

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 végétal 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.

équipé d'un dispositif pour faire vibrer l'écran de protection, mais il a fallu quatre jours martiens pour tamiser assez de matériau. Pendant ce temps, toute l'eau éventuelle s'était sublimée. D'autres échantillons ont raté leur entrée dans les ouvertures en raison des vents violents qui balayaient la sonde. Avec le temps, cependant, nous avons apprivoisé le vent et la texture du sol, et nous avons réussi à analyser des échantillons prélevés à différents endroits et profondeurs.

Pendant ce temps, les détecteurs atmosphériques accumulaient des données météorologiques. Un lidar (un radar laser) fourni par l'Agence spatiale canadienne nous a permis de mesurer la poussière atmosphérique, ainsi que la profondeur optique du brouillard au sol et la hauteur des nuages de glace d'eau. *Phoenix* a également enregistré la température de surface et la pression. Nous avons ainsi cartographié l'environnement du haut de la couche de glace jusqu'au sommet de la troposphère (la première couche de l'atmosphère, où se déroulent la plupart des phénomènes météorologiques), pendant que les sondes en orbite cernaient le contexte général de la région.

Un sol assez bon pour des asperges

L'une des grandes surprises a été la découverte de carbonate de calcium (à une concentration de cinq pour cent) et de perchlorate (à 0,5 pour cent) dans le sol. Ces composés ont une grande importance dans la recherche de traces de vie.

Le carbonate de calcium se forme lorsque le dioxyde de carbone atmosphérique se dissout dans de l'eau liquide et forme de l'acide carbonique. L'acide réagit avec le calcium présent dans le sol pour former du carbonate, un minéral très répandu sur Terre, et plus connu sous le nom de calcaire ou de craie. L'instrument WCL a mesuré un pH de 7,7, légèrement alcalin et très proche de celui des océans terrestres, où se forme aussi du carbonate de calcium.

Les planétologues traquent les carbonates sur Mars depuis des décennies. La multitude de canyons, de structures de type fluvial et d'anciens fonds lacustres ne laissent presque aucun doute : Mars était jadis une planète humide. Cela suggère que l'atmosphère était autrefois beaucoup plus épaisse. Tout le dioxyde de carbone est forcément allé quelque part,

et le réservoir naturel est le carbonate de calcium. *Phoenix* a fourni les premières preuves que ce dernier entre effectivement dans la composition du sol martien. Les satellites ont depuis repéré des affleurements isolés de carbonate de calcium, bien que d'autres types de carbonates semblent plus répandus.

Le carbonate de calcium apporte des preuves supplémentaires que le site d'atterrissage de *Phoenix* a été humide dans un passé récent, il y a moins de deux milliards d'années. Cela pourrait également expliquer pourquoi le sol formait une croûte : ce minéral peut constituer un ciment.

Le sol alcalin du site d'atterrissage de *Phoenix* est assez différent de ce que les autres atterrisseurs ont observé. Avec un peu plus d'eau et d'atmosphère, vous pourriez y faire pousser des asperges (elles aiment les sols alcalins). À l'inverse, le rover *Opportunity* avait traversé des sols anciens acides, riches en sulfates. Ces derniers traduisent un régime chimique différent et hostile à la vie.

Quant au perchlorate, on le trouve sur Terre sous forme de perchlorate d'ammonium, qui sert d'oxydant dans les moteurs de fusée à propergols solides. Le perchlorate rend l'eau impropre à la consommation à des concentrations supérieures à 25 parties par milliard. Mais ce qui est un poison pour nous est une manne pour les micro-organismes. Des processus naturels peuvent créer du perchlorate en petite quantité, et il peut s'accumuler dans les déserts arides puisqu'il n'est pas lessivé comme ailleurs. Dans le désert d'Atacama au Chili, il ne pleut qu'une fois par décennie, et le perchlorate peut s'accumuler. Les bactéries survivent en utilisant les perchlorates et les nitrates comme sources d'énergie. Pourrait-il en être de même sur Mars ?

Les modèles climatiques globaux de Mars les plus récents, mis au point par François Forget, de l'Institut Pierre Simon Laplace, à Paris, et ses collègues, intègrent la dynamique orbitale de Mars et les fortes oscillations de l'obliquité (l'angle entre le plan orbital et l'axe de rotation, actuellement de 25 degrés). Ils ont permis d'estimer l'évolution du climat au cours des dix derniers millions d'années. L'intensité du chauffage solaire aux pôles varie de façon spectaculaire entre les périodes froides (comme aujourd'hui) et les longs épisodes chauds. Quand l'obliquité est grande, les températures polaires grimpent

✓ BIBLIOGRAPHIE

A. Kessler, *Martian Summer : Robot Arms, Cowboy Spacemen, and My 90 days with the Phoenix Mars Mission*, Pegasus, 2011.

C. R. Stoker *et al.*, *Habitability of the Phoenix landing site*, *Journal of Geophysical Research*, vol. 115, article E00E20, 16 juin 2010.

P. H. Smith *et al.*, *H₂O at the Phoenix landing site*, *Science*, vol. 325, pp. 58-61, 3 juillet 2009.

N. Horowitz, *Premières expériences martiennes*, *Dossier Pour la Science* n° 60, juillet-septembre 2008. http://bit.ly/doss_60_viking

S. Atreya, *Le méthane, signe de vie sur Mars et Titan ?*, *Pour la Science* n° 356, juin 2007. http://bit.ly/356_mars_titan

J. Bell, *Mars : un passé humide*, *Pour la Science* n° 352, février 2007. http://bit.ly/352_mars

✓ SUR LE WEB

Site de la NASA consacré aux missions martiennes : <http://marsprogram.jpl.nasa.gov/>

Site du projet Phobos LIFE : www.planetary.org/programs/projects/life/design.html

Page du site de l'ESA consacrée à la mission *Exomars* : <http://exploration.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=118>