

La planète Mars



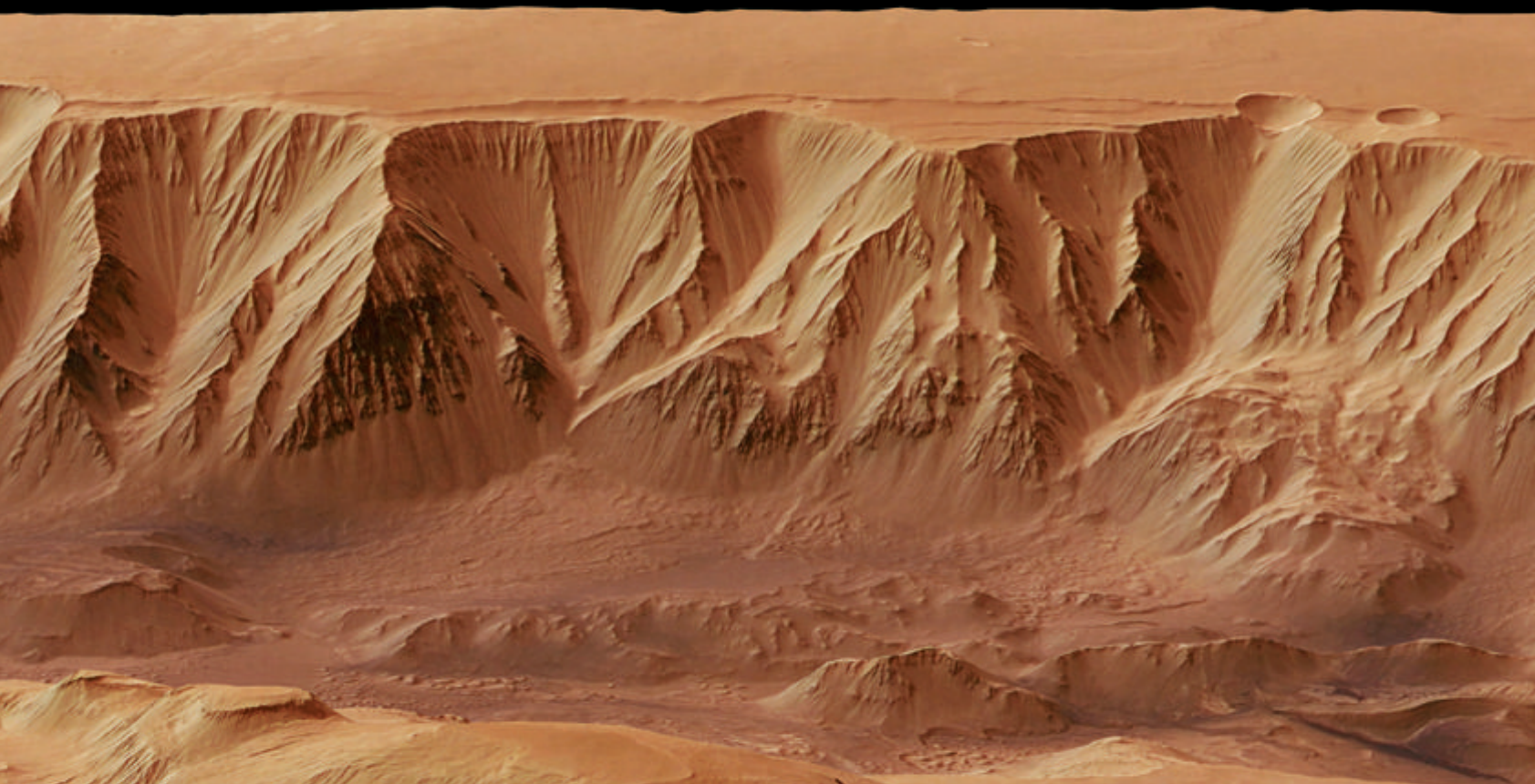
sous la loupe des chercheurs belges

Véronique Dehant et Frank Daerden

Introduction

La planète Mars est proche de la Terre et possède de nombreuses caractéristiques semblables à celle-ci. La communauté scientifique étudie un large spectre de propriétés de cette planète, en particulier celles de son atmosphère et de la géologie de sa surface, surtout depuis la découverte de preuves de l'existence d'eau liquide dans le passé de Mars. Les scientifiques de l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) et de l'Observatoire Royal de Belgique (ORB) prennent également part à cette recherche ; ils s'intéressent particulièrement à la modélisation et à la compréhension de l'atmosphère (IASB) et de l'intérieur de Mars et de son évolution (ORB). Ils sont également impliqués dans la conception d'instruments, dans le traitement de données satellitaires de spectromètres (IASB) et d'expériences de radio-science (ORB) visant à obtenir des informations sur l'atmosphère, le sous-sol et l'intérieur profond de Mars. L'IASB et l'ORB ont acquis une expertise reconnue internationalement dans le domaine de la recherche en Sciences spatiales et de la planétologie, et cela grâce au support constant de la Politique scientifique fédérale depuis maintenant plus de 20 ans.

Valles Marineris © ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum)



L'exploration de Mars. Un petit résumé

Les missions martiennes ont débuté en 1960, par le lancement d'un orbiteur russe. Les Etats-Unis ont suivi en 1964, avec le lancement de Mariner 4 qui transmet les premières images de la surface aride de la planète. A partir de ce moment, missions soviétiques et américaines se sont succédées. 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 et les premières analyses pertinentes de la composition chimique fine de l'atmosphère aux missions Mariner 9 (lancement en 1971) et aux premières tentatives de découverte de signe de vie par les sondes Viking (lancement des Viking 1 et 2 en 1975).

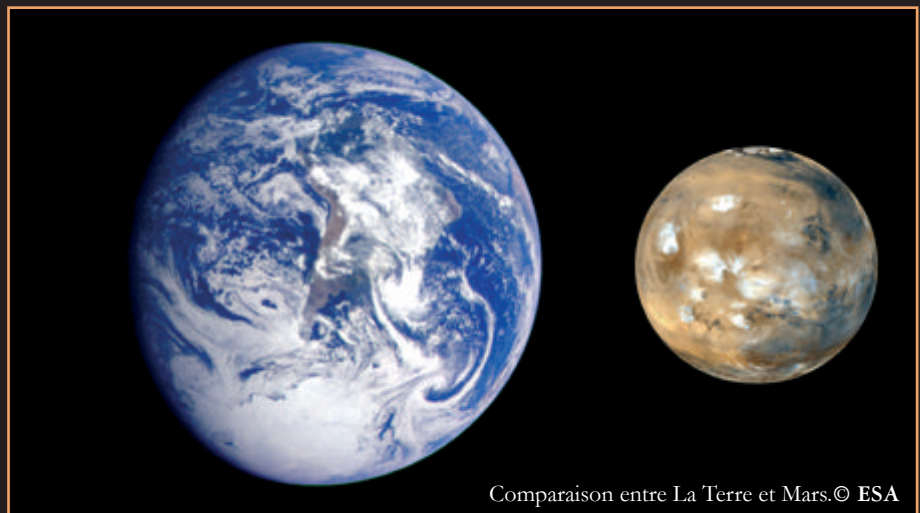
Un autre succès retentissant est celui de Mars Pathfinder (1996), sonde de 259 kilos accompagnée de Sojourner, un petit véhicule automatique de surface qui a analysé et photographié le sol martien proche du site d'atterrissage (une maquette en dimension réelle de Pathfinder est présentée au public dans le cadre de l'exposition *Destination Mars*). Les orbiteurs Mars Global Surveyor (MGS), Mars Odyssey et Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) ainsi que l'orbiteur européen MarsExpress de l'ESA fournissent également une moisson impressionnante de données inattendues toujours en cours d'interprétation. L'apport de ces missions est d'une grande importance pour l'amélioration de notre connaissance de la Terre par l'étude comparative des processus dynamiques, physiques et chimiques ainsi que de la planète rouge en elle-même et plus généralement du système solaire. En 2003, les Américains ont également envoyé deux rovers, les Mars Exploration Rovers (MERs), Spirit and Opportunity (une maquette en dimension réelle d'un des MERs est présentée à l'exposition *Destination Mars*). Ces rovers ont produit des images et des mesures d'affleurements rocheux et de cratères au fur et à mesure de leurs déplacements.

Pourquoi Mars? Importance de la planétologie comparée

Mars est une planète dont l'étude est très intéressante pour mieux comprendre les processus de formation des planètes telluriques comme la Terre, Mercure et Vénus ainsi que leurs évolutions. Mars est plus petite que la Terre, son diamètre est d'environ la moitié de celui de la Terre, mais a une composition chimique et minéralogique comparable, et une structure globale interne similaire avec un noyau constitué d'un alliage de fer, d'un manteau et d'une croûte. Peu de temps après leur formation, la Terre et Mars devaient être très semblables.

Aujourd'hui, ces planètes voisines montrent de nombreuses différences. Par exemple, Mars a une atmosphère ténue et froide ne contenant que très peu d'oxygène. Les premiers sondages spectroscopiques de l'atmosphère de Mars ont été faits depuis la Terre avec de grands télescopes (optiques et micro-ondes) et ils ont montré qu'elle est constituée principalement de dioxyde de carbone (CO_2 , 95%). Ceci n'est pas le cas de l'atmosphère de la Terre, qui se compose essentiellement d'azote (N_2 , 78%) et d'oxygène (O_2 , 21%). Les premières missions spatiales réussies vers Mars n'ont détecté que des traces d'azote (2,7%) et d'oxygène (0,13%), et peu d'autres espèces intéressantes.

Les températures moyennes mesurées in situ ont montré que Mars est un monde extrêmement froid par rapport à la Terre, et que des températures supérieures à 0°C sont exceptionnelles. Une journée de forte chaleur sur Mars typique atteint seulement -30°C ! Depuis longtemps, des nuages ont été remarqués depuis la Terre, et les missions spatiales ont confirmé qu'ils étaient



Comparaison entre La Terre et Mars. © ESA

composés de glace d'eau, comme les nuages stratosphériques observés sur Terre. Récemment, des chutes de neige ont même été détectées sur Mars. La composition atmosphérique principale indique que Mars est une planète à la fois géologiquement et biologiquement morte, sans volcanisme actif de surface et ne présentant aucun signe direct de vie. Alors que sur Terre, la couche d'ozone protège la biosphère, l'ozone est beaucoup moins abondant sur Mars (100 fois moins) et le jour, le

rayonnement ultraviolet (UV) solaire rend la plus grande partie de la surface de Mars inhabitable et même mortelle pour des organismes terrestres. Mais, plus surprenant encore, au cours de ces dernières années des traces de méthane ont été détectées sur Mars. Ces observations ont des conséquences fondamentales concernant l'étude de la vie sur Mars (voir le paragraphe sur la vie sur Mars).

La surface de Mars est très sèche à l'heure actuelle, sans eau liquide stagnante ; cette surface a été créée il y a longtemps, contrairement à celle de la Terre, qui est continuellement recyclée par la tectonique des plaques. Malgré cette absence de tectonique des plaques, le volcanisme de point chaud (comme observé sur Terre à Hawaï)

semble avoir été essentiel dans l'évolution de la planète. Le volcanisme sur Mars semble actuellement éteint, la dernière grande éruption volcanique ayant probablement eu lieu il y a 100 millions d'années. Ceci implique que l'intérieur des deux planètes diffère également. La Terre est une planète dynamique, avec des mouvements à

grande échelle dans son noyau, dans son manteau et sa croûte. Mars, par ailleurs, est à présent une planète calme, qui semble "morte". Il est très intéressant d'étudier comment et pourquoi Mars a évolué si différemment de la Terre.

La vie sur Mars

La possibilité de mettre en évidence des processus biotiques sur Mars est une autre raison d'étudier cette planète. Comme la Terre, Mars est une planète qui semble avoir présenté des conditions favorables à l'apparition de la vie au début de son évolution géologique. La présence d'eau liquide à sa surface ou juste en-dessous de sa surface pourrait être une condition nécessaire pour que la vie puisse s'être développée ou se développer. Des observations récentes montrent l'existence de structures qui ressemblent à d'anciens réseaux fluviaux et des ravinages. Les scientifiques ne sont pas unanimes sur l'interprétation de leur origine, mais beaucoup d'entre eux pensent que Mars aurait pu avoir des systèmes fluviaux, et même un océan, dans lequel des formes de vie primitive auraient pu exister, à l'instar de ce que la Terre a connu avec la "Soupe primitive".

La récente découverte du méthane dans l'atmosphère de Mars peut également être indirectement liée à la question de l'émergence de la vie sur Mars parce que cela signifie qu'il y a, en ce moment même, une certaine activité géologique ou même biologique sur Mars. Sur Terre, la plupart des concentrations atmosphériques de méthane sont d'origine biologique. En plus de la découverte des réservoirs de glace d'eau souterraine, la détection de méthane pourrait indiquer la présence d'une forme de vie microbienne sous la surface. En effet, ne pouvant se former par réaction photochimique dans l'atmosphère-même, le méthane observé est nécessairement d'origine "extra-atmosphérique". L'explication de la source biotique de ce méthane atmosphérique serait alors la première découverte de la vie au-delà de notre propre planète. Ce sont certains des thèmes présentés dans l'exposition *Destination Mars*.



La recherche effectuée à l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB)

Les débuts de l'exploration de la planète Mars

À la fin des années 80, l'IASB participait déjà à la mission soviétique Phobos qui mesurait notamment la structure physico-chimique de l'atmosphère. Le résultat le plus étonnant de cette mission fut la détection dans l'atmosphère martienne du formaldéhyde (CH_2O , en fait du formol), un composé organique provenant plus que probablement de l'oxydation du méthane; à l'heure actuelle cette découverte est encore un mystère. C'est à cette époque aussi que l'IASB a développé le premier modèle numérique à deux dimensions (altitude et latitude) au monde pour comprendre l'aéronomie de Mars.



Vue d'artiste de la sonde MARS96. © ESA

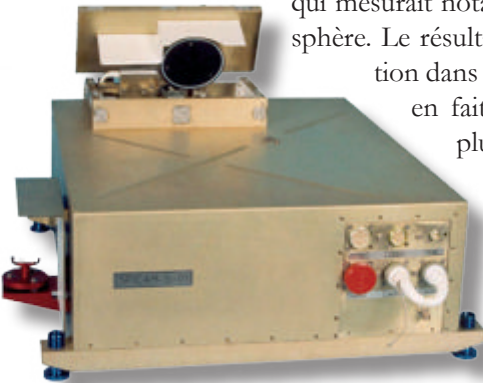


Photo du spectromètre SPICAM. © IASB

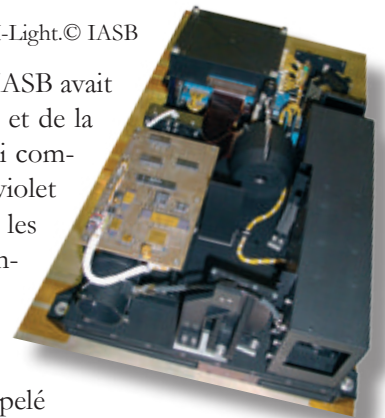
MarsExpress

Suite à l'échec de la mission Mars96 à bord de laquelle l'IASB avait un instrument, SPICAM, dédié à l'étude de la physique et de la composition chimique de l'atmosphère martienne et qui comprenait un canal dans l'infrarouge (IR) et un dans l'ultraviolet (UV), et pour valoriser les investissements consentis par les différentes agences spatiales, la mission MarsExpress a ensuite été proposée par l'ESA en se basant sur l'expertise acquise pour MARS96. Comme la charge utile devait être fortement réduite, la masse de SPICAM est passée de 46 à un peu plus de 8 kg et l'instrument s'est ainsi appelé "SPICAM-Light". Les observations ont débuté à la fin 2003 et à l'heure actuelle, l'instrument fonctionne toujours de façon nominale. La diversité des modes d'observation (nadir et vue au limbe, occultations stellaire et solaire) a permis d'adresser plusieurs questions scientifiques clés comme l'ozone et son couplage à l'eau, l'étude des processus de stabilisation de l'atmosphère actuelle, les aérosols, la structure thermique et chimique verticale de l'atmosphère ou la recherche de composants minoritaires.

Photo de SPICAM-Light. © IASB

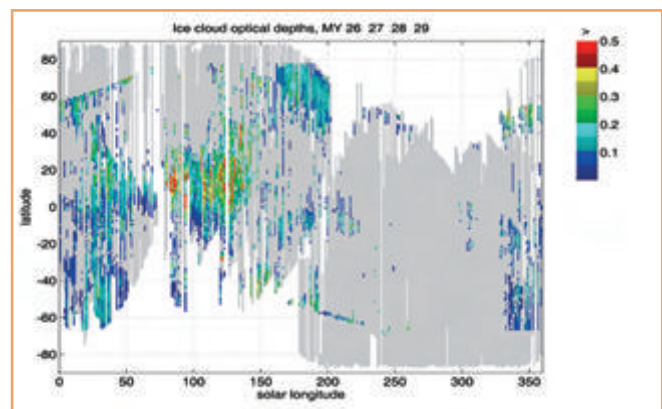


Vue d'artiste de la sonde MarsExpress. © ESA



Le canal UV de SPICAM est propice à la détection de nuages de glace sur Mars. L'IASB a analysé la distribution sur Mars des nuages d'eau pendant plusieurs saisons et a ainsi pu estimer le contenu en eau des nuages. Ce travail a contribué à la compréhension du climat et de la circulation atmosphérique générale sur Mars. SPICAM a aussi permis d'étudier les propriétés des poussières martiennes dans le domaine UV. Grâce à cela, la capacité du rayonnement UV à atteindre la surface peut être estimée laquelle, à son tour, permet aux astrobiologistes de déterminer la probabilité de survie sur Mars de divers micro-organismes.

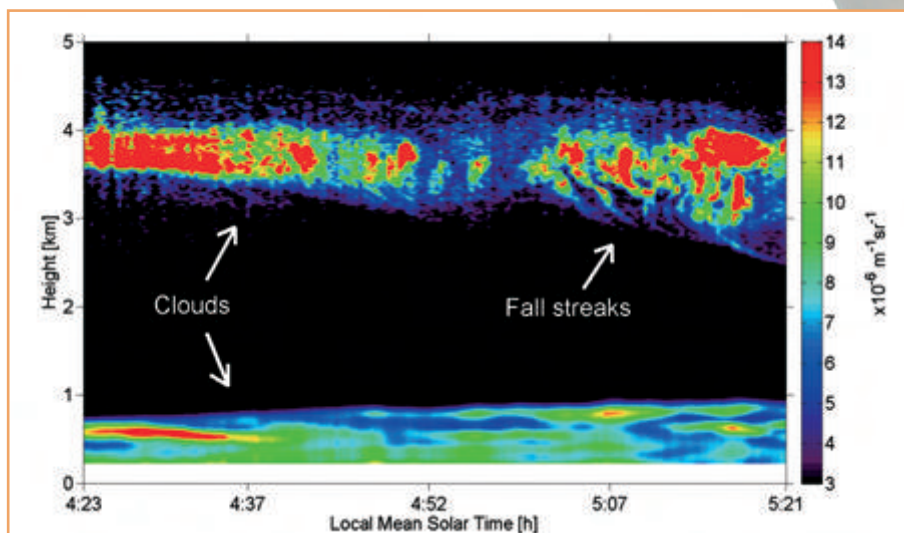
La profondeur optique des nuages de glace martiens mesurée par SPICAM. Cette carte montre des moyennes zonales (latitude en fonction de la période de l'année exprimée par la "longitude solaire") et couvre une période allant du début du printemps à la fin de l'hiver dans l'hémisphère nord; les données ont été prises pendant 4 années martiennes [Matshvili et al. Planet. Sp. Sci., 2009].



La neige et les prévisions météorologiques sur Mars

En 2008, l'atterrisseur Phoenix a été envoyé avec succès par la NASA vers la région du pôle Nord de Mars. Il y avait à bord une station météorologique canadienne qui permettait de détecter les nuages. Lorsque cet instrument a mesuré des chutes de neige, un modèle numérique très détaillé a été développé par l'IASB pour simuler et tenter de comprendre ce processus.

L'IASB a aussi développé, en collaboration avec l'Université de York au Canada, un modèle numérique pour simuler et prédire le temps sur Mars. Ce modèle 3D décrit la météorologie, la circulation, les poussières, les nuages, l'eau, les calottes polaires, la radiation et la chimie de l'atmosphère de la surface jusqu'à 170 km d'altitude.

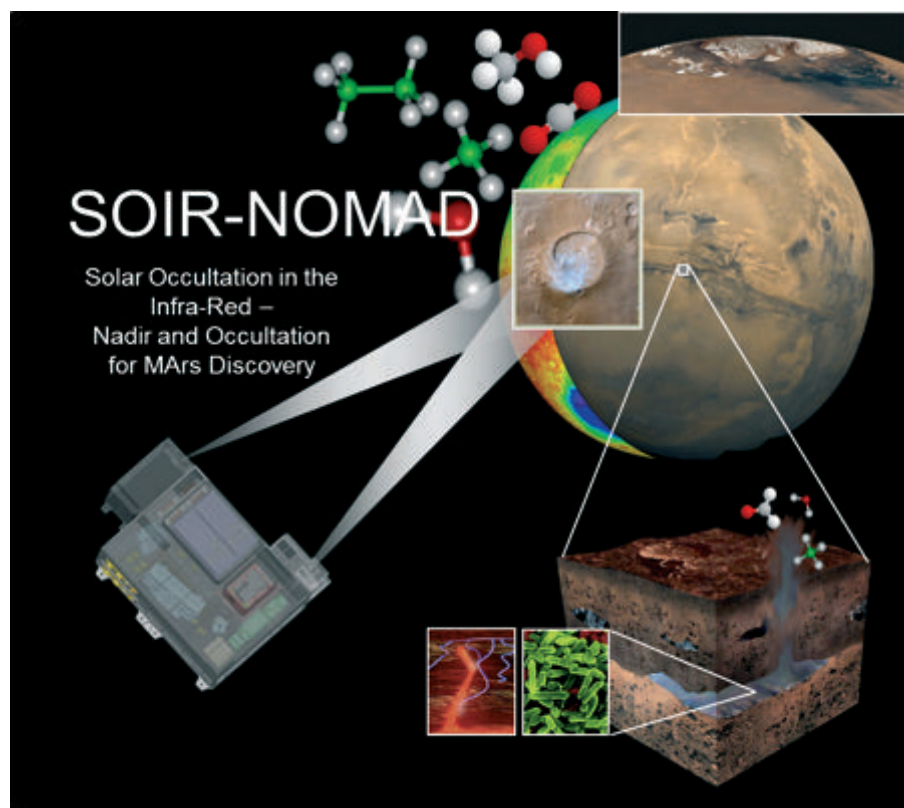


Détection sur Mars à basse altitude de nuages de glace d'eau et de précipitations par le LIDAR de Phoenix. Ces mesures ont pu être expliquées grâce au modèle numérique de l'IASB [Daerden et al., Geophys. Res. Lett., 2010].

Le futur : ExoMars

Suite à la confirmation de la découverte encore inexpliquée du méthane sur Mars par MarsExpress, l'ESA et la NASA ont décidé, pour tenter de soulever le voile de ce mystère, de s'associer dans une nouvelle mission ambitieuse : ExoMars. En 2016, l'orbiteur ExoMars Trace Gas Orbiter (EMTGO) sera envoyé vers Mars suivi deux ans plus tard par deux rovers.

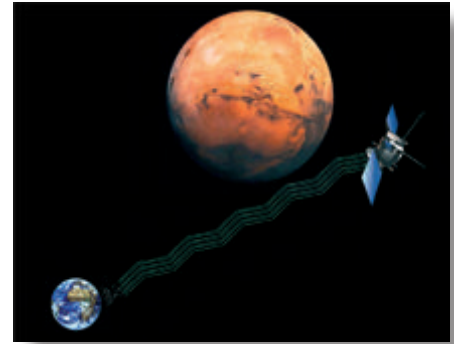
L'IASB a contribué à la préparation de EMTGO et a proposé un nouvel instrument appelé NOMAD (Nadir and Occultation for MArS Discovery). Le spectromètre infrarouge SOIR (Solar Occultation in the Infra-Red) et un spectromètre très léger opérant dans l'UV et le visible (UVIS) sont à la base de l'instrument NOMAD. L'instrument SOIR, actuellement en fonctionnement sur la mission Venus Express, a été développé et construit à l'IASB. UVIS est l'héritier de l'instrument RA-



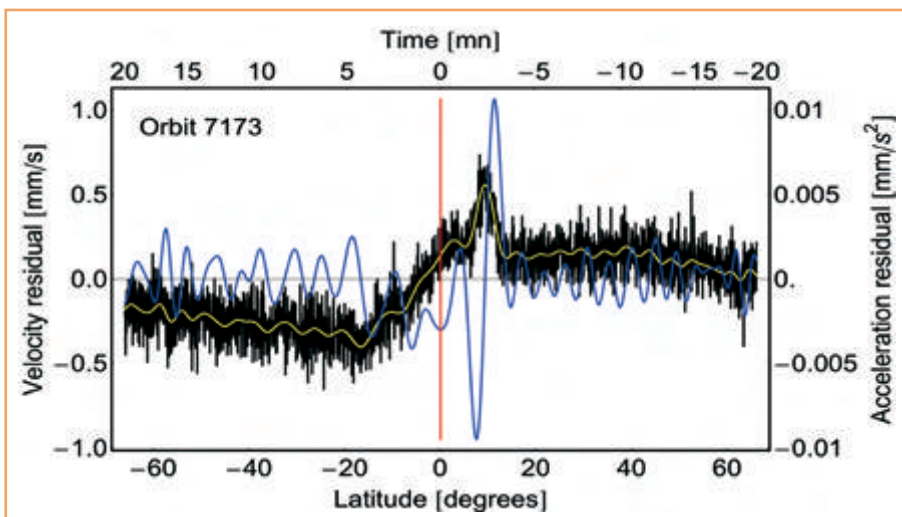
DEX proposé après la mission Phobos et développé à l'origine pour le rover d'ExoMars. NOMAD pourra regarder le Soleil, tout comme SOIR, mais aussi observer directement la surface de la planète au travers de l'atmosphère martienne. Ceci va permettre une cartographie unique des gaz en traces sur Mars et d'identifier, s'ils existent, les sites où le méthane est libéré dans l'atmosphère, c'est-à-dire les sites où la vie ou un volcanisme actif pourraient être présents. L'expérience NOMAD est un composant majeur de EMTGO. L'expérience reçoit le support total de la Politique scientifique fédérale et est conduite par un chercheur belge de l'IASB, le Dr. Ir. Ann Carine Vandaele (*Principal Investigator* ou PI). Le consortium NOMAD mené par la Belgique est international avec des contributions de l'Espagne, l'Italie, le Royaume-Uni, les Etats-Unis et le Canada.

La recherche effectuée à l'Observatoire Royal de Belgique (ORB)

L'équipe de l'ORB participe à l'expérience MarsExpress Radio Science experiment (MaRS). Dans cette expérience, on mesure les variations de fréquence (effet Doppler) des signaux radio entre MarsExpress et la Terre. Ces changements de fréquence sont dus au mouvement relatif entre la sonde spatiale et l'observateur. A partir de ces décalages Doppler, on dérive la position de la sonde et son mouvement orbital autour de Mars. Le champ de pesanteur global et local, ainsi que ses variations dans le temps, peuvent alors être déterminés, puisque la pesanteur contrôle le mouvement orbital de MarsExpress. A l'aide du même principe, on peut encore obtenir des informations sur l'atmosphère, les calottes glaciaires, la surface et l'intérieur de Mars.



Représentation de l'expérience MarsExpress Radio Science experiment (MaRS).© ESA



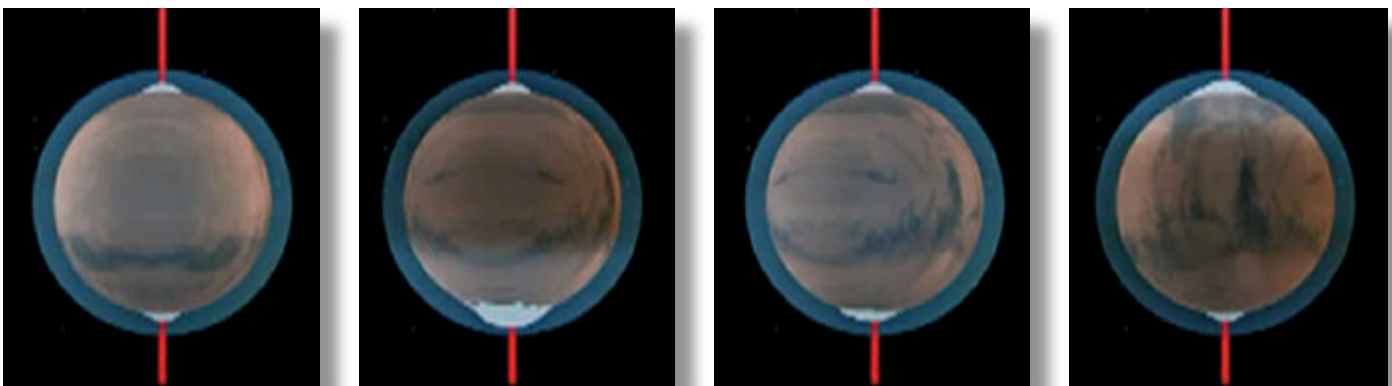
Perturbations de la vitesse de MarsExpress par rapport à l'orbite prévue (en noir : les données brutes; en jaune : les données filtrées) lors du passage au-dessus d'Olympus Mons. L'accélération obtenue est représentée en bleu. L'emplacement du périastre est indiqué par la ligne rouge.

Pesanteur au-dessus d'une cible

La faible altitude de la sonde MarsExpress au périastre (265-334 km) en fait un capteur très sensible des effets de la pesanteur qui peut donner de nouvelles informations très utiles sur la structure locale de la croûte et de la lithosphère. Une série d'expériences de pesanteur ciblant les grands volcans martiens montre que les laves sont de haute densité et que les volcans reposent sur une lithosphère très rigide.

Variations temporelles du champ de pesanteur

Le cycle saisonnier du dioxyde de carbone (CO_2) sur Mars résulte en une redistribution temporelle variable de ce CO_2 entre l'atmosphère et la surface au cours des saisons. Environ un quart de la masse totale du CO_2 atmosphérique se condense sur les calottes polaires en hiver et se sublime dans l'atmosphère en été. Il existe des changements dans le champ de pesanteur associés à ces variations à grande échelle qui ont été évaluées à partir des données de suivi Doppler de tous les engins spatiaux en orbite autour de Mars. Les observations de suivi des sondes fournissent l'une des mesures les plus directes du bilan de la masse atmosphérique à l'échelle globale.

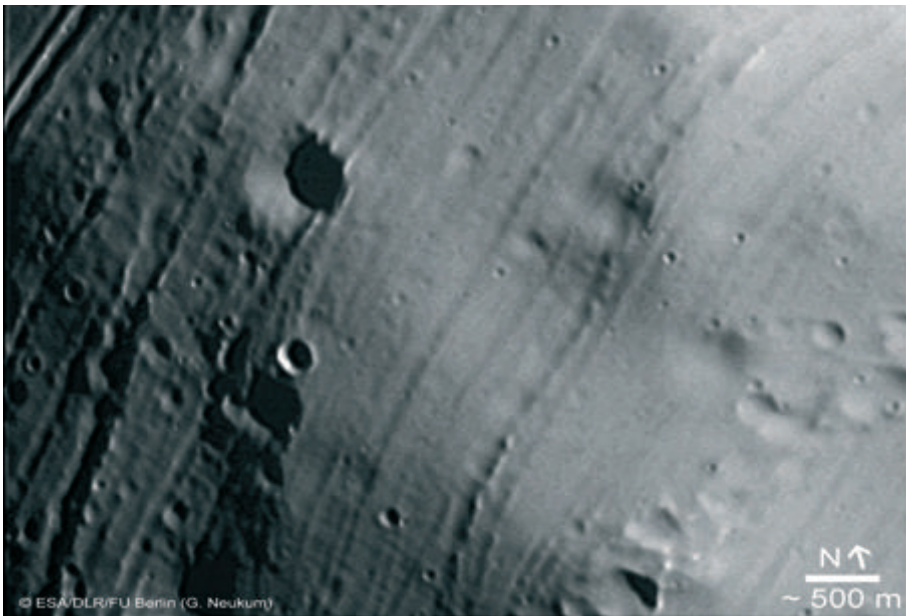


Processus de sublimation et de condensation du CO_2 .© ORB

Les déformations de marée de Mars induisent aussi des variations du champ de pesanteur. L'ORB a développé un modèle précis de la structure de l'intérieur de Mars pour étudier comment les marées dépendent de l'intérieur. Les observations de radio-science futures qui auront une meilleure précision et les futures mesures effectuées à la surface de Mars avec un sismomètre à large bande permettront de caractériser précisément les déformations de marée. De plus, l'Observatoire prépare un instrument de radio-science dont l'objectif est d'améliorer les estimations de la rotation et l'orientation de Mars, et de là, de confirmer l'état physique du noyau (solide, liquide, liquide avec partie solide) et contraindre la composition du noyau et du manteau. Un lien entre la rotation et l'intérieur d'un objet est bien connu dans la vie de tous les jours : un œuf cuit tourne différemment qu'un œuf cru.

Survol du satellite Phobos

Plusieurs missions actuelles et passées vers Mars ont également fourni beaucoup d'informations concernant ses lunes, Phobos et Déimos. La question sur l'origine de ces deux petits corps demeure cependant sans réponse. Les mesures spectrales de leurs surfaces et l'évolution des effets de marées sur leurs mouvements orbitaux autour de Mars ont conduit à des scénarios contradictoires sur leur origine : soit une capture d'astéroïdes, soit une formation in situ. Les vols rapprochés de Phobos par la sonde MarsExpress ont permis de mettre en évidence une faible densité (moins de deux fois la densité de l'eau). Pour un corps rocheux, cette faible densité peut être expliquée par une grande quantité de porosités (ou vides) dans son intérieur (comme pour beaucoup d'astéroïdes). Ceci suggère une struc-



ture très peu consolidée ou “un agglomérat gravitationnel” pour l'intérieur de Phobos. La mission Phobos-Grunt qui sera lancée en 2011 se penchera sur cette question en révélant la vraie nature de la surface et de l'intérieur de Phobos. L'ORB participera à cette mission en sondant l'intérieur de ce petit corps, révélant sa vraie nature. Le moyen de sonder l'intérieur de Phobos consiste précisément en l'estimation de sa rotation et son champ de pesanteur.

Conclusions

Les chercheurs du Pôle Espace et plus particulièrement de l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique et de l'Ob-

servatoire Royal de Belgique, sont impliqués dans différents projets internationaux visant à mieux connaître notre voisine immédiate. Que ce soit la structure interne de la planète ou la structure de son atmosphère la plus externe, toutes ces études permettent d'accroître notre compréhension des phénomènes s'y déroulant. Gageons que les missions futures seront de nouvelles sources de découvertes étonnantes. □

Les auteurs

Pour l'ORB : Véronique Dehant, Mikael Beuthe, Aurélien Hees, Ozgur Karatekin, Sébastien Le Maistre, Collin Nkono, Lê Binh San Pham, Attilio Rivoldini, Pascal Rosenblatt, Tim Van Hoolst, Marie Yseboodt

Pour l'IASB : Frank Daerden, Cédric Depiesse, Rachel Drummond, Stéphanie Fratta, Didier Fussen, Didier Gillotay, Nina Matashvili, Didier Moreau, Christian Muller, Lori Neary, Eddy Neefs, Séverine Robert, Ann Carine Vandaele, Yannick Willame, Valérie Wilquet.

Plus

L'Observatoire royal de Belgique :

<http://planets.oma.be>

L'Institut d'Aéronomie spatiale de Belgique :

<http://planetary.aeronomie.be>

Exposition *Destination Mars*, Musée des Sciences naturelles jusqu'au 20 mars 2011.