

Le premier des nouveaux résultats porte sur la mesure du rayon du noyau martien et la caractérisation de son état. Pour cela, il était nécessaire d'enregistrer un signal sismique d'ondes qui rebondissent sur l'interface manteau-noyau. La collaboration InSight a ainsi déterminé que le rayon du noyau fait environ 1830 kilomètres (un peu plus de la moitié du rayon total de Mars) et que le noyau est liquide. Le rayon obtenu fait partie de la fourchette haute des estimations généralement admises jusqu'ici. Comme la masse du noyau était connue par ailleurs en étudiant les mouvements de la planète, un noyau plus grand implique que sa densité soit moins élevée qu'on ne le pensait. Son alliage fer-nickel est donc très enrichi en éléments plus légers tel que l'hydrogène, l'oxygène ou le carbone.

Avec un noyau aussi gros, le manteau est moins épais et sa base n'atteint pas des pressions suffisantes pour former un type particulier de minéraux, une pérovskite nommée «bridgmanite» (qui représente les roches les plus abondantes dans

le manteau inférieur de la Terre). «Des modèles d'évolution thermique de la planète Mars prévoient leur existence et ont montré que leur forte viscosité et leur caractère isolant auraient limité les mouvements de convection, source des échanges de chaleur dans l'intérieur de la planète» souligne Adrien Broquet, de l'université de l'Arizona, qui a participé à l'étude. Ainsi, en l'absence de bridgmanite dans le manteau martien, la convection aurait été extrêmement vigoureuse mais brève, ce qui expliquerait pourquoi Mars a perdu son champ magnétique global si rapidement. Or le déclin du champ magnétique martien a de fortes implications sur le maintien d'eau liquide à sa surface et sur son habitabilité.»

La convection intense et brève ainsi que la perte de chaleur associée ont peut-être contribué à un effet dynamo dans le noyau plus important et un champ magnétique plus intense que prévu. En l'occurrence, *InSight* est aussi équipée d'un magnétomètre qui a enregistré le champ magnétique rémanent à la surface

de Mars. Quand la dynamo planétaire était encore active, lors de la formation de lave (pendant une éruption volcanique ou un impact de météorite), le champ magnétique a réorienté les minéraux, tel que la magnétite, de la roche fondue. Cette orientation a été conservée lorsque la lave s'est refroidie et durcie, laissant un champ magnétique rémanent. D'après les mesures d'*InSight*, ce dernier est dix fois plus important que les estimations effectuées par les sondes en orbite. La dynamo martienne pourrait ainsi avoir été aussi intense que l'actuelle dynamo terrestre.

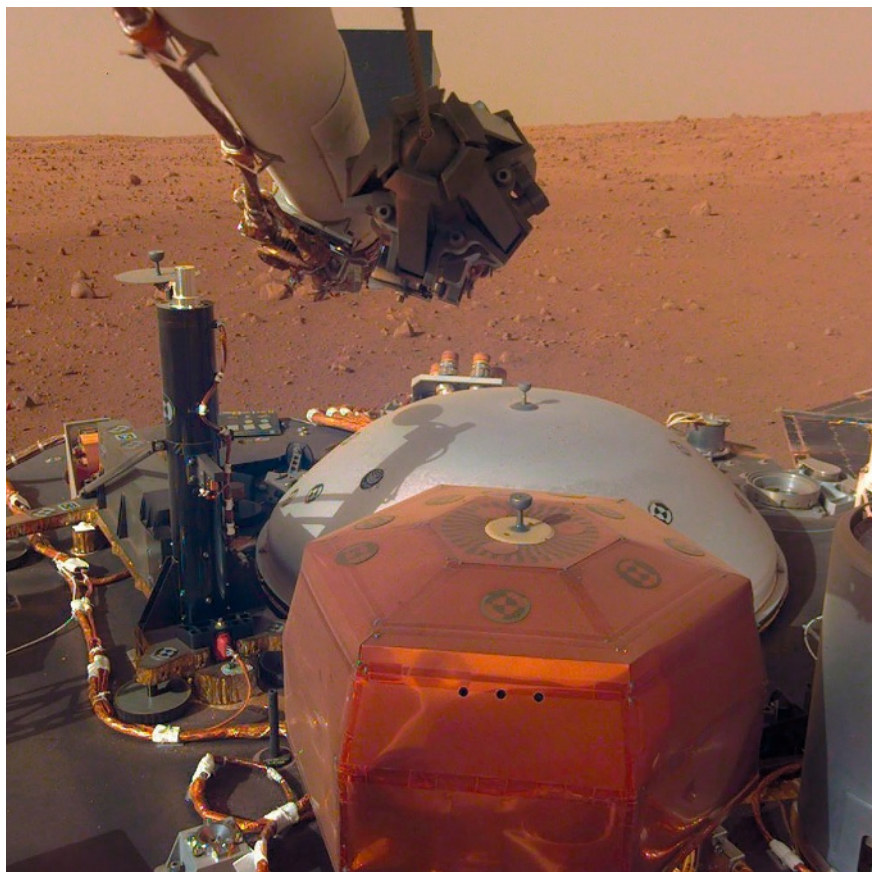
Actuellement, le flux de chaleur de l'intérieur vers la surface de Mars serait cinq fois plus faible que celui de la Terre. La partie basse du manteau serait soumise à de lents mouvements de convection, tandis que la lithosphère, composée de la couche supérieure et rigide du manteau et de la croûte, aurait une épaisseur comprise entre 400 et 600 kilomètres (elle est de 80 kilomètres sur Terre).

La mission *InSight* apporte également des informations sur la partie la plus superficielle de la Planète rouge, la croûte. Juste en dessous du sismomètre, celle-ci présenterait une couche de 10 kilomètres d'épaisseur très altérée et poreuse (probablement en lien avec l'activité de l'eau dans le passé martien). Reste à savoir si cette couche existe globalement ou si elle n'est que locale. Les chercheurs ont aussi identifié des discontinuités à 25 et 39 kilomètres de profondeur, qui pourraient correspondre à la base de la croûte. Là encore, il est trop tôt pour dire laquelle correspond à la frontière avec le manteau, mais ces résultats permettent d'ores et déjà d'écarter des modèles qui fixaient cette transition à près de 100 kilomètres de la surface.

L'équipe d'*InSight* espère encore récolter environ un an de données. Cela dépendra notamment de l'accumulation de poussière sur les panneaux solaires qui alimentent les instruments. Mais le succès de la mission encourage à se tourner vers d'autres corps du Système solaire. La Lune fait déjà l'objet de projets pour les années à venir, mais Titan et Europe, lunes de Saturne et Jupiter, seraient aussi intéressantes, sinon plus. ■

Sean Bailly

A. Khan *et al.*, *Science*, vol. 373, pp. 434-438, 2021 ;
B. Knapmeyer-Endrun *et al.*, *ibid.*, pp. 438-443 ;
S. C. Stähler *et al.*, *ibid.*, pp. 443-448



Cette photo a été prise après l'atterrissage sur Mars de la sonde *InSight* et avant la mise en place au sol du sismomètre Seis (en rouge). Le bouclier éolien et thermique est visible au second plan (en blanc).

PALÉONTOLOGIE

DES PTÉROSAURES JUVÉNILES À L'AISE DANS LES AIRS

Les reptiles volants qui ont dominé le ciel jusqu'à la fin du Crétacé étaient physiquement aptes au vol dès leur prime jeunesse.

Chez de nombreuses espèces actuelles d'oiseaux, le parent revient au nid après une chasse fructueuse pour donner à manger à ses petits, encore incapables de se nourrir seuls. Une telle scène ne s'appliquait sans doute pas aux ptérosaures. Darren Naish, de l'université de Southampton, au Royaume-Uni, et ses collègues ont montré que chez ces reptiles volants, éteints il y a 66 millions d'années, les jeunes étaient en capacité physique de voler en battant des ailes, quasiment dès leur naissance.

Les ptérosaures forment un vaste groupe de reptiles ailés dont les plus petits représentants n'excèdent pas la taille d'un moineau, mais dont les plus grands, comme le *Quetzalcoatlus*, d'une envergure supérieure à 10 mètres, sont les plus grandes espèces volantes jamais identifiées. Cependant, l'âge auquel les jeunes ptérosaures étaient capables de voler reste une question ouverte. Les fossiles montrent des ailes déjà formées à la naissance, mais les exemples de nouveau-nés capables de voler très tôt avant la fin de leur croissance restent rares chez les animaux actuels. Darren Naish et ses collègues ont donc voulu déterminer quantitativement si les jeunes ptérosaures étaient morphologiquement aptes au vol.

Leur analyse repose sur deux paramètres : la capacité à planer, et la puissance nécessaire pour battre des ailes (ou puissance humérale). La première dépend de la charge alaire, le rapport entre la masse du volatile et la surface de ses ailes. Les chercheurs l'ont estimée à partir de l'envergure de fossiles de très jeunes ptérosaures, et l'ont comparée à celles d'espèces non aviennes actuelles capables de planer, comme l'écureuil volant ou le serpent *Chrysopelea paradisi*. La charge alaire des jeunes ptérosaures était bien plus avantageuse, et leur permettait de planer beaucoup plus loin que ces espèces, possiblement sur une centaine de mètres. Même au plus jeune âge, les ptérosaures étaient donc physiquement capables de voler plus longtemps qu'en sautant simplement d'arbre en arbre.

Mieux encore, ils disposaient d'une forte puissance humérale, essentielle au décollage et au battement des ailes. Les chercheurs l'ont



Les ptérosaures, un groupe réunissant de nombreuses espèces de reptiles volants, étaient abondants jusqu'à 66 millions d'années avant notre ère.

estimée à partir de la solidité de l'humérus des fossiles (l'os le plus sollicité dans le battement d'ailes), et de sa proportion par rapport au reste du squelette. Même s'ils préviennent que cette puissance était très variable selon les espèces de ptérosaures, Darren Naish et ses collègues suggèrent que la morphologie des jeunes était encore plus adaptée au vol que celle de leurs parents!

Avec une faible envergure, de bonnes capacités à décoller et une habileté à changer de rythme et de direction, les jeunes ptérosaures auraient plus facilement vécu en forêt. Et pour les chercheurs, ces différences entre ptérosaures juvéniles et adultes impliqueraient des habitudes de chasse et des occupations d'écosystèmes distinctes selon l'âge. Après leur croissance, leurs aînés aux mouvements plus amples devaient préférer des vols longs, possiblement en milieu marin. Les plus grandes espèces du genre, aux gabarits de petits avions, auraient même été capables de franchir des océans. ■

Valentin Rakovsky

D. Naish et al., *Scientific Reports*, vol.11, article 13130, 2021

TEST SUR LES TROUS NOIRS

Selon un théorème de Stephen Hawking, l'aire de l'horizon d'un trou noir (la frontière de non-retour dont on ne peut échapper, une fois franchie) ne peut diminuer avec le temps (sauf par «évaporation», comme l'a aussi conjecturé Hawking). Une conséquence est que lors de la coalescence de deux trous noirs, l'aire du trou noir résultant serait supérieure à la somme de celles des deux corps initiaux. Maximiliano Isi, du MIT, aux États-Unis, et ses collègues viennent de vérifier ce théorème en analysant finement les signaux des ondes gravitationnelles émises par GW150914, la première fusion de deux trous noirs observée par les interféromètres laser géants de la collaboration *Ligo-Virgo*. ■

S. B.

M. Isi et al., *Physical Review Letters*, vol. 127, article 011103, 2021

DE L'EAU LIQUIDE QUI GRIMPE À NOTRE GRÉ



En s'inspirant des arbres, cette structure tridimensionnelle exploite la tension de surface de l'eau pour la guider vers le haut. La surface d'échange maximisée avec l'air ouvre la porte à de nombreuses applications.

LE MICROBIOTE DES TIQUES

La tique du mouton, *Ixodes ricinus*, est l'espèce de tique la plus répandue en Europe. Elle véhicule de nombreux agents pathogènes pour les humains et les animaux. En outre, cet arthropode héberge un microbiote complexe, dont Thomas Pollet, de l'Inrae, et ses collègues ont étudié les interactions. Les chercheurs ont par exemple observé que sa composition dépend du mois de l'année. Ils ont aussi noté une corrélation négative entre deux bactéries : *Borrelia miyamotoi*, responsable d'une fièvre récurrente, et *Borrelia burgdorferi*, responsable de la maladie de Lyme. La présence de l'une excluant souvent l'autre d'un même microbiote, ces deux bactéries pourraient être en compétition. À partir de ces informations, peut-être sera-t-il possible, à terme, d'utiliser les membres du microbiote des tiques pour lutter contre les pathogènes qu'ils véhiculent et limiter leur transmission aux humains. ■

V. R.

E. Lejal et al., *Microbiome*, vol. 9, article 153, 2021

Faire grimper un liquide vers le haut sans apport extérieur d'énergie et sans utiliser de pompe, nous le faisons en trempant notre morceau de sucre dans le café matinal grâce au phénomène bien connu de la capillarité. Les outils qui s'appuient sur ce principe pour manipuler des liquides les confinent généralement dans des tubes étroits, sans échange possible avec le milieu extérieur. Mais Nikola Dudukovic et ses collègues, du laboratoire Lawrence-Livermore, en Californie, ont expérimenté des structures imprimées en 3D et capables de déplacer de l'eau à l'air libre dans des directions précises, dessinant par exemple une arborescence.

Les chercheurs ont mis au point des assemblages de petites cellules cubiques creuses de l'ordre de un millimètre de côté, dotées d'arêtes supplémentaires sur leurs diagonales pour densifier ce treillis. Quand le bas de la structure est plongé dans un liquide, ce dernier remonte progressivement les cubes du bas vers le haut, en longeant les arêtes diagonales puis latérales.

Le fluide tend à réduire sa tension de surface, à l'origine du phénomène de capillarité. Il adhère alors au support solide, monte et remplit progressivement tous les cubes de proche en proche. L'ascension s'arrête quand le poids du fluide soulevé compense les forces de tension de surface, maintenant le liquide en équilibre et l'empêchant de s'écouler même si ses surfaces de contact avec l'air ne sont pas horizontales.

Ces structures à l'air libre multiplient la surface d'échange entre un liquide et un gaz par rapport aux systèmes clos. Une propriété qui serait utile dans de nombreuses applications industrielles, par exemple pour accélérer les échanges de chaleur entre un liquide et l'air, ou pour capter du dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère. ■

V. R.

N. Dudukovic et al., *Nature*, vol. 595, pp. 31-32, 2021