

# DOSSIER DE PRESSE

**Etude des lunes de Mars, Phobos et Deimos, à l'Observatoire royal de Belgique dans le cadre de la mission Mars Express**



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

**Contacts :**

Pascal Rosenblatt, 02/373.67.30, [p.rosenblatt@oma.be](mailto:p.rosenblatt@oma.be)

Véronique Dehant, 02/373.02.66, [v.dehant@oma.be](mailto:v.dehant@oma.be)

## Introduction

La planète Mars possède deux lunes : Phobos et Deimos. C'est à Asaph Hall que l'on doit la découverte de ces deux objets, en 1877, alors que les astronomes pensaient que Mars ne possédait pas de lunes. Elles ont toutes deux la forme d'astéroïdes, mais leur origine est encore un mystère. Sont-elles issues de Mars, ou ont-elles été capturées lors d'un passage à proximité de la planète ?

L'étude de Phobos en particulier s'inscrit dans la phase « étendue » de la mission Mars Express. Cette mission a débuté en décembre 2003 et devait se clôturer en 2009. Il a été possible de la prolonger jusqu'en 2012, ce qui permet d'en apprendre plus sur Phobos, et par cet intermédiaire, sur Mars.

Les différentes sondes qui se sont succédées et se succèdent encore aujourd'hui autour de Mars ont pour but d'étudier ses propriétés en général, son atmosphère, sa surface, son intérieur et les interactions avec l'environnement interplanétaire. Ceci permettra à long terme de mieux comprendre le processus de formation des planètes, leur évolution et le système solaire dans sa globalité.

L'exploration de Mars a commencé en 1960 avec le lancement d'un orbiteur russe : *Marsnick 1*. Les Etats-Unis ont suivi en 1964, avec *Mariner 4* qui transmet 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 aux missions *Mariner 9* (lancement en 1971) et *Viking* (lancement des deux sondes *Viking 1* et *2* en 1975). 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.

L'orbiteur *Mars Global Surveyor* (MGS) a fonctionné entre 1996 et 2006. *Mars Odyssey* et *Mars Reconnaissance Orbiter* (MRO) fournissent encore une moisson de données impressionnantes toujours en cours d'interprétation. A ces deux orbiteurs américains s'est rajouté un orbiteur européen *Mars Express* qui est en orbite autour de Mars depuis le 25 décembre 2003.

Par le passé, les orbiteurs *Viking 1* et *2* se sont approchés à de brèves reprises de Phobos et Deimos, fournissant les premières photographies de la surface de ces deux lunes. Deux sondes soviétiques ont eu pour mission spécifique de s'approcher de Phobos : *Phobos 1* et *Phobos 2* (lancements en juillet 1988). *Phobos 2* a fourni de nouvelles photographies de Phobos tandis que le contact a été rompu avec *Phobos 1* avant son arrivée près de Mars. Aujourd'hui seule la sonde *Mars Express* permet de se rapprocher de Phobos, permettant ainsi de poursuivre la collecte de données concernant ce petit corps du système solaire.

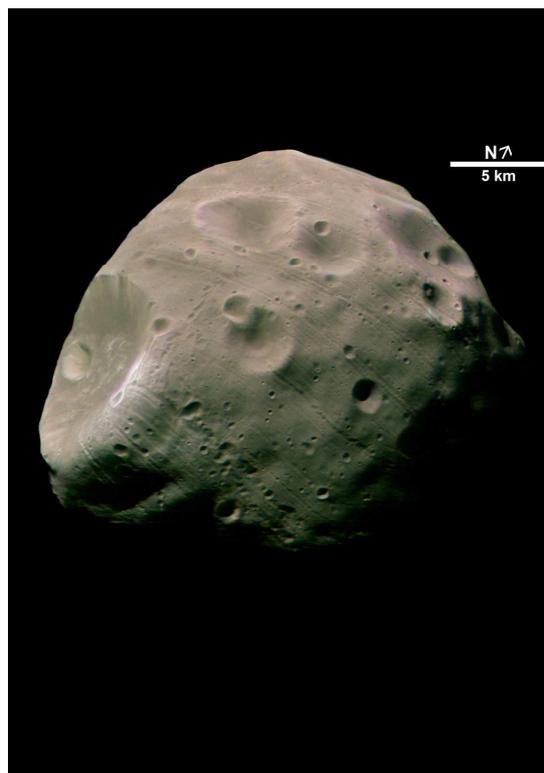
## Pourquoi étudier les lunes de Mars ?

### *Caractéristiques*

Phobos a l'aspect et la forme d'un astéroïde de dimension :  $27 \times 21.6 \times 18.8 \text{ km}^3$ , ce qui correspond à un rayon moyen de 11 km. Sa surface est très sombre et présente des cratères de différentes dimensions. Le plus important, Stickney, (diamètre de 10 km) a probablement créé lors de l'impact une redistribution des masses au sein de Phobos.

Deimos est légèrement plus petit que Phobos (dimensions de  $15 \times 12.2 \times 11 \text{ km}^3$ ), mais son aspect et sa forme évoquent aussi ceux d'un astéroïde.

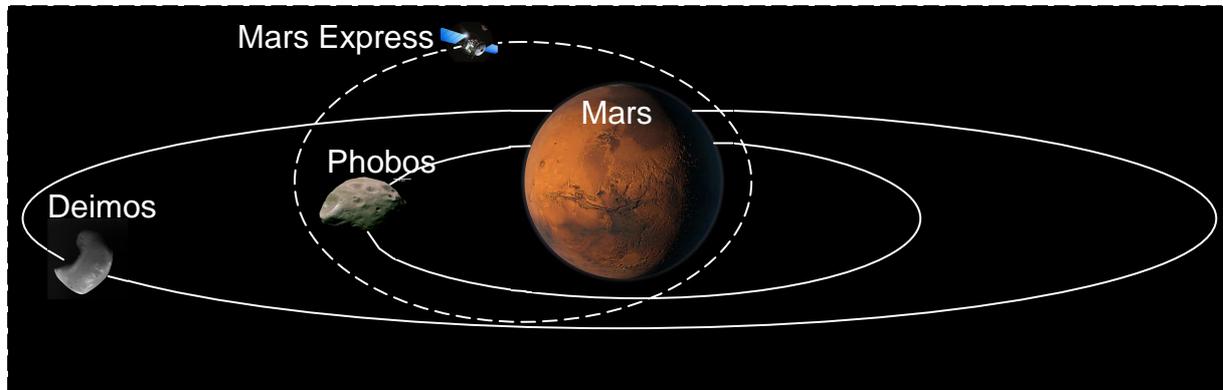
Les missions *Viking* et surtout *Phobos 2* ont permis de réaliser des mesures du spectre de la lumière solaire réfléchi par la surface de ces deux lunes. Les scientifiques ont trouvé que ces spectres montraient des similitudes avec les spectres des surfaces de certains astéroïdes. Toutefois, ces mesures spectrales ne sont pas assez déterminantes pour donner la composition exacte de la surface de Phobos et Deimos (et par extrapolation celle de leur intérieur). Il n'est donc pas exclu que le matériau constituant ces deux Lunes se rapproche de celui constituant les roches de la surface de Mars.



*Image de Phobos prise par Mars Express (ESA)*

Les deux lunes de Mars parcourent une trajectoire circulaire dans le plan équatorial de Mars, mais à des distances différentes: Phobos se situe à 5978 km de la surface tandis que Deimos est plus éloignée (20059 km). Dans le système solaire, aucune planète ne possède de satellite naturel aussi proche que Phobos l'est de Mars.

Phobos étant la plus proche, elle fait un tour complet autour de Mars en 7 heures et 39 minutes et Deimos en 30 heures et 18 minutes.



*Mars, ses deux lunes et Mars Express (échelle non respectée)*

Les trajectoires de Phobos et Deimos dépendent du champ gravitationnel de la planète Mars. Ce champ peut prendre des valeurs différentes en fonction de l'endroit de la surface, et varie au cours du temps. Ces variations temporelles sont observées à différentes échelles. Les plus importantes sont saisonnières car les valeurs du champ gravitationnel dépendent de la proportion du CO<sub>2</sub> présente dans l'atmosphère et capturée dans les calottes. Environ un quart de l'atmosphère participe à ce processus saisonnier de sublimation et de condensation du CO<sub>2</sub>.

On observe aussi dans la trajectoire des lunes martiennes des variations diurnes, semi-diurnes et de longues périodes causées par les marées liées au Soleil: tout comme la Terre, Mars se déforme légèrement en raison de l'attraction gravitationnelle du Soleil. Ces déformations engendrent une légère redistribution des masses à l'intérieur de Mars qui en retour modifie légèrement le champ gravitationnel de la planète. Cette modification du champ gravitationnel se fait ressentir sur la trajectoire des lunes martiennes. Ce phénomène contrôle l'évolution à long terme des orbites des lunes martiennes autour de leur planète Mère, Mars. Ainsi, on prévoit que Phobos se rapproche de Mars à raison d'environ 20 mètres par siècle et qu'elle devrait d'ici environ 40 millions d'années s'écraser sur la surface martienne ou se briser sous l'effet de ces mêmes forces de marées avant même d'atteindre la surface. A contrario, Deimos s'éloigne de Mars à raison de 2 millimètres par an, tout comme la Lune s'éloigne de la Terre à raison de 3.8 centimètres par an.

### ***Buts scientifiques de l'expérience de radio-science***

Le but principal de l'étude de Phobos par l'instrument de radio-science à bord de **Mars Express** consiste à déterminer précisément sa masse et plus tard la répartition des masses à l'intérieur de Phobos.

Les orbiteurs **Viking** et **Phobos 2** ont pu déterminer une première fois la masse de Phobos, en évaluant la déviation de trajectoire subie par les sondes lors de passages à proximité de Phobos. Environ 17 passages proches de Phobos ont été réalisés, avec une

distance entre les sondes et Phobos comprise entre 100 et 300 km et durant à peine 5 minutes. Un seul survol proche de Deimos a pu être réalisé à une distance de 30 km seulement. *Mars Express* est actuellement la seule sonde en orbite autour de Mars capable de réaliser des survols proches de Phobos.

Depuis les missions *Viking* ou *Phobos 2*, la technologie a progressé et les mesures de décalage Doppler fournies par *Mars Express* sont dix fois plus précises que celles réalisées par les anciennes sondes spatiales. Il est donc possible d'obtenir le meilleur jeu de mesures jamais réalisé pour la détermination de la masse de Phobos par l'interprétation du suivi Doppler de la sonde *Mars Express* lors d'un passage proche de la lune martienne.

Outre la détermination de la masse de Phobos, la détermination précise de son volume est aussi un objectif de la mission *Mars Express*. Le calcul du volume de ce corps nécessite de connaître précisément sa forme. La caméra stéréoscopique (HRSC) embarqué sur *Mars Express* fournit et fournira des images 3D de toute la surface de Phobos avec une résolution jamais atteinte auparavant.

L'association des données de l'expérience de radio-science MaRS (Mars Radio-Science experiment) pour la masse et de la caméra stéréoscopique pour le volume permettra de calculer avec précision la densité moyenne de Phobos. Cette densité est aujourd'hui estimée à  $1.85 \text{ g/cm}^3$  avec une précision de 3.2%, ce qui est bien moins dense que les roches de surface de Mars (estimée entre 2.7 et  $3.3 \text{ g/cm}^3$ ). La densité moyenne de Deimos est estimée à  $1.65 \text{ g/cm}^3$  avec une précision de seulement 17%. Ces faibles densités se rapprochent de celles de certains astéroïdes du système solaire et privilégient l'hypothèse que Phobos et Deimos seraient des astéroïdes capturés par l'attraction gravitationnelle de Mars et ne proviendraient donc pas de Mars.

Cependant, la précision avec laquelle la densité moyenne de Phobos est connue ne permet pas d'identifier précisément de quel endroit du système solaire proviendraient ces astéroïdes. De manière alternative, cette faible densité de Phobos et Deimos peut aussi s'expliquer par la présence d'éléments légers à l'intérieur de ces corps tel que de la glace d'eau ou des espaces de vides entre les blocs de matériau constituant ces corps. Ainsi, Phobos et Deimos à l'instar de certains astéroïdes pourraient être constitués d'un agrégat de matériau et non pas d'un monolithe de roche et de glace mélangées. Les nouvelles données plus précises de *Mars Express* fourniront de nouveaux éléments pour élucider cette question.

En compilant un maximum d'informations sur Phobos, les scientifiques pourront tenter de déterminer son origine, et quelle a été son évolution. S'il s'avère que Phobos a une certaine parenté avec les astéroïdes (à partir de sa densité, de sa composition minéralogique...), les scientifiques pourront approfondir l'étude des astéroïdes par l'intermédiaire des lunes de Mars.

Indirectement, des informations sur l'intérieur de Mars pourront en parallèle être récoltées étant donné que la trajectoire de Phobos dépend du champ de gravitation de Mars.

# Pourquoi Mars Express ?

## *Présentation générale*

*Mars Express* est la première mission de l'ESA vers la planète rouge. C'est également la première mission européenne à destination d'une planète. Première "flexible-mission"<sup>1</sup> dans le programme scientifique de l'ESA, elle a été développée en un temps record : il n'a fallu que 5 ans depuis le concept jusqu'au lancement. Empruntant la technologie aux missions *Mars-96* et *Rosetta* de l'ESA, *Mars Express* apportera, une fois les données collectées et traitées, des réponses aux questions fondamentales que l'on se pose à propos de la géologie martienne, de l'atmosphère, de l'environnement, de la surface, de l'histoire de l'eau et de la vie possible sur Mars.

Il faut noter qu'il existe une étroite collaboration entre les différentes missions en cours autour de Mars. Les différents instruments embarqués sur les différentes sondes spatiales fournissent des mesures complémentaires les unes des autres.

La mission *Mars Express* a été prévue pour une durée nominale de deux ans, ce qui correspond à une année martienne (ou 687 jours terrestres). Mais devant la qualité des premiers résultats, l'ESA a décidé de prolonger la mission (probablement jusqu'en 2012).



*Représentation de la sonde Mars Express autour de Mars*

## *Particularité par rapport aux autres sondes*

---

<sup>1</sup> Flexible-mission : mission relativement peu onéreuse, et menée rapidement.

Trois sondes de la NASA sont ou ont été récemment en orbite autour de Mars : *Mars Global Surveyor (MGS)* (jusqu'en 2006), *Mars Odyssey (ODY)* et *Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)*. Les orbiteurs *ODY* et *MGS* ont tout deux aidés à déterminer les masses de Phobos et de Deimos, mais avec une précision moindre que la précision obtenue par les survols proches des sondes *Viking* et par l'analyse fine de la trajectoire de *Mars Express* (pour la masse de Phobos).

Ces trois sondes de la NASA ont une orbite polaire et quasi-circulaire autour de Mars à une altitude de 400 km pour *ODY* et *MGS* et 285 km pour *MRO*. L'orbite de *Mars Express* est aussi polaire mais beaucoup plus allongée que celle des sondes de la NASA, couvrant ainsi des altitudes entre 250 et 11000 km à chaque révolution de la sonde autour de Mars. Ainsi, la trajectoire de *Mars Express* ressent beaucoup plus l'attraction de la masse de Phobos, permettant une estimation plus précise de cette même masse. L'équipe de l'Observatoire royal de Belgique a déjà traité 4 années de données de radio-science de *Mars Express* et ont déterminé la masse de Phobos avec une précision meilleure que celle obtenue avec les sondes *MGS* et *Mars Odyssey*.

La trajectoire de *Mars Express* offre aussi l'opportunité de survoler Phobos à de très faibles distances (jusqu'à 50 km). Jusqu'à présent, *Mars Express* a fourni des photos à très haute résolution de Phobos lors de ces vols rapprochés. Récemment, lors des survols rapprochés de Juin 2006 et juillet 2008, la sonde européenne a fourni des mesures de variation de fréquence (effet Doppler), permettant ainsi la meilleure détermination de la masse de Phobos jamais réalisée.

### ***Instruments scientifiques:***

Sur les 7 instruments embarqués à bord de *Mars Express* les suivants sont utilisés pour l'étude de Phobos :

**La radio-science** (liaison radio entre l'orbiteur<sup>2</sup> et la Terre (MaRS, pour Mars Radio-Science experiment)) se base sur le signal radio entre la sonde et la Terre, envoyé depuis la Terre et observé à l'aide de larges antennes comme celle de Perth (New Norcia, Australie), ou celles du réseau américain DSN (pour Deep Space Network) localisé à Madrid (Espagne), Goldstone (Californie), et à Canberra (Australie). Ce réseau d'antennes permet de suivre les sondes spatiales en orbite autour des planètes du système solaire. Les mesures d'effet Doppler sont utilisées pour reconstruire la trajectoire de ces sondes dans le but de planifier la mission (navigation) ou dans le but de déterminer des paramètres géophysiques telle que le champ de gravité de Mars. L'Observatoire Royal de Belgique participe à cette expérience ; pour plus de détails, voir ci-dessous.

**La caméra à haute résolution** (High Resolution Stereo Camera, **HRSC**) prend des images de Phobos en trois dimensions avec une résolution de 10 mètres. On en déduit entre autre des informations sur le volume de Phobos.

---

<sup>2</sup> Orbiteur : sonde spatiale qui étudie une planète ou un satellite en gravitant autour d'elle, par opposition à un atterrisseur qui va se déposer sur la surface.

**Le spectromètre à infrarouge (OMEGA) :** cet instrument permet d'établir une cartographie de la minéralogie de la surface de Phobos à partir de la mesure de la lumière solaire réfléchiée par Phobos dans différentes « couleurs » ou bandes spectrales. Il a déjà été établi que le spectre de la surface de Phobos est différent selon chaque hémisphère, suggérant que la composition des roches de surface varie d'un hémisphère de l'astéroïde à l'autre.

**L'instrument MARSIS** est un radar/altimètre. Il enverra des ondes vers Phobos qui peuvent pénétrer jusqu'à 5km de profondeur. Dès qu'une couche réfléchissante est atteinte, de la glace par exemple, les ondes sont réfléchies et les scientifiques peuvent déterminer à quelle profondeur cette couche se situe dans l'intérieur de Phobos.



*Antenne radio de poursuite des sondes spatiales depuis la Terre  
DSN (Deep Space Network)*

## Participation belge à la Mission Mars Express

L'Observatoire royal de Belgique (ORB) est impliqué dans le traitement des données de l'expérience de radio-science, MaRS (Mars Radio-Science experiment) afin d'améliorer la connaissance du champ de pesanteur de Mars, de son atmosphère et de son extérieur ainsi que la détermination précise de la masse des lunes de Mars, en particulier Phobos.

L'expérience de Radio Science de Mars Express utilise des signaux radio émis/reçus à des fréquences données entre l'orbiteur et la Terre. Les signaux émis de la Terre (à partir de stations précisément localisées) vers l'orbiteur sont réfléchis par un transpondeur<sup>3</sup> placé à bord de l'orbiteur. Ces signaux radio ont une fréquence légèrement différente lors de leur réception sur Terre. On mesure ces décalages de fréquence qui sont dus, mis à part l'effet du rapport de fréquences du transpondeur lui-même, au mouvement relatif entre l'orbiteur et la Terre, et qui correspondent à l'effet Doppler.

Les mesures obtenues sont utilisées pour reconstruire le mouvement de l'orbiteur autour de Mars et donc déduire la position exacte de la sonde spatiale dans l'espace. En reconstituant l'orbite de l'engin, les scientifiques de l'Observatoire royal de Belgique peuvent aussi déterminer le champ gravitationnel global, régional et local de la planète Mars, ainsi que ses variations temporelles.

Il sera alors possible de caractériser les variations saisonnières de la répartition des masses dans l'atmosphère et les calottes polaires. En effet, l'atmosphère de Mars est essentiellement constituée de CO<sub>2</sub> (environ 95%). Environ un quart de la masse totale de l'atmosphère se solidifie par condensation et se place au niveau des calottes polaires en hiver. Le phénomène inverse (le CO<sub>2</sub> redevient gazeux par sublimation) a lieu en été, ce qui donne naissance à un cycle saisonnier.

L'ORB utilise aussi les données de champ gravitationnel pour étudier la répartition des masses dans le sous-sol martien, les calottes polaires et la structure interne de Mars.

En outre, les changements de position de la sonde spatiale induits par les effets des marées donnent des informations sur l'intérieur de Mars. L'étude de la trajectoire de Phobos autour de Mars peut également fournir des informations précieuses sur l'intérieur de Mars car son orbite est influencée par les déformations à long terme de Mars et en particulier par les propriétés inélastiques/visqueuses de Mars.

L'équipe de l'ORB a récemment utilisé les données de plusieurs vols rapprochés de Phobos par la sonde spatiale MarsExpress. Les scientifiques de l'ORB ont pu déterminer la masse de Phobos avec une précision sans précédent et ceci leur permet de contraindre la structure interne. Ils démontrent par ce biais que Phobos est proche d'un « Rubble pile » avec un grand pourcentage de vide ou de glace à l'intérieur.

---

<sup>3</sup> Transpondeur : appareil qui reçoit un signal radio et le retransmet de manière cohérente sur des fréquences identiques ou différentes.

**Co-Investigators Belges de MaRS:** Prof. V. Dehant, Dr. P. Rosenblatt.

**Principal Investigator de MaRS:** Prof. M. Pätzold (Allemagne)

**Equipe scientifique belge:**

Prof. V. Dehant, Prof. T. Van Hoolst, Dr. M. Yseboodt

Des scientifiques contractuels sous contrat PRODEX accordé par le SPP Politique Scientifique Fédéral renforcent cette équipe : Dr. M. Beuthe, Dr. Ö. Karatekin, Eng. S. Le Maistre, Eng. M. Mitrovic, A. Rivoldini, Dr. P. Rosenblatt.

## **Les opportunités récentes**

Comme la mission pourrait se prolonger jusqu'en fin 2012., encore plus de données sur Mars et sa lune Phobos pourront être récoltées. En particulier, de nouveaux survols à des distances aussi proches que 45 km permettront de déterminer les variations de pesanteur à la surface de Phobos grâce à l'instrument de radio-science. La connaissance de ces variations permettra entre autre de mieux cerner comment les masses sont réparties à l'intérieur de Phobos, plus exactement la proportion exacte de vides et de glace à l'intérieur de ce corps. Ces données fourniront des indices supplémentaires qui étayeront davantage les connaissances sur l'origine et l'évolution orbitale de Phobos.

## **La mission Fobos-Grunt et YingHuo1**

Les Russes et le Chinois vont lancer en 2011 une mission dont la destination est Phobos. La sonde spatiale Russe permettra d'étudier les caractéristiques de cette lune et de ramener un échantillon de son sol sur Terre. La sonde spatiale Chinoise, un micro-satellite, permettra de faire du relai de télémétrie et se mettra en orbite autour de Mars pour faire ensuite des études de l'interaction entre l'atmosphère martienne et le vent solaire. La géométrie de l'orbite équatoriale de YingHuo1 permettra d'observer Phobos sur tous les angles et glanera un grand nombre d'observations.