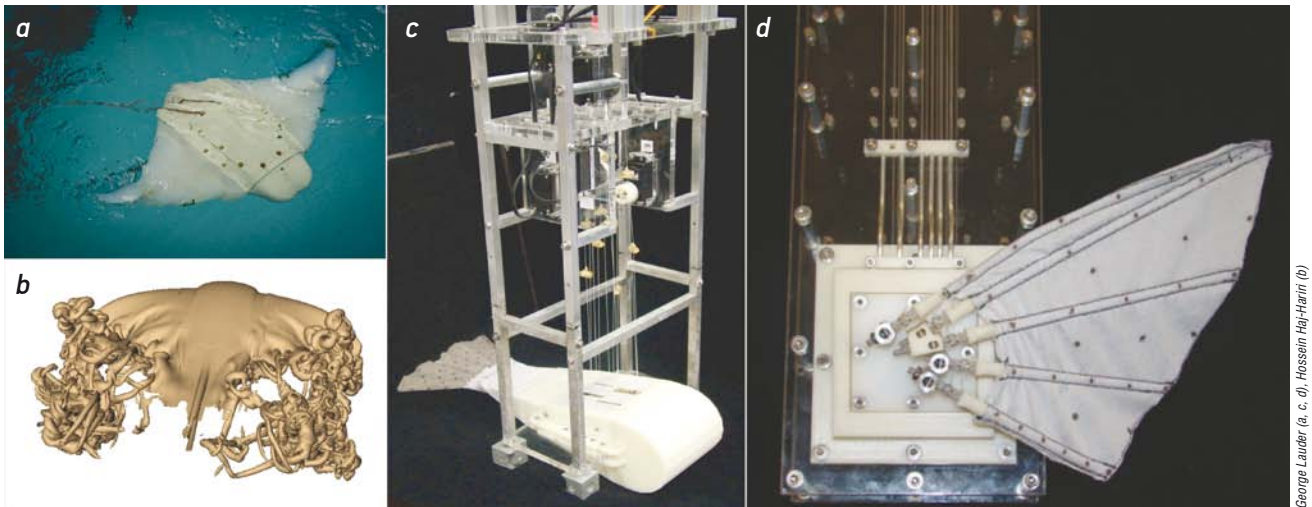




George Lauder (a, c, d), Hossein Haj-Hariri (b)

LES ROBOTS NAGEURS IMITENT LES ANIMAUX NAGEURS en modifiant l'écoulement dans leur voisinage. Les grandes nageoires pectorales du *Mantabot* (a) engendrent un écoulement compliqué reproduit par une

simulation numérique (b). Des dispositifs automatiques d'immersion et de mesure sont employés pour étudier les écoulements créés par des organes natatoires pour robots biomimétiques (c, d).

d'un travail asynchrone des nageoires permet alors d'augmenter encore la quantité de mouvement transmise à l'eau propulsée vers l'aval.

Au contraire du crapet arlequin, les Embiotocidés, des poissons perciformes typiques de la côte Nord-Ouest de l'Amérique du Nord, sont capables d'utiliser leurs nageoires pectorales sur une large gamme de vitesses sans avoir recours à d'autres nageoires. Quand ces poissons accélèrent, le battement de leurs nageoires pectorales se réoriente vers l'arrière, ce qui y dirige les anneaux tourbillonnaires pectoraux et engendre une poussée.

Un rôle dans le brassage des eaux océaniques

Grâce aux techniques modernes de visualisation et à l'hydrodynamique numérique, les biologistes comprennent de mieux en mieux les écoulements autour des animaux nageurs. La façon dont ces derniers s'adaptent physiquement au milieu aquatique peut être analysée sous les angles fonctionnel, écologique et évolutionniste.

Ces progrès nourrissent aussi des questions plus globales : ainsi, J. Dabiri et Kakani Katija Young, de l'Institut océanographique de Woods Hole dans le Massachusetts, ont proposé que les écoulements créés par des myriades de nageurs jouent un rôle dans le brassage des eaux océaniques. Les mouvements incessants des animaux

seraient l'un des mécanismes de transport vertical de l'énergie au sein des océans, qui faciliterait en particulier le transport des nutriments. La nage des organismes marins serait donc à prendre en compte pour comprendre plus avant le changement climatique.

Nos recherches se poursuivent : actuellement, nous étudions la façon dont le crapet arlequin contrôle l'écoulement qui l'entoure à l'aide de nageoires oscillantes flexibles ; une technique que pratiquent aussi à leur manière les raies manta et pastenague. Nous voudrions en tirer une locomotion améliorée pour véhicules sous-marins autonomes, qui rende plus économes, plus manœuvrables et plus rapides ces robots très utilisés par les océanographes (voir la figure ci-dessus).

Comme les animaux aquatiques, les véhicules sous-marins autonomes doivent séjourner longtemps dans un milieu fluide 800 fois plus dense et 60 fois plus visqueux que l'air. Compte tenu de nos observations, nous avons toutes les raisons de croire que les véhicules sous-marins autonomes du futur seront équipés de nageoires oscillantes flexibles. L'ingénierie nous a fourni des techniques élaborées de visualisation des écoulements, qui nous permettent de dévoiler les astuces par lesquelles les animaux aquatiques tirent profit de leur environnement liquide. En retour, ces informations biologiques aident à mettre au point des robots nageurs plus perfectionnés. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

L. Wen et al., *Biomimetic shark skin : Design, fabrication and hydrodynamic function*, *The Journal of Experimental Biology*, vol. 17, pp. 1656-1666, 2014.

N. Lanotte et S. Lem, *La physique de la natation*, *Pour la Science* n° 426, avril 2013.

J. Oeffner et G. V. Lauder, *The hydrodynamic function of shark skin and two biomimetic applications*, *Journal of Experimental Biology*, vol. 215, pp. 785-795, 2012.

C. Esposito et al., *A robotic fish caudal fin : Effects of stiffness and motor program on locomotor performance*, *Journal of Experimental Biology*, vol. 215, pp. 56-67, 2012.

G. V. Lauder et E. G. Drucker, *Forces, fishes, and fluids : Hydrodynamic mechanisms of aquatic locomotion*, *News in Physiological Sciences*, vol. 17, pp. 235-240, 2002.

Comment trouver LA VIE SUR

L'ESSENTIEL

■ Depuis le programme *Viking* des années 1970, aucune mission spatiale n'a consisté à rechercher spécifiquement de la vie sur Mars. Et ce programme n'a pas révélé de traces de vie concluantes.

■ Des tests utilisés sur Terre pour identifier des biomolécules sont adaptables pour des missions martiennes.

■ Ces tests pourraient être intégrés à des missions martiennes prévues dans quelques années.

NASA/JPL-CALTECH

Christopher McKay et Victor Parro García

L'eau a coulé sur Mars, mais cela a-t-il suffi pour que la vie s'y développe ? Une nouvelle génération d'instruments, capables de détecter les traces les plus infimes de vie, permettra bientôt de répondre à cette question.

Depuis que les premières sondes se sont posées sur Mars il y a près de quatre décennies, les astronomes ont beaucoup appris sur la planète rouge. Nous savons que de l'eau liquide a coulé autrefois à sa surface, et que la Terre et Mars se ressemblaient beaucoup dans leur jeunesse. Quand la vie est apparue sur Terre, il y a quelque 3,5 milliards d'années, Mars était plus chaude qu'aujourd'hui et

présentait des océans d'eau liquide, un champ magnétique actif et une atmosphère plus épaisse. Étant donné la ressemblance entre les deux planètes, les étapes qui ont conduit à la vie sur Terre se sont peut-être aussi déroulées sur Mars.

Des formes de vie microscopiques existaient peut-être même encore aujourd'hui sur la planète rouge. Cependant, toutes les missions d'exploration de notre voisine

LE CRATÈRE GALE

(au centre sur cette vue de Mars, reconnaissable à la montagne située à l'intérieur) a autrefois contenu de l'eau liquide. Au début de 2014, le rover *Curiosity* y a détecté des traces de molécules organiques.

MARS

depuis 35 ans ont porté sur sa géologie, et non sur sa biologie. Seules les sondes *Viking 1* et *2*, arrivées sur Mars en 1976, ont effectué la première (et à ce jour la seule) recherche de vie sur une autre planète.

Chacune de ces deux sondes a effectué quatre expériences, mais les chercheurs n'ont pas pu conclure sur la présence de vie martienne à partir des différents résultats, parfois contradictoires. Les missions *Viking* nous ont apporté plus d'énigmes que de réponses. Nous savons aujourd'hui que les méthodes expérimentales de *Viking* n'auraient pas trouvé la vie sur Mars même si les sondes l'avaient rencontrée. La question de la vie sur cette planète reste ouverte.

Dans les décennies suivantes, les microbiologistes ont développé une panoplie d'outils pour détecter des micro-organismes. Ces outils sont maintenant banals sur Terre. Mais si on les installait sur l'une des missions bientôt en partance vers Mars,

ils pourraient devenir déterminants : ils révéleraient enfin si cette planète a hébergé ou héberge encore de la vie.

Avant d'envisager le futur, revenons sur les missions *Viking* : pourquoi ont-elles donné des réponses ambiguës ? Les dispositifs mis en œuvre correspondaient aux techniques de l'époque. Dans l'expérience initiale, l'atterrisseur a recueilli une poignée de sol martien et y a ajouté des composés organiques pour nourrir les éventuels micro-organismes présents dans l'échantillon. Si des microbes étaient présents dans le sol, ils consommeraient la nourriture et libéreraient du dioxyde de carbone.

Et effectivement, les missions *Viking* ont détecté une telle émission. Ce test semblait donc indiquer que des micro-organismes étaient présents dans le sol martien. Mais à la lumière des autres expériences réalisées par les missions *Viking*, un doute subsistait.

La deuxième expérience recherchait des signes de photosynthèse, mais elle n'a pas livré de résultats clairs. Une troisième expérience consistait à ajouter de l'eau dans un échantillon de sol.

Si la vie était présente, le sol humide aurait pu produire du dioxyde de carbone. Au lieu de cela, il a produit de l'oxygène. C'était très étrange, parce que sur Terre, aucun sol ne se comporte ainsi. Les scientifiques en ont conclu que cet oxygène provenait d'une réaction chimique qui restait à identifier.

Dans la dernière expérience, les sondes ont recherché dans le sol des substances organiques, des composés contenant du carbone qui constituent les briques de la vie telle que nous la connaissons sur Terre. Si la vie existe sur Mars, ces composés devraient s'y trouver. Cependant, la présence de composés organiques ne constitue pas à elle seule une preuve absolue de vie. Les météorites contiennent des composés organiques qui ne sont pas d'origine biologique et qu'ils déposent sur la planète quand ils s'écrasent à sa surface. Pourtant, pas la moindre trace de substances organiques n'a été trouvée.

Réunies, ces données ont laissé les chercheurs perplexes. La plupart des scientifiques pensaient que les résultats des deux dernières expériences étaient due à des réactions chimiques. De telles réactions avaient pu détruire les composés organiques. En revanche, la chimie ne pouvait pas expliquer la libération de dioxyde de carbone. Quelques spécialistes de Mars ont alors affirmé que la première expérience avait en fait trouvé des traces de vie. Mais tous les autres en ont conclu que Mars était stérile.

En 2008, 32 ans après *Viking*, la solution à ces énigmes a commencé à émerger quand l'atterrisseur *Phoenix* de la Nasa s'est posé dans la région du pôle Nord de Mars. À la surprise générale, *Phoenix* a détecté du perchlorate, une molécule rare sur Terre qui comporte quatre atomes d'oxygène liés à un ion chlore, le tout relié à un ion magnésium ou calcium. Quand les sels de perchlorate atteignent 350 °C, ils se

décomposent en libérant de l'oxygène et du chlore. Les perchlorates sont tellement réactifs qu'ils sont utilisés par l'industrie dans de nombreux propergols (produits

de propulsion de fusées).

Avec cette découverte, de nombreux chercheurs ont compris que les expériences des sondes *Viking* ne pouvaient pas détecter les traces de vie sur Mars. L'expérience de recherche organique de *Viking* commençait en effet par chauffer l'échantillon de sol à 500 °C, de façon à vaporiser les

de nourriture au sol s'était accompagné d'une émission de dioxyde de carbone. Or le perchlorate produit des composés apparentés à l'eau de Javel quand il est exposé à des rayons cosmiques. Ces substances décomposent les molécules organiques (telles celles apportées par les sondes) et produisent du dioxyde de carbone.

Dans la troisième expérience, de l'oxygène a émergé du sol humide. La réaction de production de l'eau de Javel forme aussi de l'oxygène, mais cet oxygène reste piégé dans le sol. Il n'est libéré que plus tard, quand le sol est mouillé, comme cela était le cas dans une des expériences de *Viking*. Deux énigmes résolues.

Ainsi, les méthodes utilisées n'étaient pas adaptées aux conditions martiennes.

Les deux sondes *Viking* ont plus posé d'énigmes qu'apporté de réponses.



AUTREFOIS LAC D'EAU DOUCE, LE CRATÈRE GALE
a peut-être abrité la vie. Le successeur du rover *Curiosity* sera capable d'effectuer des expériences qui détermineront s'il y subsiste des traces de vie.

éventuelles molécules organiques et à les détecter sous forme gazeuse. Ce chauffage aurait décomposé les sels de perchlorate. Les réactifs auraient alors détruit et effacé toute trace de vie dans le four de la sonde. En 2010, l'équipe dirigée par Rafael Navarro-González, de l'Université nationale autonome du Mexique, et dont l'un de nous (Ch. McKay) faisait partie a testé ce scénario et a conclu que le perchlorate avait détruit tout composé carboné du sol dans le processus de chauffage.

Le perchlorate dissipe également le mystère de la première et de la troisième expérience. Dans la première, l'apport

Pour autant, tout espoir n'est pas perdu de découvrir de la vie. Depuis qu'il s'est posé en mars 2012, le rover *Curiosity* prélève des échantillons de sol martien. En début d'année, l'équipe de l'instrument SAM (*Sample Analysis at Mars*, Analyse d'échantillons sur Mars), dirigée par Paul Mahaffy du Centre de vol spatial Goddard de la Nasa et dont fait partie Ch. McKay, a rapporté que l'expérience a trouvé des composés carbonés dans d'anciens sédiments au fond du cratère Gale, même en présence de perchlorate. Il existe donc bien des substances organiques sur Mars – *Viking* n'a simplement pas su les trouver.

Pourrait-il en être de même pour la vie ? Depuis la construction des atterrisseurs *Viking*, les techniques utilisées en microbiologie ont connu des avancées spectaculaires. Les missions *Viking* utilisaient des méthodes reposant sur la culture de micro-organismes dans des boîtes de Petri. Mais ces techniques ne sont plus considérées comme pertinentes, et nous savons maintenant que seule une petite fraction des micro-organismes du sol peut être mise en culture.

Approches modernes

Les scientifiques ont développé des approches beaucoup plus sensibles qui détectent directement les biomolécules des formes de vie microbiennes. Ces nou-

■ LES AUTEURS



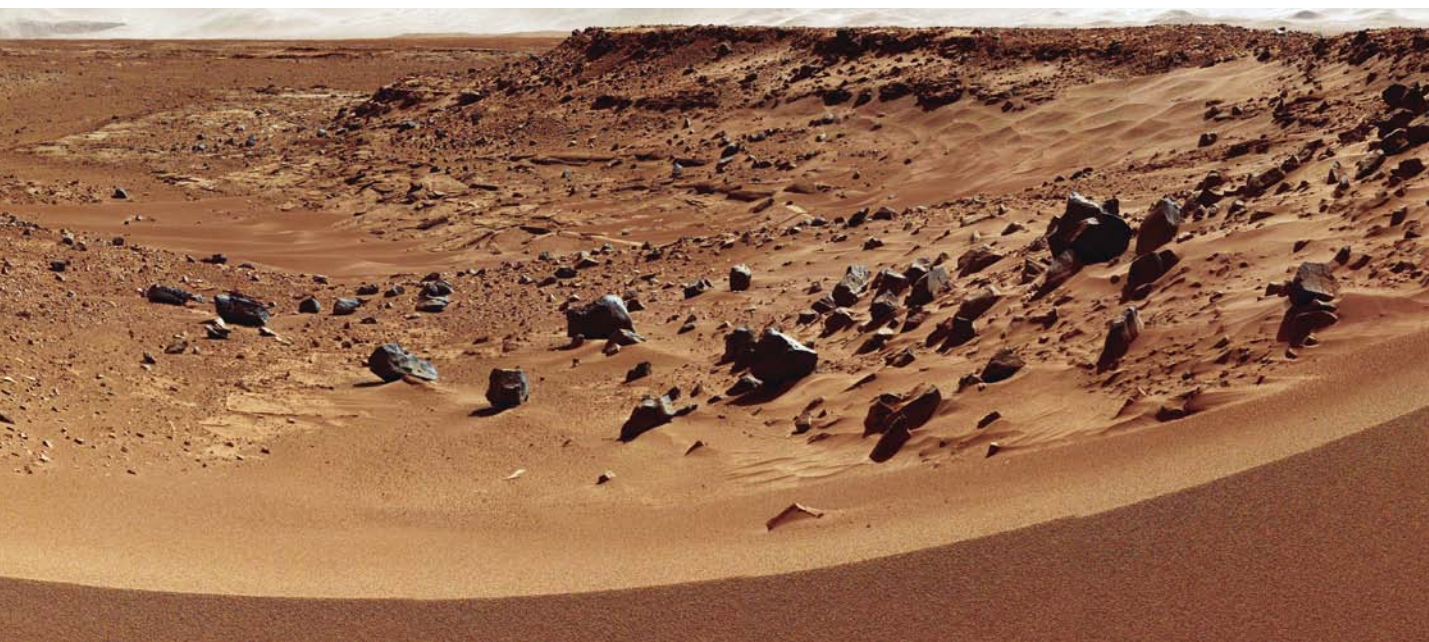
Christopher McKay
est chercheur au Centre
de recherche Ames de la Nasa,
en Californie.



Victor PARRO GARCÍA
est chercheur au Centre
espagnol d'astrobiologie,
à Madrid.

la Terre, il se peut que cela ne soit pas le cas avec la vie extraterrestre. Ou s'il est présent, il pourrait être tellement différent que les détecteurs conçus sur la base de la biologie terrestre ne le décèleraient pas.

Il est néanmoins possible de détecter la vie sous d'autres formes qui pourraient être présentes sur Mars. Parmi ces marqueurs biologiques, notons en particulier les protéines et les polysaccharides. Les protéines sont de longues chaînes linéaires composées d'acides aminés, dont il existe dans le monde vivant 20 types. Des acides aminés sont présents dans les météorites, et il est vraisemblable qu'ils aient été un élément commun à l'environnement prébiotique de toutes les planètes. Les polysaccharides sont de longues chaînes de sucres construites par des enzymes (des



NASA/JPL-CALTECH, MALIN SPACE SCIENCE SYSTEMS

velles méthodes seraient plus efficaces pour rechercher la vie sur Mars.

La méthode la plus connue repose sur la détection et le séquençage de l'ADN. Il n'est plus nécessaire de mettre un organisme en culture afin qu'il se réplique suffisamment et fournisse assez d'ADN pour effectuer le séquençage. Plusieurs équipes travaillent à l'intégration des techniques d'extraction de l'ADN dans des instruments adaptés aux prochaines missions martiennes.

L'un des inconvénients de la détection de l'ADN pour mettre en évidence la vie sur Mars est que même si l'ADN est présent chez tous les organismes vivants de

catalyseurs biologiques), qui sont elles-mêmes des protéines.

La détection de molécules aussi complexes qu'une protéine ou un polysaccharide serait très convaincante comme trace de vie au sens large (définie comme un système biologique qui encode de l'information et utilise cette information pour construire des molécules complexes). Ces molécules complexes se démarqueraient facilement au milieu de simples molécules prébiotiques.

L'un d'entre nous (V. Parro García) développe un instrument visant à détecter ces molécules complexes sur Mars. Cet instrument repose sur une technique de

dosage immunologique déjà utilisée pour détecter en même temps des centaines de protéines différentes, polysaccharides et autres biomolécules (dont l'ADN).

Les tests de dosage immunologique utilisent des anticorps (des protéines en forme de Y) qui se lient à des biomolécules (voir l'encadré ci-dessous). On verse une solution de l'échantillon à tester sur un large assortiment d'anticorps, conçus chacun pour se lier à une cible spécifique. Si la solution contient une molécule qui se lie à un anticorps du réseau, l'anticorps la capture et, en s'y liant, l'identifie.

L'un des grands atouts des dosages immunologiques est que les anticorps peuvent détecter des molécules plus petites et moins complexes que des protéines entières. Ces tests rechercheront des molécules en rapport avec la vie, mais de moindre complexité, telles que des fragments de protéines cassées. Trouver ces morceaux serait suffisant pour conclure que la vie existe sur Mars.

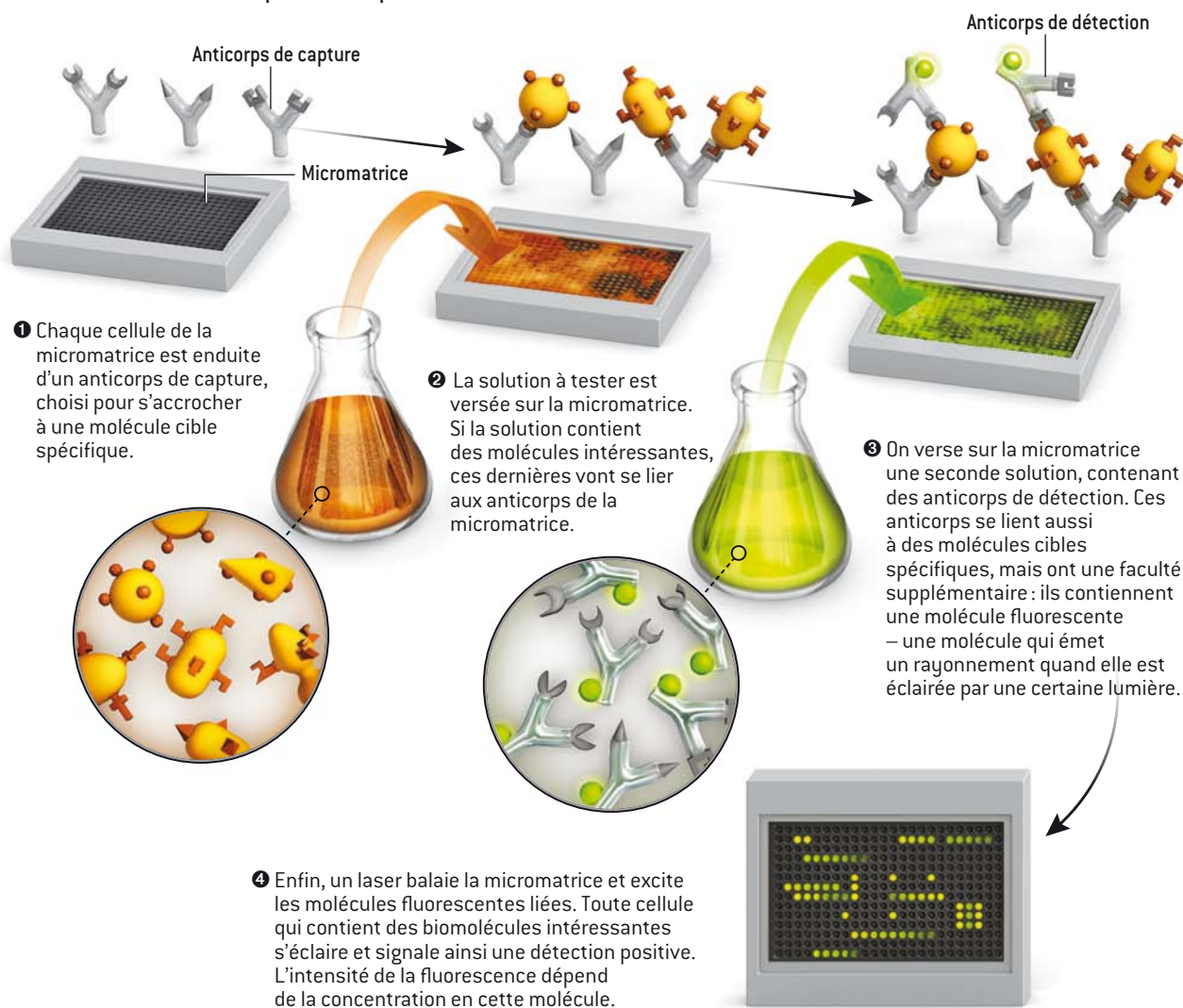
On estime que l'ensemble des organismes terrestres totalise environ dix millions de protéines différentes. Avec un tel choix, comment sélectionner les quelques centaines que l'on pourrait rechercher avec

un seul test de dosage immunologique ? La réponse courte est que nous ne savons pas vraiment. Mais nous pouvons faire quelques hypothèses.

Tout d'abord, nous pourrions rechercher des protéines utiles ou essentielles à la vie sur Mars. Par exemple, des enzymes qui consomment du perchlorate, des enzymes adaptées au froid qui permettraient à un micro-organisme de survivre aux températures glaciales de Mars, ou des enzymes qui réparent les dégâts causés sur l'ADN par le rayonnement ionisant, intense sur Mars. Et, par ailleurs, nous pourrions

LE DÉTECTEUR DE PROTÉINES MARTIENNES

Les tests de dosage immunologique utilisent la propriété de « Velcro » des anticorps (des protéines en Y du système immunitaire) pour piéger des molécules de façon spécifique. Un unique test de dosage immunologique peut identifier des centaines de molécules biologiques (telles que les protéines), de même que des fragments de molécules. Ces tests sont en cours d'optimisation pour la détection de traces de vie sur Mars.



Emily Cooper

cibler des molécules omniprésentes dans le monde microbien, tel le peptidoglycane, un composant universel de toutes les parois bactériennes, ou l'adénosine triphosphate (ATP), qui fournit à toutes les formes de vie sur Terre l'énergie chimique nécessaire au métabolisme.

Même si l'environnement hostile de Mars a détruit les grosses molécules telles que l'ADN et les protéines, il serait néanmoins possible de trouver des traces de vie dans les débris. Par exemple en étudiant leurs conformations. De nombreuses molécules sont chimiquement équivalentes, mais présentent une « chiralité » opposée (leurs liaisons peuvent être orientées vers la droite ou vers la gauche). La vie sur Terre est dominée par les acides aminés lévogyres (ils font tourner le plan de polarisation de la lumière vers la gauche). Si une expérience trouve un ensemble particulier d'acides aminés de chiralité dominante droite ou gauche, cela serait une preuve convaincante de la présence de vie sur Mars. En outre, si nous découvrons que les formes de vie sur Mars présentent surtout des acides aminés dextrogyres (de chiralité opposée aux lévogyres), cela indiquerait que la vie sur les deux planètes s'est développée de façon indépendante.

Les missions de demain

Un appareil qui rechercherait la vie sur Mars serait équipé de plusieurs instruments : un détecteur d'ADN, une micromatrice pour dosage immunologique et un dispositif de détection et caractérisation des acides aminés, par exemple. La technologie est presque prête.

La tâche suivante est de sélectionner un site martien où d'éventuelles traces biologiques seraient préservées. La glace et le sel sont propices, car ils protègent les marqueurs biologiques des dégradations et de la désintégration. Les basses températures de Mars font que les altérations thermiques sont négligeables, même à une échelle de temps comparable à l'âge de la planète. En revanche, le rayonnement ionisant pourrait détruire, en quelques milliards d'années, les marqueurs biologiques se trouvant à moins d'un mètre de la surface.

Les cibles prometteuses sont donc les zones glacées qui ont pu abriter récemment la vie, tel le site d'atterrissage de *Phoenix* près du pôle Nord de Mars, ou des sites où l'érosion a récemment mis à nu le matériau



LE ROVER CURIOSITY a été conçu pour étudier la géologie et le climat martien. Il a effectué des forages, ce que fera aussi son successeur, mais pour chercher des traces de vie.

NASA/JPL-CALTECH, MALIN SPACE SCIENCE SYSTEMS

■ BIBLIOGRAPHIE

A. McEwen, *Une planète façonnée par l'eau*, Dossier Pour la Science, n° 84, juillet-septembre 2014.

C. McKay et al., *The Icebreaker life mission to Mars: a search for biomolecular evidence for life*, *Astrobiology*, vol. 13, n° 4, pp. 334-353, 2013.

P. Smith, *On a creusé sur Mars*, *Pour la Science*, n° 411, janvier 2012.

J. Bell, *Mars : un passé humide*, *Pour la Science*, n° 352, février 2007.

ancien. Dans un cas comme dans l'autre, il faudra creuser pour extraire des échantillons à plus d'un mètre sous la surface.

Les futures missions martiennes seront équipées pour rechercher de telles traces de vie. La mission européenne *ExoMars*, prévue pour 2018, emportera une foreuse. Et le projet *Mars 2020* de la Nasa prévoit un rover similaire à *Curiosity* (voir la figure ci-dessus), mais équipé d'autres instruments. Ces missions consisteront à explorer les régions équatoriales sèches de Mars à la recherche de marqueurs biologiques dans les sels et les dépôts de sédiments (voir l'article de Sylvestre Maurice et Michel Viso page 60).

Quant aux pôles, aucun rover ne peut s'y aventurer, mais la Nasa étudie la possibilité d'envoyer un atterrisseur bon marché nommé *Icebreaker*. Équipé d'une foreuse d'un mètre et d'un instrument de dosage immunologique, il pourrait sonder le sol gelé boréal, riche en eau, de Mars.

Les dernières décennies de recherche n'ont laissé aucun doute : de l'eau liquide a autrefois coulé sur Mars. Il est maintenant temps de voir si cette planète a abrité des organismes vivants et si l'Univers offre aussi bien une diversité de corps célestes que de formes de vie. ■

CAP SUR MARS

avec *ExoMars* et *Mars2020*

Sylvestre Maurice et Michel Viso

Les missions martiennes les plus récentes ont montré que Mars a été une planète habitable. Prochain objectif : la recherche de traces d'une vie passée ou encore présente.

Au cours des dernières années, *Spirit*, *Opportunity* et *Curiosity*, des véhicules télécommandés – ou rovers – ont sillonné la surface de Mars. Leurs instruments ont montré que de l'eau liquide avait coulé sur Mars. Cette eau était riche en éléments nécessaires pour la chimie organique. Les chercheurs ont conclu que dans le passé, il y a plus de trois milliards d'années, certaines régions de Mars ont été – par moments – habitables. Pour autant, la vie s'y est-elle développée ? Les exobiologistes préparent de nouvelles missions pour rechercher des traces éventuelles d'une vie passée ou actuelle sur Mars.

Quelles sont les stratégies adoptées par les agences spatiales et sous quelles formes les exobiologistes cherchent-ils les traces de vie ? Les signes directs (molécules chimiques complexes, acides nucléiques) sont les plus univoques (voir l'article de Ch. McKay et V. Parro García, page 54), mais ces marqueurs sont difficiles à découvrir, sauf si la vie est encore présente et abondante. Les signes indirects sont des modifications de l'environnement par d'éventuels micro-organismes martiens. Ces signes seraient conservés par les roches pendant des millions, voire des milliards, d'années. Les régions de Mars les plus propices à héberger des traces d'une vie éventuelle sont celles où, par exemple, de l'eau a longtemps stagné.

MARS 2020

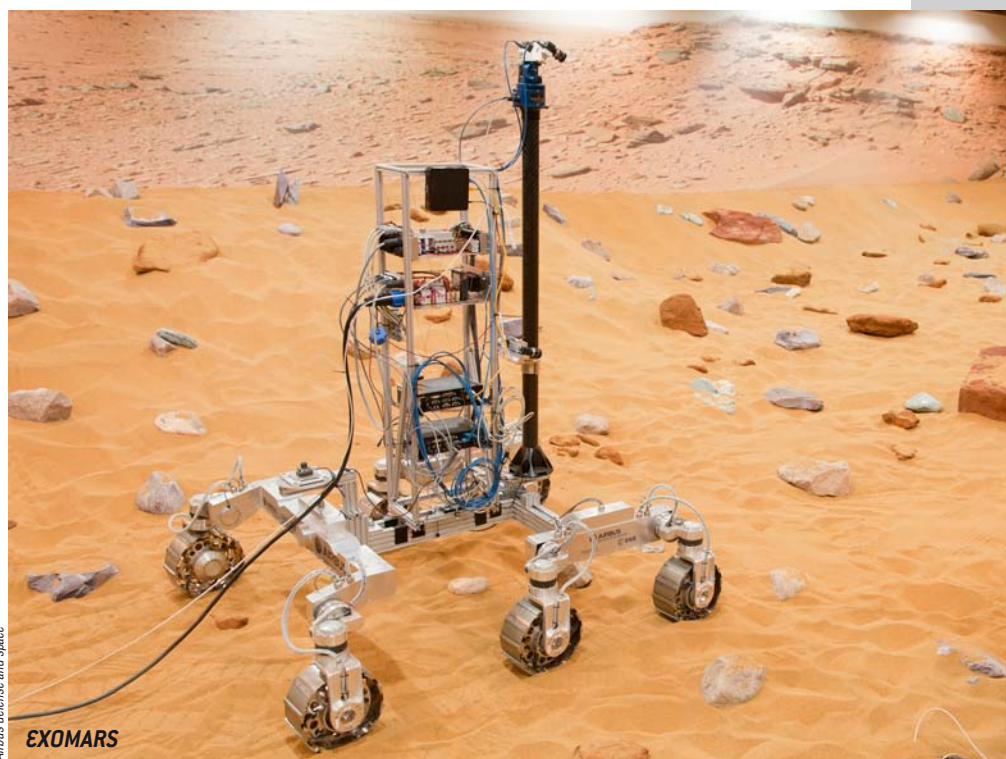


L'Agence spatiale européenne et les équipes scientifiques étudient ainsi, à partir des données des sondes en orbite *Mars Express* et MRO, quatre sites d'atterrissage potentiels pour le rover de la mission *ExoMars 2018*. Ce programme mené en coopération avec la Russie est constitué de deux phases. La première partie, *ExoMars 2016*, comprend un satellite équipé de spectromètres pour étudier les gaz de l'atmosphère. Le satellite servira aussi de relais de télécommunication entre la Terre et les véhicules opérant sur la surface martienne. La mission emportera aussi la plateforme *Schiaparelli* qui servira de dispositif d'atterrissage test pour éprouver la technique qui sera employée lors de l'atterrissage du rover de la mission *ExoMars 2018*.

Le véhicule européen (à droite, la motorisation des roues est testée sur un sol analogue à certaines régions martiennes) transportera huit instruments européens et un instrument russe qui chercheront et analyseront des échantillons susceptibles de contenir des traces d'une activité chimique prébiotique passée ou d'une vie éventuelle. Les images du panorama en haute définition de la caméra *PanCam* et une analyse de la minéralogie par le spectromètre infrarouge russe ISEM serviront à déterminer les endroits les plus prometteurs à explorer.

Durant les déplacements du véhicule, le détecteur ADRON enregistrera le flux de neutrons qui signe la présence d'hydrogène, donc éventuellement d'eau, jusqu'à une profondeur de un mètre. Un radar de sondage WISDOM explorera les premiers mètres du sous-sol et une foreuse prélèvera des échantillons jusqu'à deux mètres de profondeur. La colonne de forage sera analysée par le spectromètre infrarouge *MaMiss*. Le microscope CLUPI examinera la poussière de forage et les échantillons prélevés.

Ces derniers seront déposés dans une broyeuse et la poudre sera analysée par le spectromètre imageur *MicrOmega* et le spectromètre Raman RLS qui identifieront les minéraux et détecteront les traces de matière organique. Si l'échantillon est intéressant, il sera alors analysé par le système MOMA combinant la chromatographie gazeuse, pour séparer et concentrer les molécules organiques, et un spectromètre de masse, pour les identifier. Cet instrument, fruit d'une coopération entre l'Europe et les États-Unis, est considéré comme le premier système susceptible de mettre en évidence les molécules organiques complexes et de



Airbus défense and space

EXOMARS

masse importante qui pourraient être la signature d'une vie passée ou actuelle.

La Nasa, avec *Mars2020*, opte pour un dispositif maintenant éprouvé. Le véhicule sera presque identique à *Curiosity* (à gauche, vue d'artiste de l'atterrissage du rover) à l'exception des roues. Celles de *Curiosity*, en aluminium, ont été endommagées par des

Radars, spectromètres, chromatographes, etc. : les rovers martiens embarqueront de nombreux instruments d'analyse.

rochers martiens plus vulnérants que prévu.

À bord de *Mars2020*, les instruments observeront (caméra *MastCamZ*) et analyseront les roches dans l'environnement du véhicule à différentes longueurs d'onde (*SuperCam*, *Sherloc*, *PIXL*). Le radar *RAMFIX* explorera les premiers mètres du sous-sol pendant les déplacements du véhicule. Ces instruments sont nouveaux ou plus performants que ceux de *Curiosity*. Ils fourniront des données chimiques, minéralogiques et environnementales nécessaires pour préciser les conditions d'habitabilité et détecter la présence éventuelle de composés organiques. Par ailleurs, les prélèvements intéressants de roche seront placés dans

des tubes étanches, eux-mêmes enfermés dans un conteneur qui pourra être récupéré lors d'une mission ultérieure et rapporté sur Terre. En matière d'analyse, rien ne vaut la variété et les performances des instruments des laboratoires... terrestres!

Cette mission prépare aussi l'avenir de l'exploration martienne. *Mars2020* embarque l'expérience *MOXIE* qui testera une technique d'extraction du dioxygène à partir du gaz carbonique martien, en vue de futures missions habitées.

Dans les prochaines années, il faudra interpréter les données des missions martiennes à venir qui incluent d'autres projets américains (*Maven*, *Insight*) ainsi que des missions indiennes ou chinoises. Elles produiront des données complémentaires qu'il faudra replacer dans leur contexte environnemental et géologique. Cette tâche est délicate, mais les exobiologistes espèrent que *ExoMars* et *Mars2020* apporteront, à elles deux, des éléments essentiels pour répondre à la question de l'émergence éventuelle d'une vie sur Mars. ■

Sylvestre MAURICE est astrophysicien et planétologue à l'IRAP (CNRS/Université Paul Sabatier, Toulouse).

Michel VISO est responsable de la thématique exobiologie au Centre national d'études spatiales (Cnes), à Paris.

Stephen Hawking

le mythe du génie solitaire

Hélène Mialet

Chercheur brillant mais lourdement paralysé, le théoricien britannique est, contrairement à l'image qu'on se plaît à donner de lui, l'antithèse du savant solitaire armé de la seule puissance de son cerveau.

Stephen Hawking est l'un des rares scientifiques actuels ayant acquis une renommée internationale au sein du grand public. Célèbre pour ses travaux sur les singularités dans l'espace-temps et les trous noirs, cet astrophysicien théoricien britannique, aujourd'hui âgé de 73 ans, a aussi marqué les esprits par sa condition physique. Lourdement paralysé par la maladie de Charcot (sclérose latérale amyotrophique) qui l'a atteint dès les années 1960, Hawking ne peut ni bouger ni parler ; il communique grâce à un dispositif lui permettant de sélectionner des mots sur un écran par une légère contraction de la joue et un rayon infrarouge attaché à ses lunettes, mots prononcés ensuite par un synthétiseur vocal. Et pourtant, il poursuit son activité scientifique.

Ces deux aspects de sa personne, son talent scientifique et son lourd handicap physique, ont en partie contribué à faire de Hawking une icône. Une icône encore renforcée par le film *Une merveilleuse histoire du temps*, de James Marsh, qui sort ces jours-ci sur les écrans (voir l'illustration page 66).

Le 8 janvier 2013, le jour de l'anniversaire de Hawking, j'ai publié un article dans le magazine en ligne *Wired* afin de parler de

cet astrophysicien d'une façon nouvelle, en soulignant le rôle crucial joué par son entourage humain et matériel. L'article plut dans un premier temps, mais cela ne dura pas longtemps. Le tabloïd anglais *Daily Mail* s'en empara, l'interpréta de travers et me transforma en un monstre attaquant un héros national, qui plus est un homme profondément handicapé. L'article du *Daily Mail* devint viral. Je fus extrêmement choquée par la réaction que suscita mon texte, par la malhonnêteté des journalistes, mais aussi par ce qu'Internet, de par son anonymat, permet : j'ai reçu des courriels d'une violence et d'une cruauté inouïes.

J'avais touché, semble-t-il, une corde sensible. J'avais touché à un mythe de notre modernité, si bien incarné par Hawking : l'idée qu'un homme seul, aujourd'hui incapable de bouger et de parler, puisse atteindre les lois ultimes de l'Univers grâce à la seule force de son entendement. La science est souvent représentée comme étant le produit d'un puissant cerveau ou d'un pur et bel esprit ; or en montrant que, contrairement à l'idée reçue, Hawking n'est pas un pur cerveau, mais qu'il dépend d'un réseau complexe composé de machines et d'humains lui permettant de penser, j'avais

L'ESSENTIEL

- Stephen Hawking est un brillant théoricien en astrophysique et en cosmologie.
- Il souffre depuis les années 1960 d'une maladie qui le prive de ses mouvements et de la parole.
- Il communique avec son entourage grâce à des machines, et ne peut poursuivre ses recherches qu'avec l'aide de ses étudiants et collègues.
- Cette dépendance souligne le caractère collectif de l'activité de Hawking et, par extension, celle de tout scientifique.

© Michael Reynolds/epaCorbis