Le robot utilisera principalement l'énergie solaire pour générer l'énergie électrique dont il aura besoin. Des panneaux solaires d'une surface de deux mètres carrés chacun lui permettront de survivre aux froides et sombres nuits martiennes. Equipé de caméras panoramiques, il aura une grande autonomie, créant lui-même ses itinéraires en évitant les collisions avec le relief s'il le faut. Il parcourra environ cent mètres par jour. Cette autonomie est nécessaire, car les communications avec la Terre seront rares et courtes, seulement une à deux petites sessions par jour.

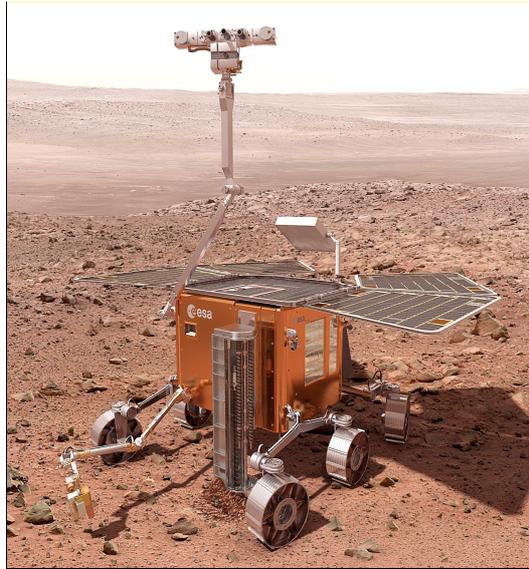


Figure 6: Le Rover de l'ESA – Crédits : ESA

L'objectif principal sera d'analyser la composition de la surface martienne par un ensemble de douze instruments pour obtenir des mesures cruciales permettant de caractériser la composition chimique et minéralogique et d'identifier les processus géologiques et géochimiques endogènes⁴ et exogènes⁵, d'altération, de différenciation, de tectonique, de volcanisme, de contenu en volatiles et de formation des roches de la surface et du manteau de Mars.

La charge utile scientifique « Pasteur » comprend :

- Des instruments panoramiques pour réaliser la topographie du paysage, déterminer l'endroit où les prélèvements seront effectués, analyser l'atmosphère martienne et la minéralogie :
 - PanCam est un ensemble de caméras panoramiques qui localisent le Rover, font une topographie de son environnement et étudient les propriétés de l'atmosphère ;
 - WISDOM est un radar avec une pénétration dans le sol jusqu'à trois mètres, il recherche la présence d'eau ;
- Des instruments de contact pour étudier le sol martien :
 - CLUPI est une caméra couleur qui caractérise l'environnement géologique et détermine les détails de l'histoire géologique enregistrée dans le sol (échelle du micromètre au centimètre);
 - Raman-LIBS est un spectromètre pour l'analyse des échantillons martiens ;
 - Ma_MISS est un spectromètre intégré à la foreuse qui analyse la composition du sol en profondeur pour comprendre l'évolution géologique, atmosphérique et climatique et peut-être trouver des signes de vie passée ou présente ;
- Des instruments d'analyse pour les substances organiques et géochimiques dans les échantillons prélevés :
 - MicrOmega est un microscope infrarouge et visible qui observe les échantillons et caractérise leur structure et leur composition ;

⁴ Endogène : caractérise un phénomène qui prend naissance à l'intérieur de Mars, qui est dû à une cause interne.

⁵ Exogène : caractérise un phénomène qui provient de l'extérieur de Mars, qui est dû à une cause externe.

- Mars-XRD est un diffractomètre qui envoie des rayons X sur les roches et analyse la composition minéralogique en mesurant la diffraction ;
- MOMA détecte et identifie les différentes sortes de molécules même à de très basses concentrations ; un de ses instruments est le Chromatographe en phase gazeuse qui détecte les molécules volatiles dans l'atmosphère et dans les roches sédimentaires.

4.6. Quelques mots sur le Rover de la NASA « MAX-C »

Le Rover de la NASA, « MAX-C » (« Mars Astrobiology Explorer-Cacher »), est plus léger (65kg) que le rover européen Pasteur d'ExoMars et lui est parfaitement complémentaire. Les principaux objectifs de MAX-C sont les suivants: a) répondre aux découvertes de vie potentielle liées aux missions MSL et autres, b) évaluer les conditions paléo-environnementales sur Mars, c) caractériser le potentiel de préservation de bio-signatures, d) accéder aux unités géologiques où on a de multiples couches sédimentaires à la recherche de preuves de vie fossile et / ou de chimie prébiotique et e) accéder aux unités géologiques représentatives de l'époque Noachienne⁶ de l'histoire Mars. Les échantillons de grand intérêt seront recueillis après analyses par les instruments à bord, documentés et emballés (« cached ») de manière appropriée pour un retour futur sur Terre dans le cadre d'une mission de retour d'échantillons martiens (mission MSR, Mars Sample Return).

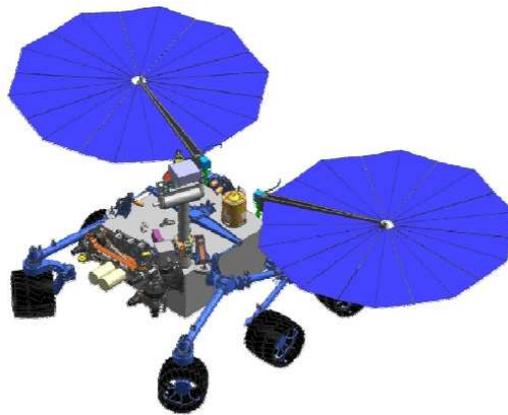


Figure 7: Max-C Rover – Credit NASA

4.7. La station Humboldt et ses instruments – Les missions suivantes

La station géophysique initialement prévue dans le cadre de la charge utile améliorée de ExoMars est appelée Humboldt station. Elle tient son nom de Alexander von Humboldt, un naturaliste et explorateur allemand du 19^{ième} siècle. Les objectifs de la mission future envisageant la mise en place d'un réseau de la stations géophysiques est d'étudier l'intérieur de Mars, de caractériser son environnement et de mesurer l'orientation et la rotation de la planète pour comprendre l'évolution de Mars et son habitabilité. A son bord, on envisage un panel d'instruments dont:

- ARES est un instrument qui capte les champs électriques et détermine l'état d'ionisation de l'atmosphère. Son objectif est de mesurer les propriétés électriques de l'environnement martien.

⁶ Le Noachien (du nom de Noachis Terra) correspond aux terrains les plus anciens, depuis la formation de la planète, il y a 4,6 milliards d'années, jusqu'à 3,7 milliards d'années. Cette période de l'histoire de Mars est suivie de l'Hespérien et de l'Amazonien.

- ATM comprend une série de capteurs météorologiques et environnementaux pour étudier l'atmosphère, le climat et son évolution, l'environnement de Mars et son habitabilité.
- EISS est un radar qui permettra d'obtenir la structure et la stratigraphie du sous-sol martien de quelques dizaines de mètres jusqu'à plus d'un km de profondeur.
- L'HP3 est un instrument qui mesure les flux de chaleur dans le sol de Mars jusqu'à une profondeur de deux mètres. Au commencement, Mars était une planète chaude. Mais petit à petit, la chaleur s'évacue. Les détails de l'évolution thermique sont gouvernés par la quantité de chaleur acquise lors de son accréation, l'abondance des radioéléments et la nature des processus de convection (mouvement à large échelle dans le manteau de Mars). Connaître les flux de chaleur dans le sol de Mars pose une contrainte sur l'abondance des éléments radioactifs et sur les processus d'évolution thermique de Mars ; cette contrainte nous aidera à mieux comprendre l'évolution biologique de Mars.
- IRAS est un spectromètre, il mesure les radiations à la surface de Mars et indique leur différents types. On pourra ainsi déterminer la quantité de radiations et les risques qui seront encourus lors d'une mission humaine future.
- LaRa (Lander Radioscience) est un transpondeur⁷ en bande X⁸ qui permettra de reconstituer les variations d'orientation et de rotation de Mars dans l'espace. Pour plus de détails, voir « 5. Participation de l'ORB à la Mission ExoMars : LaRa »
- MEDUSA est un instrument qui étudiera la présence de poussière et d'eau dans l'atmosphère. Les détecteurs de poussières vont déterminer les mouvements des grains de poussières, leur quantité, la variation de leur taille et aussi la probabilité qu'un grain devienne électriquement chargé. Comprendre les tornades de poussières et le cycle de la poussière est important pour déterminer les dommages que la poussière peut causer aux instruments ou sur une mission humaine future. MEDUSA mesurera également la teneur en vapeur d'eau à la surface de Mars pour éventuellement pouvoir remonter jusqu'à la source en suivant le gradient de concentration en vapeur d'eau.
- MiniHUM comprend deux capteurs d'humidité et deux thermocouples mesurant les changements de température dans le sol. L'objectif est de comprendre le rôle de l'eau dans la dernière couche du sol, son influence sur la réactivité chimique du sol et d'expliquer la variation journalière et saisonnière de la quantité d'eau dans le sol de Mars.
- MSMO est un magnétomètre qui mesure le champ magnétique de Mars. Mars possédait, il y a fort longtemps un champ magnétique global comme celui sur la Terre, généré par la rotation d'un noyau de métal liquide. Mais, aujourd'hui, il n'existe plus et il ne subsiste qu'un champ magnétique rémanent dans les très vieilles roches, trace fossile de l'ancien champ magnétique global. La mesure effectuée est donc celle du champ induit dans la planète Mars par le champ du Soleil.
- SEIS est un sismomètre qui mesure les ondes sismiques. Les mouvements sismiques sur Mars sont très faibles par rapport à ceux sur la Terre, il n'existe pas de tectonique des plaques. Mars est considérée comme une planète en fin de vie géologique. L'intérêt des sismomètres est de permettre d'étudier l'activité sismique de Mars, mais aussi d'étudier l'intérieur de Mars. En effet, lorsqu'une onde sismique apparaît, on mesure le temps mis par cette onde pour se propager dans le manteau par convection et pour arriver jusqu'au sismomètre. Ce laps de temps change en fonction de la densité de la matière que l'onde traverse. On peut ainsi, quand on connaît l'emplacement de la source d'activité séismique, déterminer la composition du manteau.

⁷ Transpondeur : un appareil qui reçoit un signal et le retransmet sur des fréquences identiques ou différentes.

⁸ Bande X : plage de fréquences aux alentours de 8 GHz.

- UVIS est un spectromètre UV et visible qui mesure la quantité de lumière UV arrivant sur Mars. Une trop grande quantité d'UV peut mener à l'oxydation des composants organiques et donc causer des dommages importants à toutes formes de vie et à une éventuelle expédition humaine. UVIS peut également mesurer des variations de la densité de l'atmosphère de Mars causées par la présence de poussières.

5. Participation de l'ORB à la mission ExoMars : LaRa

LaRa (Lander Radioscience) est un transpondeur en bande X. La coordinatrice de l'équipe du projet est Mme Véronique Dehant, chercheuse à l'ORB.

Les deux objectifs principaux de cette expérience sont d'une part d'obtenir des informations sur l'intérieur de Mars pour avoir une meilleure compréhension de la formation et de l'évolution de Mars et d'autre part d'améliorer nos connaissances sur le processus de condensation/sublimation du CO₂ aux calottes polaires afin de mieux comprendre la circulation et la dynamique de l'atmosphère de Mars.

LaRa un instrument utilisant le lien radio entre la Terre et Mars. Un signal radio sera envoyé de la Terre vers Mars et LaRa le renverra comme un miroir vers la Terre. Sur Terre, on mesurera le décalage de fréquence entre l'onde envoyée et l'onde reçue. Ce décalage est expliqué par l'effet Doppler induit par les vitesses relatives de la Terre et de Mars. Il se produit, lorsque l'émetteur des ondes est en mouvement par rapport au récepteur de ces ondes, ou inversement (ou le cumul des deux). La fréquence alors mesurée à la transmission et celle mesurée à la réception sont légèrement différentes. Cette mesure nous permettra d'obtenir l'orientation de Mars dans l'espace et sa rotation (précession⁹, nutation¹⁰ et variation de la longueur de jour).

La connaissance actuelle de la structure interne de Mars a été développée essentiellement à partir de trois paramètres, la masse totale, la taille et le moment d'inertie¹¹ de la planète. Le champ gravitationnel ressenti par tout corps aux alentours de Mars dépend également de la répartition des masses à l'intérieur de la planète. L'observation de la position d'un satellite artificiel en orbite autour de Mars donne donc de l'information sur la masse, sa répartition (les moments d'inertie) à l'intérieur de Mars. L'étude de la rotation de Mars devrait donc compléter l'information sur l'intérieur de cette planète.

⁹ Précession : changement d'orientation de l'axe de rotation d'une planète aplatie et penchée dans l'espace sous l'action de la force gravitationnelle du Soleil, de sa ou ses lune(s) éventuelle(s), et des autres planètes dans une moindre mesure.

¹⁰ Nutation : mouvement périodique de l'axe de rotation dans l'espace autour de sa position moyenne ; la nutation s'ajoute à la précession.

¹¹ Le moment d'inertie d'un système en rotation autour d'un axe p quantifie la résistance de ce système à changer sa vitesse de rotation autour de cet axe p ; il caractérise la répartition des masses autour d'un axe. Le moment principal d'inertie dépend de la répartition de la masse dans un corps autour de l'axe de symétrie principal. Plus une masse est éloignée de cet axe, plus elle contribue au moment principal d'inertie. Plus le moment d'inertie est important, plus la force nécessaire pour le mettre en rotation sera importante. L'observation de la rotation d'un corps permet de déduire les moments principaux d'inertie. La connaissance des moments principaux d'inertie d'un corps permet à son tour de déduire de l'information sur la répartition des masses à l'intérieur du corps.

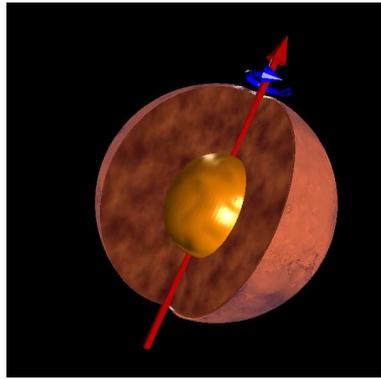


Figure 8: Représentation de l'intérieur de Mars et de sa rotation.

L'expérience LaRa permettra d'obtenir au cours du temps l'orientation et les variations de la rotation de Mars. On pourra alors déterminer très précisément les variations de la vitesse de rotation (et donc de la durée du jour) et celles de l'orientation de la planète dans l'espace. Cette étude permettra, entre autre, de déduire quelques paramètres très intéressants concernant la structure interne de Mars (propriétés physiques, densité et dimensions du noyau par exemple) et d'obtenir les variations de masse et de pression dans l'atmosphère liées au processus saisonnier de sublimation/condensation des calottes polaires, comme expliqué dans les paragraphes suivants.

De façon similaire à la Terre, la position de l'axe de rotation de Mars varie au cours du temps à cause de l'attraction gravitationnelle du Soleil, des satellites naturels Phobos et Deimos et des planètes environnantes. A cause de l'existence d'un bourrelet équatorial (comme la Terre, Mars est aplatie aux pôles), l'attraction du Soleil tend à faire basculer l'équateur dans le plan de l'orbite de Mars (écliptique). Mars étant en rotation sur elle-même, elle réagit à ce forçage à la manière d'une toupie et son axe de rotation décrit un large cône autour de la perpendiculaire au plan de l'écliptique : ce mouvement est appelé précession.

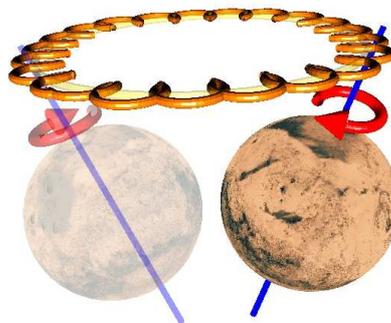


Figure 9: Représentation de la précession et nutation de Mars.

LaRa nous permettra de calculer la précession avec une précision quatre fois supérieure à celle connue à l'heure actuelle pour la durée nominale de la mission (120 jours à la surface de Mars). Grâce à cela, on peut calculer le moment d'inertie de toute la planète et le rayon du noyau avec une précision atteignant quelques dizaines de kilomètres.

Les positions relatives de Mars, du Soleil, de Phobos, de Deimos et des planètes proches changeant périodiquement au cours du temps, la précession est perturbée par une série de variations périodiques, appelées nutations. Le fait que Mars soit déformable et que cette planète puisse contenir un noyau liquide induit des effets additionnels perturbateurs, dont en particulier un effet de résonance dans les nutations forcées par le Soleil. Selon leur

forme, leur structure et leur constitution, certains objets présentent des résonances à certaines fréquences (comme la cloche); une très petite excitation pourra donner lieu à des mouvements très importants. C'est pour une raison similaire que les soldats doivent rompre le pas en passant sur un pont. Pour observer un mode propre de vibration il faut avoir induit une excitation à une fréquence très proche de la fréquence propre. La résonance dans les nutations n'existe que si le noyau de Mars est liquide. Par conséquent, si les données recueillies par LaRa montrent l'existence de cette résonance, on aura la certitude que le noyau est au moins partiellement liquide. Dans le cas contraire, on saura que le noyau est entièrement solide. Ce sont les mêmes raisons qui permettent de distinguer un œuf cru d'un œuf cuit par la manière dont il tourne sur lui-même.

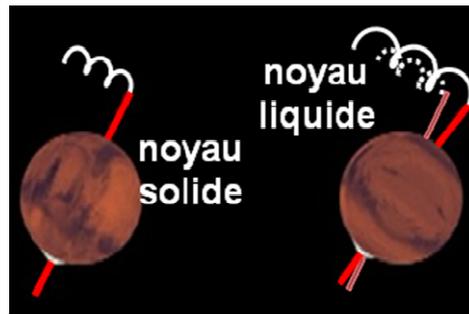


Figure 10: Représentation de la nutation de Mars pour un noyau liquide ou solide.

La mesure des variations de la vitesse de rotation¹² de Mars (la longueur du jour) permet de calculer le moment angulaire de la planète. Or, celui-ci change régulièrement avec le transfert de masse entre l'atmosphère et les pôles de glace. La connaissance des variations du moment angulaire, nous permettra de déterminer les quantités transférées. Cet échange de matière est responsable des variations de la vitesse de rotation et donc également des variations de la longueur du jour. Un quart de l'atmosphère martienne participe au phénomène de condensation/sublimation du CO₂ au niveau des calottes polaires avec les saisons. C'est pourquoi, la connaissance de la variation de la longueur du jour permettra d'améliorer nos connaissances sur ce phénomène et par la même occasion celles sur la circulation et la dynamique de l'atmosphère martienne. Donc, la précession et la nutation seront étudiées pour améliorer nos connaissances sur l'intérieur de Mars tandis que la variation de la longueur de jour sera étudiée pour élucider nos questions sur l'atmosphère martienne.

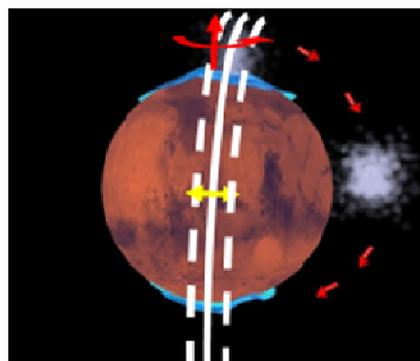


Figure 11: Représentation de la variation de la rotation de Mars. Un point à la surface de Mars sur l'équateur, vu de la Terre, bouge de plusieurs mètres sur un an martien.

¹² Ces mouvements de variations de la rotation de Mars et de son orientation dans l'espace sont schématisés en trois dimensions sur le site : <http://www.astro.oma.be/D1/DIDAC/Radioscience.php>

6. Design et construction de l'instrument LaRa

Le design et la construction de LaRa (Lander Radioscience) sont effectués par la société OMP (Orban Microwave Products) qui réside à Leuven en Belgique (<http://www.orbanmicrowave.com/>).

Les tests de qualité spatiale en environnement martien, les tests de vibration nécessaires pour prouver la résistance de LaRa au lancement et à l'atterrissage sur Mars, et la décontamination seront fait par le Centre spatial de Liège (CSL).

L'instrument est en attente d'une mission. Il pourrait faire partie d'une mission vers Mars en 2022.

7. L'équipe de l'ORB travaillant sur Mars

Véronique Dehant (Coordinateur du Projet, Scientifique), email : v.dehant@oma.be

Mikael Beuthe (Scientifique)

Ozgur Karatekin (Scientifique)

Sébastien Le Maistre (Scientifique)

Michel Mitrovic (Ingénieur)

Attilio Rivoldini (Scientifique)

Pascal Rosenblatt (Scientifique)

Antony Trinh (Scientifique)

Tim Van Hoolst (Scientifique)

Marie Yseboodt (Scientifique)

Beaucoup de nos scientifiques (MB, OK, SLM, AR, PR) sont payés sur un budget PRODEX de la Politique Scientifique fédérale.