# Mars Express: à la recherche de l'eau disparue



## **PHILIPPE JAMET**

Le 2 juin, Mars Express est parti en direction de la planète rouge, en profitant d'une « fenêtre » de tir exceptionnelle. En effet, dès début décembre, Mars Express devrait être opérationnel pour sonder le sous-sol martien, nouveau lieu privilégié d'investigations pour les scientifiques.

Son atterrisseur, Beagle 2, sera doté d'un formidable équipement pour détecter l'eau et la vie.

u même titre que son atmosphère et sa surface, le sous-sol de Mars est en train de devenir un lieu privilégié d'investigations pour les scientifiques. Ceux-ci en sont réduits, jusqu'à présent, à des hypothèses et, dans certains cas, à de fortes présomptions comme en ce qui concerne la présence d'eau dans le sous-sol martien. Certes, le milieu martien n'est pas *a priori* extrêmement favorable à la vie mais les sondes spatiales, comme les sondes américaines Mars Global Surveyor (qui a cessé son activité en 2002) et Mars Odyssey actuellement en orbite autour de la planète, nous laissent deviner qu'il n'en n'a pas été toujours ainsi. Il est en effet possible que, dans des époques lointaines, la vie a pu y apparaître et, dans ce cas, elle aurait pu se réfugier dans des écosystèmes dans le sous-sol, à l'image de celui de Movile en Roumanie où des organismes vivants se reproduisent en système clos depuis des millions d'années! D'autre part, les scientifiques font remarquer que, sur Terre, on a trouvé des organismes vivants dans des milieux extrêmes et dans des conditions très inhospitalières, renforçant ainsi l'hypothèse

selon laquelle les milieux hostiles de Mars pourraient receler des organismes primitifs comparables.

A cette question et à beaucoup d'autres va tenter de répondre toute une armada de sondes destinées à débarquer sur Mars (sondes américaines Mars Exploration rover A et B, atterrisseur Beagle 2 de la sonde Mars Express) ou se satelliser autour d'elle (sonde japonaise Nozomi, orbiter de Mars Express). Cette foisci, et malgré la difficulté de mise en œuvre des projets martiens du CNES auxquels il manque le fort soutien politique indispensable, les Européens ont pris le bon train grâce à Mars Express qui devrait partir en direction de la planète rouge le 2 juin, en profitant d'une « fenêtre » de tir exceptionnelle car, pour la période entre la fin mai et la mi-juin, la Terre et Mars seront très proches, une distance que l'on ne retrouve en moyenne que tous les vingt ans. Cela explique pourquoi Mars Express opérera dans le domaine martien dès le début décembre de cette année, après avoir utilisé la fameuse trajectoire de Hohmann qui réduit le temps de voyage en minimisant la consommation de carburant.

Seul bémol: ce qui suivra cette



mission, du point de vue européen, n'en n'est pas encore au stade des engagements fermes et n'apparaît pas clairement, en dépit du programme Aurora, ambitieux dans ses objectifs mais encore trop faiblement budgétisé et trop peu soutenu par les différents Etats européens. Il y a pourtant, dans les cartons de la société EADS, des projets Aérospatiale et Matra datant des années 90 relatifs à des véhicules automatiques planétaires (VAP) totalement autonomes et plus sophistiqués que les deux rovers américains martiens qui seront lancés au même moment que Mars Express. Pour la mise en œuvre de ces VAP européens et d'un projet dénommé Exomars, tout dépendra de l'accroissement des fonds prévus pour Aurora. Les compétences existent bel et bien, encore faut-il leur donner les moyens!

### Mars: un monde fascinant

Depuis longtemps, la planète a toujours marqué notre imaginaire comme si quelque chose de très profond dans la nature humaine nous suggérait que cet endroit recelait les réponses à un certain nombre de questions impossibles à résoudre en restant ad vitam aeternam dans notre milieu terrestre. Au premier rang de ces questions figure l'origine de la vie. Nous sommes en effet certains aujourd'hui que, dans un passé lointain, Mars a temporairement possédé un climat chaud et humide qui aurait pu être favorable à un démarrage de processus vitaux. Toutefois, les quelques faibles présomptions en ce qui concerne ce démarrage sont loin de faire l'unanimité chez les scientifiques : on trouve ainsi dans l'atmosphère de Mars du carbonyle de fer (sur Terre, les liaisons carbonyle, comme le carbonyle de plomb, constituent une marque de la présence de processus vitaux) et, en surface, des quantités anormales d'oxydes ferriques (comme Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) qui pourraient s'expliquer par la présence passée d'un processus d'oxygénation de l'atmosphère martienne. C'est similaire à ce qui s'est produit sur Terre avec les red beds qui sont la preuve de l'existence d'organismes ayant fabriqué de l'oxygène en grandes quantités. Sur Terre, ces organismes primitifs procaryotes (à cellules sans noyau) ont signé leur passage par des concrétions de gisements fossilifères dénommées « stromatolithes », découvertes au siècle dernier dans les montagnes rocheuses américaines par le géologue Walcott et, plus récemment, à North Pole en Australie (études effectuées par les Américains Awramik et Schopf avec les Australiens Groves, Dunlop et Buick).

Tout ceci pose en effet le problème de l'eau sur Mars qui a été abondante par le passé comme l'ont suggéré les étranges reliefs photographiés par les orbiteurs des deux sondes Viking (apparence de chenaux, de fleuves, de rivières et même d'un océan que les spécialistes ont surnommé Oceanus Borealis). Ce fait a été confirmé grâce aux vues prises par Mars Global Surveyor (lancée en 1997, la sonde a fonctionné jusqu'en février 2002) et, tout récemment, par la sonde américaine Mars Odyssey (lancée en octobre 2002 et doit opérer jusqu'en août 2004). Cette dernière vient de montrer de façon catégorique qu'il existe de grandes quantités d'eau sous forme de glace aux pôles Nord et Sud martiens, sous des couches de dioxyde de carbone gelé lequel, en s'évaporant dans l'atmosphère lors du printemps martien, déclenche de gigantesques tempêtes de sable. Grâce à ses instruments GRS et Themis, Mars Odyssey a prouvé la présence, dans le sous-sol de la planète rouge, de quantités appréciables d'eau sous forme de glaces et découvert des vallées fluviatiles non détectées auparavant. Ces vallées se seraient formées soit par les résurgences d'eau venue des profondeurs dans un contexte de phénomènes tectoniques ou d'impacts d'astéroïdes (cas également des cratères à éjectas lobés), soit par l'action de phénomènes pluviatiles ou de tempêtes de neige fondue à une époque où l'atmosphère de Mars était plus épaisse qu'aujourd'hui. En 2001, des spécialistes australiens avaient émis l'hypothèse selon laquelle les reliefs étranges de Mars, apparemment ravinés par les eaux, l'étaient en fait par des remontées de CO<sub>2</sub> liquide.

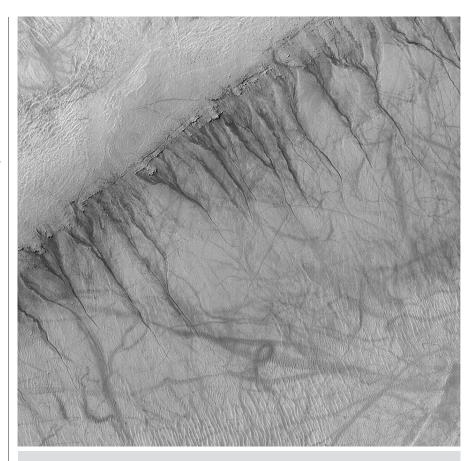
Grâce aux renseignements inestimables apportés par Mars Odyssey, il semble que cette hypothèse ne puisse être valable que pour un nombre minoritaire de chenaux éparpillés à divers endroits de la surface martienne. Pour la détection de cette eau, Mars Express, qui emporte avec elle le détecteur de vie anglais Beagle 2, sera encore mieux armée que Mars Odyssey et son orbiteur servira également de relais de télécommunication pour les deux Mars Rovers américains.

Lorsque l'on regarde les images martiennes prises par les sondes américaines, on ne peut manquer d'être fasciné par la curieuse topographie des reliefs et l'on suppose depuis longtemps que l'érosion hydraulique a joué un rôle considérable par le passé. Aujourd'hui, ce sont plutôt les vents martiens qui contribuent à façonner cet étrange paysage dont certaines masses rocheuses, ciselées par des impacts de sable, font vaguement penser à des pyramides. L'origine de ces vents martiens provient des spécificités de l'atmosphère (cycle du dioxyde de carbone) mais aussi des températures extrêmes de la planète dont les écarts, au moment des changements de cycles saisonniers, sont engendrés par une orbite martienne très elliptique et à excentricité relativement conséquente. Mars Global Surveyor et Mars Odyssey ont permis d'améliorer les observations précé-

dentes et de repérer à la surface de Mars toute une variété de paysages : certains spécifiquement martiens, d'autres présentant des analogies avec les paysages lunaires (zones de cratères d'impact, bassins circulaires des régions Hellas et Argyre).

Des analogies existent aussi avec la Terre comme les champs de dunes de la région Hellespontis, les réseaux de fleuves sinueux asséchés avec leurs affluents, les traces de lacs et peut-être d'anciennes mers, glaciers rocheux et eskers (rides sinueuses composées de sable et de gravier charriés par des cours d'eau) similaires à ceux que l'on trouve en Alaska. On trouve aussi des canyons du type de celui du Colorado et des coulées volcaniques ressemblant à leurs homologues terrestres. Toutefois, dans ces deux derniers cas, les phénomènes semblent se dérouler à une tout autre échelle que sur Terre, ce qui parait étonnant au regard de la taille de la planète puisque, avec un diamètre de 6 794 km, Mars est plus petite que notre planète (diamètre de 12 756 km)! Ainsi, le gigantesque canyon Valles Marineris est une monstrueuse cicatrice visible depuis l'espace à des millions de kilomètres de la planète et nombre de chenaux observés peuvent atteindre plusieurs centaines de kilomètres de long pour des largeurs cinq à six fois supérieure à celles des grands fleuves terrestres! En ce qui concerne les volcans, là encore Mars bat tous les records en matière de gigantisme avec les « Léviathans » des régions Amazoni et Tharsis situées dans l'hémisphère Nord de la planète, dépassant légèrement l'équateur sur une petite partie de l'hémisphère Sud. Situé un peu au nord-ouest des monts Tharsis, le volcan géant Olympus Mons s'élève à une altitude de plus de 23 km, ce qui en fait le plus grand volcan du système solaire.

La disproportion entre les structures géantes et la taille globale de la planète a amené les scientifiques à conclure que la croûte martienne, évaluée entre 40 et 50 km d'épaisseur contre 30 km à la Terre, serait constituée d'un seul bloc. De ce fait, les mouvements du magma interne agiraient violemment sous l'écorce, sans possibilité d'éjection ou de dégazage progressif. Il suffit alors que la pression et la température du magma interne deviennent



Photographie du bord d'un ancien cratère, situé dans un cratère plus grand baptisé « Kaiser », prise par la sonde Mars Global Surveyor en 2002. L'origine de certains chenaux, comme le pense le géophysicien français Battistini, vient peut-être des impacts météoritiques dans des parties de la planète où le sol contiendrait de l'eau à l'état liquide ou gelé.

trop forts pour que la carapace de la surface craque d'un coup avant de se refermer, laissant les cicatrices si caractéristiques de Mars. Une analyse méthodique des roches des régions volcaniques constituerait un bon indicateur de la composition interne de Mars. Il est également certain que ce phénomène si typiquement martien d'échange entre la carapace et le magma est à l'origine de remontées d'énormes quantités d'eau, lesquelles peuvent en partie expliquer le creusement des chenaux à la surface.

Il existe en effet bien d'autres possibilités que laissent deviner les travaux des deux dernières sondes américaines actuellement encore en orbite autour de la planète rouge. L'origine de certains chenaux, comme le pense le géophysicien français Battistini, vient peut-être des impacts météoritiques dans des parties de la planète où le sol contiendrait de l'eau à l'état liquide ou gelé. Les

glaces souterraines, en fondant, se seraient écoulées plus ou moins longtemps en créant une couronne de matériaux dénommés éjectas. Toutefois, il est frappant de constater que nombre de ces chenaux, qui semblent sortir de volcans ou de cratères météoritiques, présentent des analogies non seulement avec des phénomènes catastrophiques de remontées souterraines, mais aussi avec des bassins fluviaux terrestres parfaitement structurés comme l'ont souligné les planétologues français François Costard et Philippe Masson. Les découvertes effectuées par Mars Global Surveyor et Mars Odyssey renforcent la théorie de la nappe aquifère conçue par Nathalie Cabrol, qui travailla au DASOP de Meudon avant d'émigrer aux Etats-Unis. Néanmoins, d'autres chenaux, les plus anciens, n'ont pu être creusés que par des écoulements ayant bénéficié d'une certaine durée. Ceci semble être notamment le cas pour

Maja Vallis, Vedra Vallis et Kasei Vallis qui, photographiés en orbite, ressemblent à s'y méprendre à certains systèmes fluviatiles terrestres où des affluents se jettent dans un fleuve. Dans ces régions, l'examen des clichés tend à montrer que le « fleuve » a grossi au fur et à mesure de l'arrivée de nouveaux affluents et que les gorges creusées apparaissent de plus en plus impressionnantes au fur et à mesure de l'écoulement. Nous serions donc face à un phénomène d'érosion fluviatile sur une durée importante, commencé bien avant l'époque où se sont déroulés les phénomènes catastrophiques. Pour l'expliquer, il faudrait sans doute chercher du côté des conditions atmosphériques martiennes qui furent, dans le passé, bien différentes de ce qu'elles sont maintenant. A l'heure actuelle, la pression atmosphérique trop basse (6 à 7 millibars) ne permet pas la circulation en surface de l'eau à l'état liquide.

L'atmosphère martienne ellemême est extrêmement ténue et principalement composée de dioxyde de carbone (95,3 %), d'azote (2,7 %) ainsi que d'un peu de vapeur d'eau et de gaz lourds comme l'argon (1,6 %). En raison de sa faible masse en comparaison avec la Terre (l'accélération de la pesanteur martienne est de 376 cm/s contre 981 pour la Terre), Mars devait difficilement compenser par sa gravité le phénomène d'agitation thermique des molécules de ses gaz légers dans les hautes couches de son atmosphère. Il n'en demeure pas moins que pendant longtemps l'eau a pu trouver des conditions de température et de pression suffisantes pour circuler à l'état liquide à la surface de Mars. Il est même possible que notre planète sœur ait connu des phénomènes de pluie et de neige similaires à ceux que nous connaissons sur Terre.

Mais alors, comment expliquer ce changement de l'atmosphère mar-

On sait avec certitude maintenant qu'il existe de grandes quantités d'eau sous forme de glace aux pôles Nord et Sud martiens, sous des couches de dioxyde de carbone gelé lequel, en s'évaporant dans l'atmosphère lors du printemps martien, déclenche de gigantesques tempêtes de sable.

tienne? La réponse se trouve sans doute dans l'énorme dissymétrie qui existe entre les hémisphères Nord et Sud, de part et d'autre d'un cercle imaginaire incliné à environ 50° par rapport à l'équateur martien. Au Nord, les volcans, les vallées fluviatiles, les chenaux, les « lacs » et les grands canyons. Au Sud, un paysage quasi-lunaire bombardé de cratères d'impact. Cette dissymétrie nous laisse croire que l'axe de rotation de la planète sur elle-même aurait été plus incliné par le passé. Il apparaît alors clairement que chacun des deux pôles (comme ce qui se passe pour Uranus selon un cycle de 42 ans) bénéficiait alternativement de plus de 300 jours d'ensoleillement total ou partiel. Dans ce cas, des phénomènes réguliers de sublimation de la glace des pôles en vapeur auraient eu pour conséquence d'enclencher ce processus à intervalles saisonniers jusqu'au niveau des régions équatoriales. Ainsi, l'alternance des jours et des nuits martiens (presque identique à celle de la Terre à 41 minutes près en faveur de la planète rouge) aurait eu pour effet une condensation de cette vapeur d'eau en neige, étant donné que la planète Mars ne bénéficie que de 40 % de la densité de puissance transmise par l'énergie solaire par rapport à la Terre, à cause de son éloignement. De ce fait, Mars aurait bénéficié de tempêtes de neige régulières avec retombée de celle-ci sur le sol. Grâce aux nuages de neige, un effet de serre se serait produit, assurant les conditions de température et de pression indispensables à la circulation de l'eau liquide à sa surface.

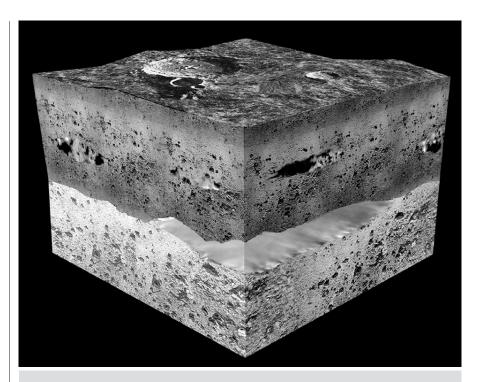
Un des objectifs de toutes les sondes martiennes est de démontrer, parallèlement aux recherches exobiologiques, si ce milieu humide et chaud a duré suffisamment longtemps pour que la chimie prébiotique originelle puisse déboucher sur une vie primitive ayant évolué à un certain niveau de complexité. Presque toutes les sondes (dont notamment les malheureuses sondes russes Phobos et Mars 96) étaient équipées de capteurs conçus pour les mesures du rapport deutériumhydrogène afin de comprendre pourquoi l'eau liquide a disparu à la surface de la planète. Toujours dans le cadre des programmes Phobos et Mars 96, des expériences de

conception russe et française utilisant des spectromètres infrarouges adaptés à la détection des objets froids devaient repérer des régions souterraines de pergélisol, là où une partie de cette eau a pu s'agglomérer sous forme de glace avec le matériau martien. Selon René Battistini, géophysicien à l'université de Nantes, il existerait sous la surface de Mars deux couches d'eau : une sous forme de glace qui, mêlée au matériau martien, constitue le pergélisol, et une couche plus profonde à l'état liquide que les spécialistes appellent « hydrolithosphère ». Toujours selon le même spécialiste, il y aurait des variations importantes de l'épaisseur de la couche séparant les deux zones: entre 1,5 et 1,7 km pour les zones géographiques situées autour de l'équateur martien, entre 3 et 4 km en dessous des calottes polaires où, en surface, la glace d'eau est recouverte par une couche de dioxyde de carbone gelé. René Battistini, rejoint sur ce point par des planétologues américains, pense qu'il existerait des échanges thermiques permanents entre les deux zones, entraînant des variations parfois importantes de leur épaisseur. Dans certains cas, l'accumulation d'énergie thermique interne pourrait localement faire remonter de petites fractions d'eau liquide à la surface, celle-ci s'évaporant immédiatement à cause des conditions atmosphériques actuelles caractérisées par une très basse pression.

# L'étonnante gestation du projet

En 1997, soit six ans avant l'emport vers l'espace de Mars Express par une fusée Soyouz-Fregat, il était vain de chercher la trace d'un quelconque projet martien européen. Tous les projets élaborés et à venir étaient américains, à l'exception d'une petite sonde japonaise et du projet russe Mars 01, abandonné pour des raisons financières et qui devait emporter avec lui des petits modules mobiles pour l'étude de la surface martienne.

Mars Express est née suite à l'échec du lancement de Mars 96, une sonde russe à large participation internationale et française. En effet,



Selon René Battistini, géophysicien à l'université de Nantes, il existerait sous la surface de Mars deux couches d'eau : une sous forme de glace qui, mêlée au matériau martien, constitue le pergélisol, et une couche plus profonde à l'état liquide que les spécialistes appellent « hydrolithosphère ».

les scientifiques européens, certes amers, avaient acquis des compétences considérables en matière de développement d'instruments scientifiques, ce qui permit d'éviter de trop lourds frais de recherche. Un autre facteur ayant aussi contribué à réduire les coûts fut la disposition d'une plate-forme en tous points identique à celle de la sonde cométaire Rosetta, dont le lancement a été repoussé à cause des problèmes que connaissent les fusées Ariane 5.

En matière de coûts, Mars Express a battu tous les records puisque son budget, en dépit de sa sophistication, ne dépasse pas 150 millions d'euros et, après la décision de principe prise en 1998, le Comité du programme scientifique de l'ESA (SPC) approuvait définitivement le projet à la suite de l'adoption par le Conseil réuni au niveau ministériel les 11 et 12 mai 1999 à Bruxelles du budget du programme scientifique pour les quatre prochaines années. A l'époque, Hans Balsiger, président du SPC et spécialiste reconnu de l'astronomie cométaire, déclara: « Mars Express est une mission de circonstance et nous avons estimé qu'il fallait foncer et la réaliser. Nous sommes convaincus qu'elle produira des résultats scientifiques de premier

nlan

Il ne faut toutefois pas oublier que l'ESA s'intéressait déjà à Mars bien avant Mars Express puisqu'un projet martien européen fut présenté par l'ESA à l'Unesco en 1992, en concurrence avec le programme de satellite gamma Integral. Ce projet s'appelait Mars Net et visait l'étude de la géophysique de l'intérieur de Mars, la géochimie et la minéralogie, l'étude des éléments volatils, la météorologie, l'étude du fer et des oxydes ferriques, la structure atmosphérique, l'exobiologie et les propriétés magnétiques. On ne s'étonnera pas de retrouver sur le module atterrisseur de Mars Express (Beagle 2) deux instruments similaires à Mars Net – un spectromètre AXS et un spectromètre Mossbaüer. Si l'ESA avait dû développer seule cette mission, elle n'aurait pu bien sûr contenir les coûts dans le cadre de ceux afférant à Mars Express. Il suffit de consulter la liste des expériences embarquées sur l'orbiteur de la sonde européenne pour retrouver la plupart des expériences qui étaient intégrées sur le module orbital de Mars 96. Cette redondance est particulièrement marquée pour ce qui concerne l'étude de la surface

et de l'atmosphère martiennes :

- caméra à haute résolution HRSC-WAOSS qui se caractérise par un système d'imagerie spectrale stéréo à haute et basse résolution;
- spectro-imageur Omega (Observatoire pour la minéralogie, l'eau, les glaces et l'activité) opérant dans le visible et l'infrarouge pour étudier la réflectivité de la lumière par les roches et tenter d'effectuer une cartographie minérale de la surface;
- spectromètre à infrarouge à transformée de Fourier PFS ;
- spectromètre Spicam pour l'investigation des caractéristiques de l'atmosphère de Mars.

Toujours sur l'orbiteur de Mars Express, on retrouve un autre instrument de la mission Mars 96, à savoir le spectromètre de masseénergie Aspera S qui possède également un analyseur-imageur de particules neutres. Aspera, dont la construction a été confiée à des scientifiques suédois, est ce que les scientifiques dénomment un ENA parfaitement armé pour mesurer les ions, les électrons et atomes neutres à haute énergie, là où se situe l'interaction entre le vent solaire et l'ionosphère martienne. Un des objectifs de cet appareil est de mesurer le taux d'évasion des atomes d'oxygène et d'hydrogène (constituants de la vapeur d'eau) provoqué par le bombardement intense du vent solaire. Ce flux de particules chargées est en grande partie responsable de cette évasion par agitation thermique des molécules que ne peut contribuer à retenir un champ magnétique très faible, équivalent à 2 % du champ magnétique terrestre, et n'offrant qu'une faible opposition au vent solaire qui, malgré sa distance par rapport au Soleil, reste encore ici intense. C'est pour cette raison que l'échappement des molécules de vapeur d'eau vers l'espace se fait sans obstacle.

L'orbiteur de Mars Express emporte aussi l'expérience de radioscience allemande MaRS (Mars Radio Science Experiment) qui fera appel au sous-système de télécommunications de Mars Express pour sonder l'atmosphère neutre et ionisée après occultation du Soleil et des étoiles. MaRS permettra en outre de déterminer les propriétés diélectriques de surface pour observer des anomalies de gravité.

Quant à Marsis (Mars Advanced



Beagle 2, l'atterrisseur de Marx Express.

Radar for Subsurface and Ionospheric Sounding), c'est un système de sondage par hyperfréquences conçu pour effectuer des investigations par échos sur la structure interne martienne jusqu'à quelques kilomètres de profondeur. Avec cette expérience, on espère pouvoir établir une carte de la répartition de l'eau liquide et gelée se trouvant dans le sous-sol de Mars.

Omega et Spicam, emportés par l'orbiteur de Mars Express, ont été placés sous responsabilité française, dont les investigateurs principaux sont respectivement Jean-Pierre Bibring (université d'Orsay) et Jean-Loup Bertaux (service d'aéronomie de Verrières-le-Buisson). Ces deux instruments ont été abondamment décrits par une brochure du CNES éditée avant le départ de la mission Mars 96. Omega a parmi ses nombreux objectifs scientifiques la réalisation d'une cartographie spectrale de la surface et de l'atmosphère de Mars dans le visible et le proche infrarouge (de 0,5 à 5,2 micromètres) avec une résolution spatiale kilométrique afin d'identifier les principaux constituants solides du sol et de l'atmosphère (aérosols). Il doit en particulier distinguer les différentes classes de silicates, les minéraux hydratés, les carbonates, les givres organiques, les glaces et en dresser les cartes de répartition à la surface de la planète. Omega a aussi pour objectif de déterminer l'abondance relative des constituants gazeux majeur (CO<sub>2</sub>) et mineurs (CO et H<sub>2</sub>O) de l'atmosphère, d'en suivre la

distribution spatiale et verticale et d'en mesurer les variations au long des saisons martiennes, d'étudier le cycle de l'eau et du gaz carbonique, par l'examen de l'évolution des calottes polaires, la composition des givres, la distribution en surface des minéraux hydratés et des roches carbonées. La découverte éventuelle de carbonates et l'identification de leurs sites de piégeage serait un élément fondamental dans la compréhension de l'évolution de la chimie organique, voire prébiotique de Mars. Toutes ces investigations devraient contribuer à retracer l'évolution de la planète Mars, des échelles de temps géologiques aux variations saisonnières. Pour ce qui concerne Spicam, qui opérera par la méthode des occultations grâce à un spectro-imageur stellaire et un spectromètre solaire, on espère obtenir une véritable cartographie de l'atmosphère de Mars, une étude de la stabilité de l'atmosphère, en particulier la persistance du gaz carbonique malgré sa décomposition permanente par la lumière ultraviolette ainsi que l'étude du couplage vapeur d'eau-ozone grâce au fonctionnement simultané des deux spectromètres.

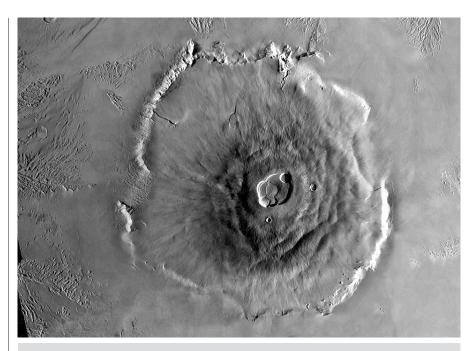
Toutes ces données serviront en outre pour l'utilisation du freinage aérodynamique des futures sondes martiennes, soit pour leur première mise en orbite (aérocapture), soit pour des modifications de l'orbite (aérofreinage) en évitant d'utiliser les ergols des moteurs de ces sondes.

₿

# Beagle 2 : un formidable équipement pour détecter l'eau et la vie

Cet atterrisseur emporté par Mars Express, conçu par une équipe britannique dirigée par Colin Pillinger, est en fait la seule véritable innovation du programme européen. A un certain moment, l'inquiétude régnait pour le délai de mise au point et de construction de Beagle 2, à cause de problèmes concernant ses parachutes et ses airbags. Finalement, les Britanniques ont pu assurer la livraison d'extrême justesse, à la date limite fixée au 15 janvier par l'ESA. Pour les Européens, ce module est une première car cet atterrisseur multi-objectifs comporte des instruments destinés à détecter des formes de vie primitive ou, tout au moins, des formes fossiles qui auraient pu vivre sur Mars il y a 3,8 milliards d'années, au même moment où apparaissait la vie sur Terre. Depuis cette époque, c'est un peu comme si Mars avait été mise au congélateur. Toutefois, au vu des photographies prises par des sondes orbitales, il s'est passé depuis beaucoup de choses sur la planète rouge comme ces multiples résurgences d'eau et de CO, liquide apparaissant çà et là sur les clichés. Pour ce qui concerne les volcans géants de la zone Amazoni Tharsis et Olympus Mons, la plupart des spécialistes assurent qu'ils sont éteints depuis des centaines de millions d'années, mais rien n'est moins sûr...

La distance de Mars au Soleil fait que la densité de puissance thermique transmise par l'énergie solaire au niveau de l'orbite de la planète rouge n'est que de 40 % de celle transmise au niveau de l'orbite terrestre. En conséquence, Beagle 2, pour lequel n'a pas été effectué le choix de générateurs radio-isotopiques, est doté d'un important système de cinq panneaux solaires, faisant appel aux dernières technologies, afin d'alimenter les batteries de l'atterrisseur et rendre opérationnels les instruments scientifiques, directement pendant le jour martien et indirectement pendant la nuit, grâce aux accumulateurs des batteries.



Le volcan géant Olympus Mons s'élève à une altitude de plus de 23 km, ce qui en fait le plus grand volcan du système solaire.

Dans un premier temps, les panneaux solaires seront déployés après l'atterrissage. Ensuite, un long bras robotique opérera pour creuser le sol martien. Ce bras supporte l'essentiel de la charge utile structurée sur un support appelé PAW (Payload Adjustable Workbench) que l'on peut aussi utiliser pour agir sur le fonctionnement des instruments. Etant donné la distance de Mars par rapport à la Terre, il sera impossible de donner des ordres en temps réel puisqu'il y aura un délai entre le temps où aura été donné un ordre depuis le centre de mission opérationnel de l'ESA et sa réception. Le PAW supporte une paire de caméras stéréo, un microscope, deux types de spectromètres (Mossbaüer et rayonnement X) et une torche pour illuminer la surface pendant la nuit martienne. Le PAW sert également d'habitat pour le Mole et le Corer-Grinder, deux dispositifs conçus pour collecter des roches et des échantillons du sol à des fins d'analyse.

Le bras robotique peut adopter un grand nombre de positions et d'orientations. De plus, ses capacités rotatives permettront aux deux caméras stéréo une vue panoramique complète du site d'atterrissage. Le rôle de ces caméras est important pour une utilisation optimale des autres instruments installés sur le bras robotique et destinés à sélectionner les échantillons de roches et de sol en tant que candidats potentiels pour des analyses ultérieures. Lorsqu'une roche appropriée et considérée comme intéressante a été choisie, le PAW va effectuer une rotation jusqu'à ce que le Core-Grinder soit en position de broyer cette roche ou bien de pénétrer sous la surface. Le PAW pourra ultérieurement se repositionner afin de permettre au microscope ou aux spectromètres d'analyser le matériau fraîchement exposé. Lorsqu'une roche apparaît particulièrement intéressante, un échantillon de celle-ci pourra être foré par le Corer-Grinder et être transféré dans l'instrument GAP (Gas Analysis Package), situé sur l'atterrisseur, par l'intermédiaire du bras robotique. Le même type d'opération pourra être effectué avec le Mole, placé lui aussi sur le PAW, et qui pourra aussi collecter des échantillons du sol et les transférer à l'intérieur du GAP.

De tous les instruments du PAW et de ses moyens d'investigation, c'est le GAP qui est le mieux à même de mener les opérations nécessaires à la détection d'une vie présente ou passée. L'instrument possède plusieurs fours dans lesquels des échantillons de roches ou de sol peuvent être chauffés graduellement en présence d'oxygène. Le dioxyde de carbone généré à chaque niveau de température est délivré à un spectromètre de masse qui va mesurer son abondance et le ratio carbone 12-carbone 13. Le spectromètre de masse peut également étudier d'autres éléments et même détecter la présence éventuelle de méthane dans l'atmosphère. La température à laquelle le dioxyde de carbone est généré révélera la nature du corps qui le recèle car les divers matériaux susceptibles de contenir ce dioxyde de carbone entrent en combustion chacun à une température différente.

Beagle 2 possède également des senseurs environnementaux. C'est en apparence la partie la moins noble de la mission mais qui est indispensable pour mesurer, autour de Beagle 2, tout un ensemble de paramètres de l'environnement martien à prendre en compte, comme la pression atmosphérique, la température de l'air, la vitesse et la direction des vents, les radiations UV, les retombées de poussières qui caractérisent la planète rouge, la densité et la pression des couches supérieures de l'atmosphère. Tout cela s'effectuera durant la descente de Beagle 2 par parachute jusqu'au moment de son atterrissage avec l'aide de trois airbags.

Deux caméras stéréo fourniront des images 3D des zones de terrain sur lesquelles opérera le bras robotique. Du fait que le PAW ne peut opérer en temps réel à partir des ordres donnés de la Terre, le modèle 3D est équipé d'un capteur et d'un système informatique permettant de guider les instruments au cours de leurs opérations d'approche des roches et du sol, tout en produisant

des informations sur les échantillons géologiques du site d'atterrissage.

Le microscope, quant à lui, va mettre en exergue des caractéristiques de quelques millièmes de millimètre à travers les échantillons exposés en surface à la suite des opérations du Core-Grinder. Mentionnons un autre élément important de Beagle 2 : le spectromètre Mossbaüer, basé sur le principe de l'utilisation de rayons gamma émis par des solides radioactifs permettant d'obtenir des raies extraordinairement fines (on doit cette découverte au physicien Rudolf Mossbaüer et qui lui vaudra le prix Nobel de physique en 1961). Ce spectromètre sera chargé d'étudier la composition minérale des roches en exposant celles-ci à des rayons gamma émis par une source isotopique (cobalt 57).

Le spectromètre à rayons X a pour objectif de mesurer la composition en éléments de roches au moyen du bombardement de celles-ci avec des rayons X émis par quatre sources radioactives (deux fer 55 et deux cadmium 109). Sous l'influence de ce bombardement, les roches émettent des rayons X à basse énergie caractéristiques et spécifiques à chaque élément présent. L'âge des roches est estimé en faisant appel aux propriétés que possède l'isotope potassium 40 dont la désintégration s'effectue en argon 40. Le spectromètre à rayons X mesurera le potassium tandis que le GAP mesurera l'argon piégé dans les roches.

Le Mole, enfin, est un instrument robotique qui peut ramper sur plusieurs mètres à la vitesse d'un centimètre toutes les six secondes. Il est

> **Exomars pour**rait être lancé vers Mars en 2009. Le concept consiste en un orbiteur d'où se détacherait un module de descente et un robot mobile. Celui-ci serait équipé d'un dispositif de forage et de prélèvement d'échantillons.

conçu pour creuser sous la surface et possède une cavité qui lui permettra de recueillir des échantillons. Par l'intermédiaire du PAW, le Mole peut être positionné pour creuser le sol verticalement sous la surface. Les essais effectués chez le constructeur montrent que ce système peut collecter des échantillons à 1.5 m sous la surface. Le Corer-Grinder, dont nous avons déjà parlé, consiste en un système de forets qu'il est possible de positionner en huit postures différentes et qui peut se mouvoir à la surface pour déplacer du matériau martien ou forer dans celui-ci pour examiner des échantillons anciens ou primitifs.

## **Conclusion**

Cette mission risque de rester longtemps la seule mission martienne européenne du fait du scandaleux traitement réservé au programme martien du CNES .Toutefois, la situation pourrait changer si Beagle 2 trouvait quelque chose d'étonnant et que le préprojet martien de l'ESA - Exomars (emportant le robot biologique Pasteur) – puisse être lancé vers la planète rouge en 2009. L'ESA, qui ne dispose pas encore des fonds nécessaires à une telle mission, vient ainsi de lancer un appel à idées auprès de la communauté scientifique. Le concept consiste en un orbiteur d'où se détacherait un module de descente et un robot mobile alimenté à l'énergie solaire. Celui-ci serait équipé d'un dispositif de forage et de prélèvement d'échantillons plus sophistiqué que celui de Beagle 2. Ce petit robot autonome pourra se consacrer pendant plusieurs mois à explorer des terrains inhospitaliers et à analyser le sol de certains sites susceptible d'avoir abrité des formes de vie martiennes primitives. Ce programme pourrait également intégrer les quatre Netlanders du CNES, seuls survivants de son programme Mars Premier. Il faut souhaiter que ceci soit mis en œuvre le plus tôt possible pour que l'Europe ne soit pas absente dans l'aventure martienne.

