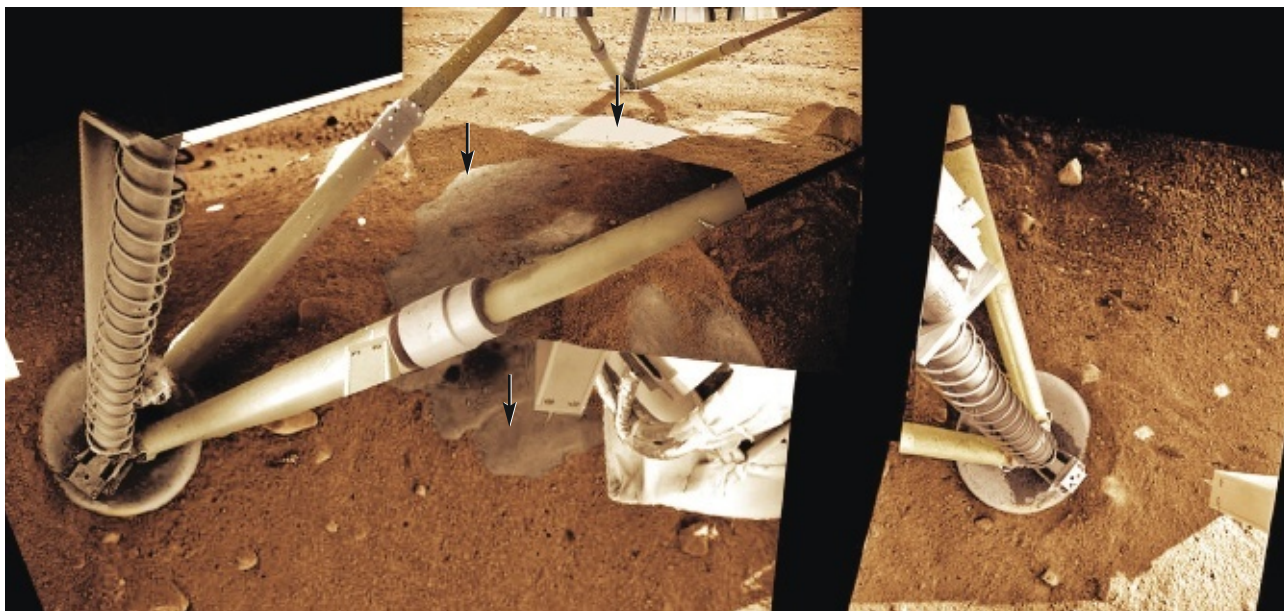




2. DES TACHES BLANCHES BRILLANTES (*flèches*) ont été mises en évidence sous la sonde *Phoenix* par le bras robotisé une semaine après l'atterrissage. Il s'agit sans doute de glace d'eau mise à nu quand les propulseurs de descente ont soufflé le sol.

Quand nous avons effectué des tests de largage dans le désert des Mojaves, le système a fait des erreurs graves d'estimation d'altitude et a perdu des données. Nous nous sommes tournés vers les concepteurs du radar, la Société *Honeywell*, mais ils n'ont pas pu nous aider, car ce modèle obsolète n'était plus fabriqué.

En combinant des simulations numériques et de nouveaux tests, l'équipe d'ingénieurs a lentement réparé une à une les anomalies. Un nouveau test, en octobre 2006, fut concluant. Tout semblait en ordre.

Mais nos espoirs furent de courte durée. Nous avons en effet découvert que des reflets sur le bouclier thermique lors du largage pouvaient induire en erreur le radar et entraîner une mauvaise estimation de l'altitude. Les antennes et les interrupteurs se sont eux aussi révélés potentiellement défectueux. Les ennuis semblaient sans fin. En février 2007, cinq mois avant l'intégration de la sonde au véhicule de lancement, nous avions 65 anomalies en cours d'analyse. La NASA s'inquiétait du fait que nous découvrions sans arrêt de nouvelles défaillances.

Cependant, la gravité des anomalies allait diminuant. En juin, nous avons réussi à convaincre les comités d'évaluation que les risques qui subsistaient étaient acceptables. C'était tout de même un pari. D'autres défauts nous avaient peut-être échappé.

En août 2007, nous avons terminé les derniers tests au Centre spatial Kennedy. Un violent orage lors de l'installa-

tion sur le lanceur causa une dernière frayeur, mais, par chance, la sonde ne subit aucun dégât, et le 4 août, de bonne heure, la fusée décolla sans encombre : *Phoenix* était enfin en route vers Mars.

Dix mois plus tard, les équipes d'ingénieurs du JPL et de *Lockheed Martin* préparaient les manœuvres d'atterrissage. *Mars Odyssey* et *Mars Reconnaissance Orbiter* avaient ajusté leurs orbites pour se trouver au-dessus de la zone de descente, afin de relayer les signaux de *Phoenix* (ils arrivaient sur Terre avec une quinzaine de minutes de décalage).

Un atterrissage périlleux

L'atterrissage sur Mars est beaucoup plus complexe que sur la Terre ou la Lune. La sonde doit passer par plusieurs étapes. Au départ, c'est un véhicule de croisière interplanétaire. En larguant l'étage de croisière, se profile un véhicule capable de supporter la chaleur dégagée par le frottement avec l'atmosphère, où il pénètre à près de 20 000 kilomètres par heure. Ralentissant à 1 500 kilomètres par heure, le véhicule d'entrée libère ensuite son parachute. Dans l'atmosphère ténue de Mars, le parachute peut au mieux abaisser la vitesse jusqu'à 150 kilomètres par heure, ce qui est encore beaucoup trop rapide pour se poser en douceur. Un kilomètre au-dessus du sol, l'atterrisseur se sépare du parachute et de la coque pro-

tectrice, et 12 propulseurs ralentissent sa chute jusqu'à une vitesse finale d'une dizaine de kilomètres par heure, tout en réduisant la vitesse transversale à moins d'un mètre par seconde, et en maintenant l'engin parallèle à la surface. Quand l'atterrisseur se pose à la surface, le choc est amorti par des « pieds » spécialement conçus. Enfin, la sonde doit déployer ses panneaux solaires et ses instruments et se préparer pour sa mission. Et tout cela en sept minutes...

Je retins mon souffle pendant la phase finale : nous avions tous à l'esprit les problèmes de radar et la perte de *Mars Polar Lander*. Mais après une interminable descente égrénée par le décompte de l'altitude, un signal arriva de la surface : *Phoenix* s'était posée sans heurts.

Deux heures après – le temps nécessaire pour que *Mars Odyssey* fasse le tour de Mars et repasse au-dessus de la zone d'atterrissage –, la sonde *Phoenix* envoyait la confirmation que ses panneaux solaires avaient bien été déployés, et ses premières images. Le premier aperçu de l'Arctique martien était magique. Des formes polygonales et de minuscules cailloux s'étendaient à perte de vue. Après six ans de préparation, la mission scientifique pouvait commencer.

Notre équipe de 35 chercheurs, 50 ingénieurs et 20 étudiants commença à travailler en continu. Deux équipes assuraient des demi-journées martiennes (soit 12 heures et 20 minutes). Nous nous sommes

ainsi lentement décalés par rapport aux journées terrestres !

La première surprise eut lieu avant même que le bras robotique ait creusé sa première tranchée. Pour vérifier la position du pied arrière, nous avons fait passer le bras sous la sonde, et la caméra a révélé que les propulseurs avaient soufflé la terre sèche sur environ cinq centimètres de profondeur, révélant des taches brillantes, faisant penser à de la glace (*voir la figure 2 ci-contre*) ! Le bras ne pouvait examiner cela de plus près, mais nos attentes vis-à-vis de la première excavation en sortaient renforcées.

Lorsqu'il a commencé à pelleter le sol, le bras robotisé a mis au jour une couche brillante. Des portions de cette couche ont disparu en trois ou quatre jours martiens (ou « sols »). Cela pouvait être de la glace d'eau qui se sublimait, ou de la glace de dioxyde de carbone. Cette dernière aurait cependant dû disparaître plus rapidement à la température ambiante de -30°C . L'instrument TEGA (*Thermal and Evolved-Gas Analyzer*, soit analyseur thermique de gaz évolué) a confirmé par la suite qu'il s'agissait bien de glace d'eau. C'était la première preuve directe de la présence de glace d'eau sur Mars.

La glace exposée suggérait que tout l'environnement de l'atterrisseur – et sans doute les régions polaires entières – n'était pas une plaine désertique sèche comme il y paraissait, mais un champ de glace d'épaisseur inconnue. Trois instruments d'analyse devaient permettre d'analyser cette glace : TEGA, constitué de huit petits fours reliés à un spectromètre de masse qui analyse la composition des gaz s'échappant des échantillons chauffés, WCL (*Wet Chemistry Lab*, ou laboratoire de chimie aqueuse), qui mélange un échantillon du sol avec de l'eau venant de la Terre, puis analyse les ions en solution ; et enfin un microscope.

La priorité était d'étudier la chimie du sol à la recherche des traces d'eau liquide, sans parler de nutriments et autres sources d'énergie disponibles pour d'éventuels micro-organismes. Nous avons aussi tenté d'identifier la stratification du sol jusqu'à l'interface glace-roche. Le bras devait recueillir des échantillons et les placer dans les orifices d'analyse sur le pont de la sonde. En principe, c'est aussi simple que de mettre du sable dans un seau avec une petite pelle ; mais en pratique, manipuler le bras robot à 300 millions de

kilomètres est un vrai défi. Au centre des opérations, à Tucson, dans l'Arizona, un banc d'essai avec une réplique du bras robotisé, des caméras et des ouvertures destinées à accueillir les échantillons nous aidait à préparer les manœuvres. Nous testions toutes les instructions avant de les envoyer sur Mars. Il restait cependant deux aspects que nous ne pouvions pas reproduire : le vent et les propriétés du sol martien.

Tenus en échec par des mottes collantes

Le sol de Mars semblait former une croûte, contrairement aux sols meubles de l'Arizona. Résultat, la pelle du bras robotisé se remplissait de mottes collantes. Or les écrans destinés à empêcher des cailloux d'entrer dans les orifices d'analyse se révélaient aussi très efficaces pour bloquer les mottes ! Le bras a réussi à poser son premier échantillon sur l'ouverture de l'instrument TEGA, mais pas un seul grain n'est descendu jusqu'au four. L'instrument était

L'AUTEUR



Peter SMITH est professeur de planétologie à l'Université d'Arizona, aux États-Unis. Il a notamment travaillé sur les missions robotisées *Mars Reconnaissance Orbiter*, *Sojourner*, *Spirit* et *Opportunity*. Il a reçu la médaille ESAM (médaille de réussite scientifique exceptionnelle) de la NASA.



3. LA COQUE DE PROTECTION DE MARS SCIENCE LABORATORY, lancé le 26 novembre dernier, comporte un bouclier de rentrée atmosphérique plus grand que ceux des capsules *Apollo*.

Des astronautes microscopiques

Des roches extraterrestres ont-elles ensemencé la vie sur la Terre ? Pour tester cette idée, des micro-organismes s'apprêtent à faire un aller-retour vers Mars.

Est-il possible que la vie sur Terre vienne de... Mars ? Depuis une vingtaine d'années, cette idée est sortie des livres de science-fiction pour devenir une hypothèse scientifique. On estime qu'une tonne de météorites d'origine martienne tombe chaque année sur Terre. Des micro-organismes auraient pu être transportés par ce biais.

Les impacts qui ont arraché ces roches à la planète rouge sont des événements violents, mais des expériences montrent que certaines espèces peuvent y survivre. En rentrant dans l'atmosphère terrestre, ces roches ne sont chauffées par le frottement que sur une épaisseur de quelques millimètres.

Outre le décollage et l'atterrissage, des micro-organismes survivraient-ils au voyage entre la Terre et Mars, dans le vide glacial de l'espace ? La plupart des météorites martiennes mettent des milliers ou des millions d'années pour rallier la Terre, mais environ une sur dix millions fait le trajet en environ un an. Un micro-organisme peut-il survivre aussi longtemps ?

La sonde *Phobos-Grunt*, lancée le 9 novembre 2011 par l'Agence spatiale russe, devait apporter la réponse. Malheureusement, peu après le lancement, le contact avec la sonde a été perdu. Cependant, à l'heure où ces lignes sont écrites, un premier contact a été rétabli, qui laisse espérer que la mission pourra être sauvée.

L'objectif principal de la mission *Phobos-Grunt* est de se poser sur Phobos, le satellite de Mars, d'y collecter une pelletée de sol et de la ramener sur Terre. Mais la sonde embarque aussi l'expérience LIFE (*Living Interplanetary Flight Experiment*), un échantillon de sol du désert du Neguev, en Israël, qui contient divers micro-organismes. Autour de cet échantillon placé dans un récipient, 30 tubes renferment 10 espèces qui représentent les trois domaines du vivant : les bactéries, les archées et les eucaryotes. Cinq de

ces espèces ont déjà participé à un vol avec l'ultime mission de la navette spatiale *Endeavour* en mai dernier. Présentons les espèces retenues.

Les bactéries

Deinococcus radiodurans survit à d'énormes doses de rayonnements. Au vu des *D. radiodurans* qui ont fait le voyage sur *Endeavour*, je suis presque sûr que leurs cousins survivront au voyage aller-retour vers Phobos. En comparant la robustesse d'individus génétiquement différents, nous espérons mieux comprendre comment ces organismes tolèrent les rayonnements, le dessèchement et le froid extrême.

Alors que *D. radiodurans* tolère l'irradiation sans changer de structure, d'autres bactéries se retranchent dans des coques durcies nommées endospores. L'expérience LIFE en inclut deux. *Bacillus subtilis* est depuis longtemps utilisé comme espèce test dans les vols spatiaux. Il a été démontré que ses endospores, recouvertes d'une mince couche de poussière qui les protège du rayonnement ultraviolet du Soleil, peuvent survivre jusqu'à six ans dans l'espace. Dans l'espace interplanétaire, cependant, le rayonnement le plus dangereux est celui des particules chargées.

L'autre bacille, *B. safensis*, a été découvert il y a dix ans dans le complexe d'assemblage des vaisseaux au Laboratoire JPL de la NASA. Après stérilisation de la sonde *Mars Odyssey* pour éviter de contaminer la planète rouge avec des organismes terrestres, les prélèvements de contrôle ont révélé une espèce qui avait survécu.

Les archées

Les archées ressemblent aux bactéries, mais avec un métabolisme plus proche de celui des eucaryotes. *Methanothermobacter wolfeii* a été choisie non pas parce qu'elle est particulièrement résistante, mais parce qu'elle produit du méthane. L'atmosphère martienne contient des traces de ce gaz, et certains chercheurs ont suggéré qu'il proviendrait d'organismes apparentés à *M. wolfeii*.

Nous avons inclus *Haloarcula marismortui* pour une raison similaire. Native de la mer Morte, elle aime le sel, ce qui est sans doute une nécessité pour les éventuels organismes martiens. Pour ne pas geler, l'eau martienne doit en effet être saumâtre. De fait, une météorite martienne, Nakhla, présente des signes d'immersion dans l'eau salée.

Prospérant dans des sédiments océaniques chauffés par des volcans, *Pyrococcus furiosus* n'est pas supposé ressembler à un organisme martien, mais nous l'avons

inclus comme « témoin ». Si les micro-organismes ne survivent pas, nous devons savoir si c'est dû au stress de l'environnement spatial ou à l'échauffement de la rentrée dans l'atmosphère. Si *P. furiosus* est le seul survivant, nous pourrions retenir cette option.

Les eucaryotes

Les eucaryotes sont les organismes dont les cellules ont un noyau, comme les nôtres. Il est peu probable que de telles cellules proviennent de Mars, mais nous voulons savoir s'ils auraient pu survivre au voyage. Une des espèces retenues est la levure *Saccharomyces cerevisiae*.

De minuscules animaux et végétaux seront eux aussi du voyage. Les tardigrades sont des invertébrés d'environ 1,5 millimètre de long dotés de pattes crochues. Ils sont très résistants aux rayonnements, aux températures extrêmes, et même au vide spatial. Parmi les végétaux, on trouve des graines d'*Arabidopsis thaliana*, un vétéran de l'espace : elle a voyagé deux fois à bord des missions *Apollo*.

Si la capsule *Grunt* parvient finalement à partir vers Mars et à revenir en 2014, nous saurons enfin si la vie peut faire des sauts de puce de planète en planète.

David WARMFLASH,
Directeur scientifique
du projet *Phobos-LIFE*



Le tardigrade, animal d'environ 1,5 millimètre de long, est le plus complexe des organismes destinés à faire l'aller-retour vers Mars à bord de la sonde *Phobos-Grunt*.

Photo Researchers, Inc.