

Quelle vie sur Mars?

La présence de vie sur Mars a toujours suscité des débats passionnés, de Percival Lowell qui y voyait des canaux aux scientifiques de la NASA qui jouent sur la corde «vie extraterrestre» pour obtenir des crédits du Congrès des États-Unis. Mars est une planète riche en eau : en surface et jusqu'à quelques kilomètres de profondeur, cette eau est aujourd'hui exclusivement sous forme de glace ou de vapeur. Des formations géologiques montrent que de l'eau liquide coulait, voire stagnait (dans des mers et dans des lacs), à la surface de Mars jusqu'il y a 3,5 milliards d'années. Le climat martien, s'est ensuite refroidi : l'effet de serre a diminué parce que la faible gravité martienne a mal retenu le dioxyde de carbone. Mars a été mis au "congélateur" depuis 3,5 milliards d'années.

Il y a 4 à 3,5 milliards d'années, la vie est née et a prospéré sur Terre sous la forme d'êtres primitifs, telles des bactéries. Les «ingrédients» nécessaires à la formation de cette vie semblent être l'eau liquide, des molécules organiques (présentes en abondance dans les comètes et dans les météorites) et des argiles. Comme ces ingrédients existaient simultanément sur Mars, il est raisonnable de penser que, les mêmes causes produisant les mêmes effets, une vie primitive y soit apparue. Ces formes de vie auraient été congelées en même temps que l'eau : les roches mar-

tiennes contiennent peut-être des traces fossiles de cette vie primitive.

Il n'est pas totalement impossible que des formes de vie subsistent sur Mars, mais elles seraient congelées ou réfugiées dans les couches profondes de la planète (à plus de cinq kilomètres), où l'activité géothermique maintient l'eau à l'état liquide. Toutefois ces formes de vie ne seraient pas beaucoup plus évoluées que celles que portait la Terre il y a 3,5 milliards d'années. Bien que les modèles de mouvement chaotiques de l'axe des pôles indiquent que Mars se serait brièvement réchauffé à plusieurs reprises depuis 3,5 milliards d'années, nous n'avons pas de preuves formelles de tels réchauffements. De toute façon, la durée cumulée de ces réchauffements n'aurait pas été très longue et n'aurait pas permis une évolution vers des êtres complexes. En outre, selon certains astronomes, la vie n'a évolué sur la Terre que grâce à la Lune, qui empêche les mouvements chaotiques de l'axe de rotation de la Terre et qui évite que le climat terrestre subisse des variations trop brusques ou trop importantes. Cette stabilité climatique est évoquée pour expliquer l'évolution vers les formes complexes qui demandent du temps et une relative continuité des conditions. Sur Mars, est-il raisonnable de proposer que les mêmes causes aient produit des effets inverses?

Pierre THOMAS, ENS de Lyon

une dynamique chaotique, avec des transitions parfois rapides, qui atteignent 60 degrés tous les dix millions d'années environ. En outre, la direction de l'inclinaison et la forme de l'orbite de Mars varient cycliquement avec le temps.

Ces variations et, notamment, les grands basculements de l'axe de rotation provoqueraient des extrêmes saisonniers de température. Pendant les périodes de forte obliquité, même avec la mince atmosphère actuelle, les températures estivales aux hautes et moyennes latitudes martiennes seraient devenues positives jour et nuit, et les hivers auraient été encore plus rudes qu'ils ne le sont aujourd'hui.

L'atmosphère aurait été bouleversée par ce réchauffement estival de l'un des pôles : son épaissement, par l'évaporation de la calotte polaire réchauffée, ou de l'eau souterraine ou du pergélisol riches en dioxyde de carbone, aurait créé un effet de serre. De l'eau qui aurait alors coulé en surface aurait réagi chimiquement avec les roches, formant des sels et des roches calcaires, et le stockage du dioxyde de carbone atmosphérique dans ces calcaires aurait réduit ainsi l'effet de serre. Un retour à une obli-

quité inférieure aurait refroidi encore plus la planète ; la neige carbonique serait tombée en surface, amincissant davantage l'atmosphère et renvoyant Mars à son état glacial.

Les sondes automatiques qui visiteront Mars au cours de la prochaine décennie permettront de tester cette hypothèse. Les expéditions ont commencé en novembre 1996, avec le lancement d'une sonde américaine ; elles devraient s'achever en 2005 par le retour sur Terre de roches martiennes.

La sonde *Mars Surveyor*, qui est partie le 5 novembre 1996, se placera en orbite autour de Mars et photographiera la planète avec une résolution

de quelques mètres : sur des cartes topographiques détaillées, nous rechercherons des dépôts de glace, ainsi que de nouvelles traces d'anciens glaciers, lacs et rivières. La sonde *Mars Pathfinder*, qui est partie le 4 décembre 1996, se posera dans un chenal d'écoulement, encombré de roches, qui alimentait une ancienne mer. Elle libérera alors un petit véhicule, qui explorera les abords immédiats. Les informations rassemblées par ces prochaines missions nous donneront une image plus claire de l'aspect de Mars durant son dernier épisode de climat plus clément, il y a 3,5 milliards d'années ou peut-être moins.

Jeffrey KARGEL est membre de l'équipe d'astrogéologie de l'Institut géologique américain. Robert STROM est professeur à l'Université d'Arizona.

V.R. BAKER, R.G. STROM, V.C. GULICK, J.S. KARGEL, G. KOMATSU et V.S. KALE, *Ancient Oceans, Ice Sheets and the Hydrological Cycle on Mars*, in *Nature*, vol. 352, pp. 589-594, 15 août 1991.

J.S. KARGEL et R.G. STROM, *Ancient Glaciation on Mars*, in *Geology*, vol. 20, n° 1, pp. 3-7, janvier 1992.

J.S. KARGEL et R.G. STROM, *The Ice Ages*

of Mars, in *Astronomy*, vol. 20, n° 12, pp. 40-45, décembre 1992.

T.J. PARKER, D.S. GORSLINE, R.S. SAUNDERS, D.C. PIERI et D.M. SCHNEEBERGER, *Coastal Geomorphology of the Martian Northern Plains*, in *Journal of Geophysical Research E (Planets)*, vol. 98, n° 6, pp. 11061-11078, 25 juin 1993.

Sur le World Wide Web :
<http://cmex-www.arc.nasa.gov>
<http://mpfwww.jpl.nasa.gov>
<http://www.gpl.nas.gov/mgs>

Le système immunitaire des invertébrés

GREGORY BECK • GAIL HABICHT

Le système immunitaire de l'homme et celui des autres mammifères ont évolué pendant plusieurs centaines de millions d'années pour acquérir leur complexité.

En décembre 1882, un zoologue russe âgé de 37 ans, Élie Metchnikoff, fait une promenade décisive sur la plage de Messine, au Nord-Est de la Sicile : il récolte une larve transparente d'étoile de mer, il la rapporte chez lui et, là, il la perce avec une épine de rose. Le lendemain matin, il découvre de minuscules cellules qui recouvrent l'épine et qui tentent de l'engloutir.

Il comprend immédiatement que, pour défendre la larve, ces cellules essaient d'absorber l'envahisseur, de le phagocyter. On savait déjà que certaines cellules humaines phagocytent les bactéries, mais Metchnikoff comprend alors que la phagocytose est un mécanisme fondamental, qui défend toutes les créatures du monde animal contre les infections. Grâce à cette petite expérience et à toute une vie de recherches, Metchnikoff fonda l'immunologie cellulaire. Ce travail de pionnier lui valut de partager, en 1908, le prix Nobel de médecine avec Paul Ehrlich, le père de l'autre aspect de l'immunité, l'immunité humorale, fondée sur la production des anticorps.

Metchnikoff a été avisé de choisir une étoile de mer, car cet organisme n'a quasiment pas changé depuis son apparition, il y a plus de 600 millions d'années. Après l'avoir piquée, Metchnikoff observa une scène qui, en cette journée de 1882, ne différait guère de ce qu'elle aurait été, dans les eaux primitives de la Terre, des dizaines de millions d'années avant l'apparition des vertébrés.

Metchnikoff le savait, et ses travaux allaient montrer que les systèmes de

défense de tous les animaux actuels sont issus de ceux des créatures qui ont peuplé la Terre depuis l'apparition de la vie. Ainsi naissait l'immunologie comparée. En étudiant divers organismes, dont certains très anciens, les immunologistes ont vu sous un jour nouveau l'un des systèmes les plus complexes et les plus étonnants de ceux que l'évolution a façonnés : le système immunitaire de l'homme et des mammifères supérieurs. L'immunologie comparée précise également la nature de l'évolution : si les invertébrés représentent plus de 90 pour cent de toutes les espèces terrestres, c'est bien que leurs mécanismes de défense, réputés «primitifs», sont pourtant efficaces. Cette nouvelle façon d'aborder l'immunologie a également révélé plusieurs substances agissant sur le système immunitaire et qui semblent utilisables chez l'homme.

Les progrès récents de l'immunologie et la mise au point des nouveaux outils de biologie moléculaire et de biologie cellulaire marquent le second âge d'or de l'immunologie comparée. Ainsi, on commence à savoir comment fonctionnent les systèmes de défense immunitaire d'animaux aussi différents que les étoiles de mer, les insectes, les requins ou les grenouilles.

Les mécanismes immunitaires

Pour comprendre tous les détours évolutifs des systèmes immunitaires au cours des centaines de millions d'années passées, on doit savoir comment ils fonctionnent. Pour assurer

l'immunité d'un organisme, un système doit distinguer les cellules, les tissus et les organes de l'individu – le soi – et les éléments étrangers – le «non-soi» –, potentiellement présents. Ensuite, il doit éliminer ces envahisseurs, souvent des bactéries ou des virus. Enfin, il doit détecter et détruire le «soi altéré», c'est-à-dire les cellules ou les tissus modifiés par des blessures ou par des maladies, le cancer par exemple. Le système immunitaire des mammifères et, notamment, celui de notre espèce, semble être celui qui dépiste et élimine le mieux les micro-organismes étrangers.

Que se passe-t-il quand on se pique le doigt avec une épine de rose? Dès que le sang cesse de perler, le système immunitaire est activé, pour éliminer les microbes qui se seraient introduits par la blessure. Des globules blancs phagocytaires, les macrophages, sont déjà sur place, ou y arrivent rapidement : ils ingèrent les microbes et les détruisent, et ils libèrent des protéines qui activent d'autres éléments du système immunitaire, alertant notamment d'autres cellules phagocytaires.

Ces réactions cellulaires rapides constituent ce que l'on nomme parfois l'immunité naturelle ou innée, car elles résultent de l'activité de cellules de défense, avant même qu'un micro-organisme étranger n'apparaisse. Tous les animaux ayant un dispositif de défense de ce type, c'est probablement la forme d'immunité la plus ancienne. C'est cette immunité innée que Metchnikoff a observée sur la larve d'étoile de mer qu'il a piquée.