



## Mars, sol et atmosphère

### ***Eau martienne souterraine***

*Basé sur un communiqué LASP*

Il y a plus de 3 milliards d'années, avant de perdre la plus grande partie de son atmosphère, Mars présentait de l'eau liquide par intermittence à sa surface. Cette eau a ensuite disparu. Elle a pu être enfouie sous forme de glace, confinée dans de profonds aquifères, incorporée dans des minéraux ou dissipée dans l'espace.

Une étude récente suggérait que Mars retient une quantité importante d'eau liquide dans sa croûte médiane, une région s'étendant de 11,5 à 20 kilomètres sous la surface. Toutefois les données sur lesquelles les chercheurs s'appuyaient ne nécessitent pas de croûte saturée en eau. Les résultats de leur modélisation suggèrent d'ailleurs une conclusion alternative.

Les données utilisées dans les analyses proviennent de la mission InSight (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport) de la NASA, lancée en 2018 et qui a placé un atterrisseur sur Mars afin de collecter des données géophysiques pour étudier l'intérieur de la planète. La mission a pris fin en 2022, lorsqu'une

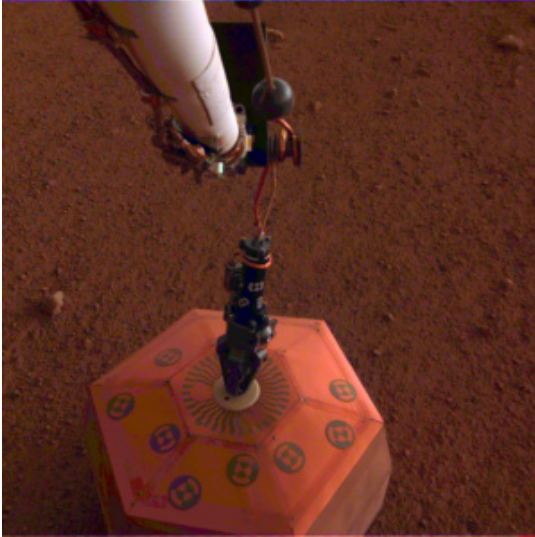
*Vue d'artiste de l'atterrisseur InSight de la NASA à la surface de Mars.*

*La mission, qui a duré de 2018 à 2022, a mené plusieurs investigations scientifiques pour étudier les profondeurs de la planète et contribuer à la découverte des processus qui ont façonné toutes les planètes rocheuses du Système solaire interne.*

*(NASA)*

tempête de poussière martienne a obscurci les panneaux solaires de l'atterrisseur, mais les scientifiques continuent d'analyser les données d'InSight et de débattre de leur signification.

Dans l'étude initiale, les chercheurs avaient utilisé des modèles de roches pour déterminer quels types de roches, quels niveaux de saturation en eau et quelles caractéristiques de porosité pouvaient expliquer les données sismiques et gravimétriques qu'InSight avait collectées à partir de la croûte moyenne. Ils avaient conclu que des roches ignées fracturées et saturées d'eau liquide expliquaient le mieux les données existantes. Ils avaient estimé que le volume d'eau emprisonné atteindrait une profondeur comprise entre un et deux kilomètres, si elle était répartie uniformément



*L'atterrisseur InSight a placé le sismomètre SEIS (Seismic Explorations for Interior Structure) à la surface de Mars le 19 décembre 2018. C'était la première fois qu'un vaisseau spatial déposait un sismomètre de manière robotisée à la surface d'une autre planète – les sismomètres lunaires avaient été amenés par les missions Apollo. SEIS mesurait les ondes sismiques provoquées par les tremblements de terre, les impacts de météorites et d'autres phénomènes. (NASA/JPL-Caltech)*

*Vue d'artiste d'un impact de météorite sur Mars à proximité du sismomètre SEIS. (© IPGP/Manchu)*



sur la surface de la planète, une mesure appelée « couche équivalente globale ». À titre de comparaison, la couche équivalente globale de la Terre est de 3,6 kilomètres, ce qui est presque entièrement dû aux océans, avec très peu d'eau dans la croûte.

Le réexamen de ces résultats a pris en compte la répartition de la porosité et d'autres conditions, comme la présence de glace solide ou d'espaces poreux vides, qui pourraient également expliquer les données sismiques et gravimétriques collectées par InSight. La conclusion est que la couche équivalente globale pourrait s'étendre de zéro à deux kilomètres, repoussant ainsi la limite inférieure

trouvée par l'étude précédente. Les données d'InSight ne nécessitent donc pas la présence d'eau dans la croûte moyenne, mais elles ne l'excluent pas pour autant.

La quantité d'eau présente dans la croûte martienne est une question à laquelle de nouvelles missions, visant à réaliser des analyses et des observations géologiques plus détaillées, notamment un profilage sismique plus poussé, pourraient un jour contribuer à répondre. Ces découvertes pourraient également conduire à une meilleure compréhension du cycle de l'eau de la Planète rouge, de ses conditions potentielles de vie et de la disponibilité des ressources pour les missions futures.

## Érosion sur Mars

*Basé sur un communiqué Natural History Museum*

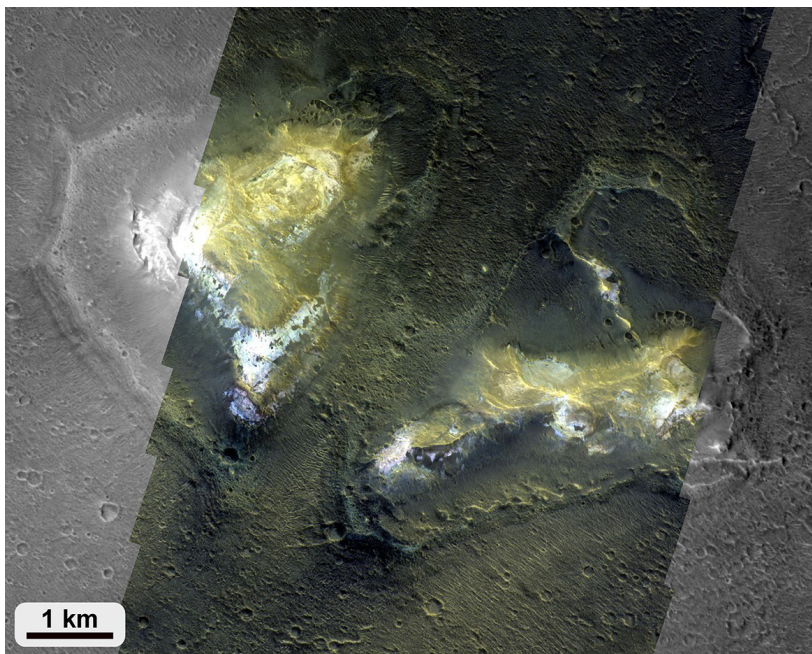
Des images haute résolution et d'autres données fournies par des orbiteurs martiens ont été utilisées pour comprendre la géologie des monticules qui parsèment les plaines arides du nord de la planète. Ces collines, qui peuvent s'élever jusqu'à une hauteur de 500 mètres, sont les vestiges d'anciennes hautes terres érodées il y a des milliards d'années. Cette érosion a joué un rôle clé dans l'apparition de la dichotomie entre l'hémisphère nord de la planète, situé à basse altitude, et les hauts plateaux du sud.

Les monticules sont constitués de dépôts stratifiés contenant des minéraux argileux, formés par l'interaction de l'eau avec la roche durant des millions d'années. Ces couches d'argile sont coincées entre des couches plus anciennes et non argileuses, en dessous, et des couches plus jeunes et non argileuses au-

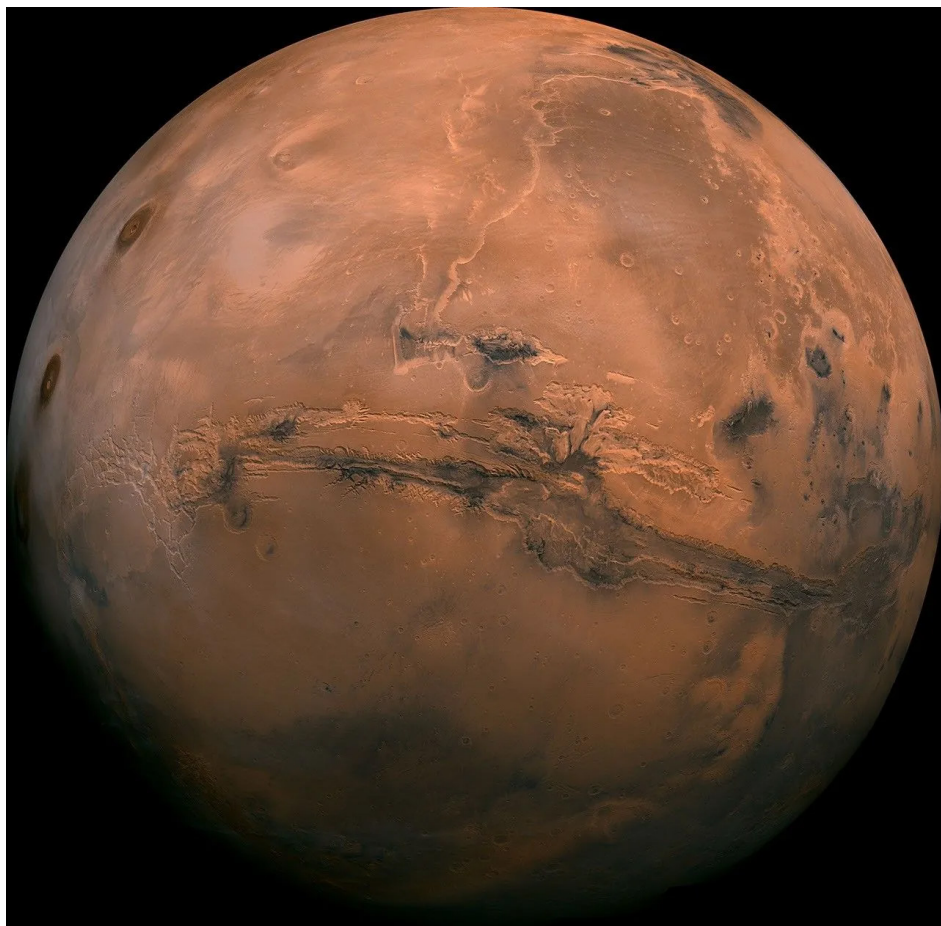
dessus, marquant des événements géologiques distincts dans l'histoire de Mars. L'histoire complète de l'eau dans cette région est ainsi préservée au sein d'affleurements rocheux accessibles, qui seront des cibles de choix pour de futures missions visant à découvrir si Mars a déjà eu un océan et si la vie aurait pu y exister.

L'étude révèle également que les monticules sont géologiquement liés aux plaines voisines d'Oxia Planum, vers lesquelles le rover Rosalind Franklin de l'Agence spatiale européenne doit se lancer en 2028 à la recherche de signes de vie passée et présente.

Mars est un modèle de ce à quoi aurait pu ressembler la Terre primitive, car l'absence de tectonique des plaques signifie qu'une grande partie de son ancienne géologie est toujours en place. La multiplication des missions sur la Planète rouge aidera à étudier l'histoire de notre propre planète et celle de la vie.



*Ces deux collines, s'élevant à des centaines de mètres au-dessus des plaines environnantes, présentent des zones riches en minéraux argileux. (ESA/TGO/CaSSIS, NASA/JPL/MSSS/The Murray Lab)*



## Couleur de Mars

*Basé sur des communiqués NASA et ESA*

Les données collectées par des orbiteurs et rovers martiens ainsi que lors d'expériences en laboratoire, ont permis de mieux comprendre l'origine de la couleur caractéristique de la planète et confortent l'idée selon laquelle Mars avait un climat frais, mais humide et habitable dans un lointain passé.

L'atmosphère actuelle de Mars est trop froide et ténue pour que de l'eau puisse rester longtemps liquide à sa surface. Cependant, plusieurs sondes ont révélé que

**Mars et Valles Marineris. Projection donnant la vue que l'on aurait à 2 500 kilomètres d'altitude. La mosaïque est composée de 102 images de Mars prises par Viking Orbiter. Le centre de la scène (lat -8, long 78) montre l'ensemble du système de canyons de Valles Marineris, long de plus de 2 000 kilomètres et profond de 8 kilomètres, s'étendant du Noctis Labyrinthus, le système de vallées à l'ouest, jusqu'au terrain chaotique à l'est. De nombreuses vallées se dirigent vers le nord. Les trois volcans Tharsis (taches rouge foncé), chacun d'environ 25 kilomètres de haut, sont visibles à l'ouest. Au sud de Valles Marineris se trouve un terrain très ancien couvert de nombreux cratères d'impact. (NASA)**

## HOW MARS TURNED RED



1. Iron on Mars's surface reacted with oxygen and water to create rust

2. The rust was washed into the rivers, lakes and seas that used to cover Mars

3. Over billions of years, rusty rock was broken down into dust

4. Wind blew the red dust all over the planet's surface

**Mars four billion years ago**  
Grey, rocky and wet

**Mars today**  
Red, dusty and dry

*La Planète rouge Mars doit sa couleur emblématique à une combinaison de rouille et d'érosion au cours de ses 4,6 milliards d'années d'histoire. Mars était autrefois un endroit plus humide que le monde sec et stérile que nous connaissons aujourd'hui. Au début de son histoire, le fer contenu dans ses roches réagissait avec l'oxygène et l'eau pour créer de la rouille. La rouille a été emportée par les rivières, les lacs et les mers qui recouvraient autrefois Mars,*

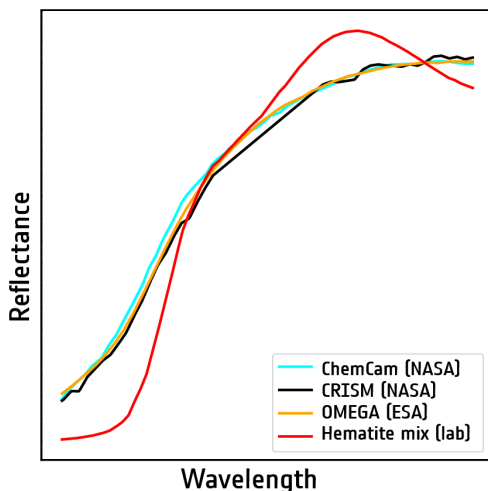
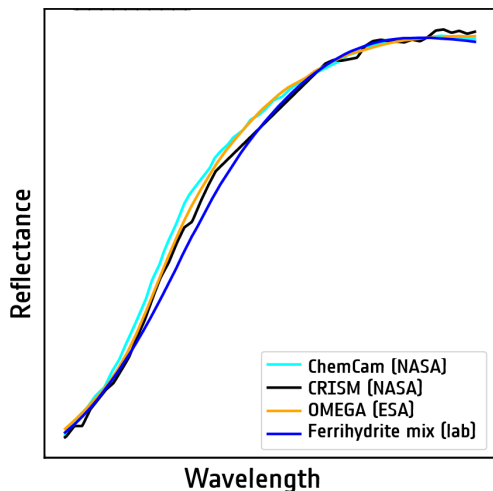
*s'incorporant aux roches sous-jacentes. L'activité volcanique pourrait également avoir déclenché des phénomènes de fonte des glaces, contribuant ainsi à ce processus. Une fois Mars asséchée, cette roche rouillée s'est décomposée en poussière pendant des milliards d'années. Des vents forts ont soufflé cette poussière sur toute la surface de la planète. (ESA, ATG Europe, basé sur Valantinas et al, 2025)*

l'eau était abondante à la surface de Mars il y a des milliards d'années, à une époque plus clémente. On en voit la preuve dans ce qui semble être des rivières et des lacs asséchés, et dans des minéraux que l'on sait ne se former qu'en présence d'eau liquide.

La poussière martienne est connue pour être un mélange de différents minéraux, notamment d'oxydes de fer, et la nouvelle étude

suggère que l'un de ces oxydes, la ferrihydrite, est la raison de la couleur de la planète.

Cette découverte offre un indice intéressant sur le passé humide, peut-être habitable de Mars, car la ferrihydrite se forme en présence d'eau froide et à des températures plus basses que d'autres minéraux candidats, comme l'hématite. La ferrihydrite a donc dû se former lorsque Mars avait encore de l'eau à sa



surface, elle a conservé sa signature aqueuse jusqu'à nos jours, bien qu'elle ait été broyée et répandue autour de la planète depuis sa formation.

Cela suggère que Mars a peut-être eu un environnement capable de supporter l'eau liquide avant de passer à des conditions de sécheresse il y a des milliards d'années.

La question de savoir pourquoi Mars est rouge est posée depuis des centaines, voire des milliers d'années. Ce n'est pas la première fois que l'on propose la ferrihydrite comme responsable de la couleur de Mars, mais cette fois, les chercheurs ont utilisé des données d'observation en combinaison avec de nouvelles méthodes de laboratoire qui ont permis de créer de la poussière martienne en laboratoire.

Les chercheurs ont analysé les données de plusieurs missions sur Mars, en combinant les observations orbitales des instruments de la sonde Mars Reconnaissance Orbiter de la NASA, de Mars Express et de Trace Gas Orbiter de l'ESA avec des mesures au niveau du sol effectuées par des rovers de la NASA comme Curiosity, Sojourner et Opportunity. Les instruments des orbiteurs et des rovers ont

*Comparaison des poussières de ferrihydrite et d'hématite fabriquées en laboratoire avec les poussières martiennes observées par des engins spatiaux.*

*Le mélange de ferrihydrite correspond le mieux.*

*(A. Valantinas/ESA)*

fourni des données spectrales détaillées de la surface poussiéreuse de la planète. Ces résultats ont ensuite été comparés à des expériences en laboratoire où l'équipe a testé la manière dont la lumière interagit avec les particules de ferrihydrite et d'autres minéraux dans des conditions martiennes simulées.

Pour que la ferrihydrite se forme, il a fallu des conditions telles que l'oxygène, provenant de l'air ou d'autres sources, et l'eau puissent réagir avec le fer. Ces conditions étaient très différentes de l'environnement sec et froid d'aujourd'hui. Lorsque les vents martiens ont répandu cette poussière partout, ils ont créé l'apparence rouge emblématique de la planète.

La validité de ce modèle ne pourra être définitivement vérifiée que lorsque des échantillons de Mars auront été ramenés sur Terre.

## ***Nuages crépusculaires martiens***

*Basé sur un communiqué NASA*

Les nuages crépusculaires (dits noctulescents, noctiluques, ou encore noctiluents) ont été observés pour la première fois sur Mars par la mission Pathfinder en 1997. Curiosity ne les a repérés qu'en 2019. C'est la quatrième année sur Mars que ce rover observe le phénomène qui se produit au début de l'automne dans l'hémisphère sud.

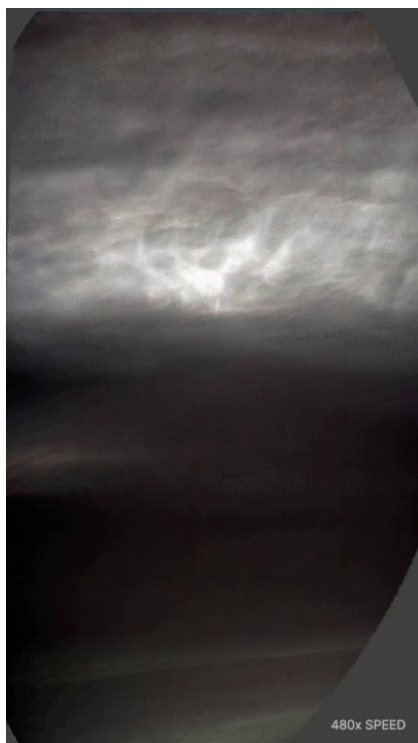
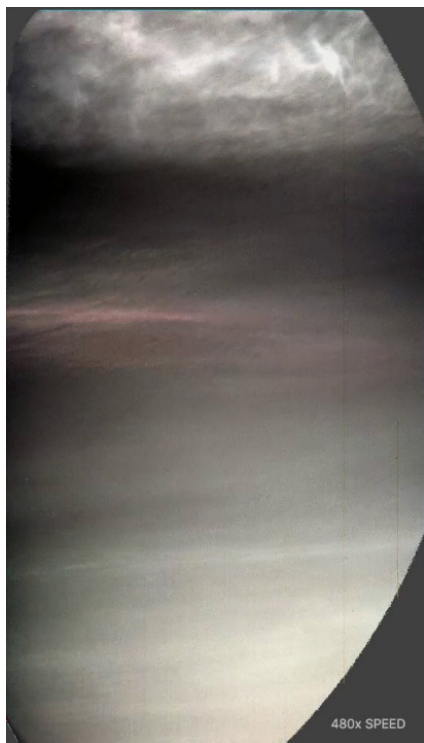
Ces nuages sont parfois iridescents ou « nacrés ». Ils ne sont visibles que lorsqu'ils sont particulièrement hauts et que le soir est tombé.

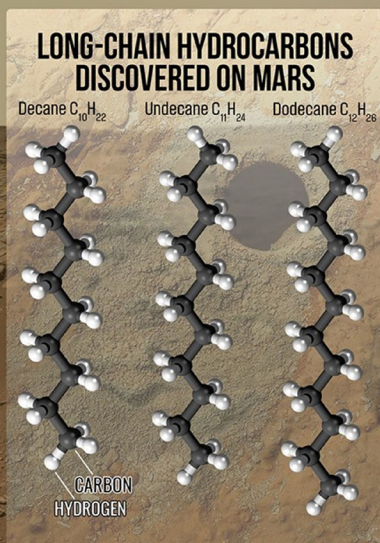
Les nuages martiens sont constitués soit de glace d'eau, soit, à des altitudes plus élevées et à des températures plus basses, de glace de dioxyde de carbone. (L'atmosphère de Mars est composée à plus de 95 % de dioxyde de carbone.) Ce sont ces derniers qui donnent

sur Mars des reflets irisés. On les voit en haut sur les images, flottant à une altitude de 60 à 80 kilomètres. Ils sont également visibles sous forme de panaches blanches tombant à travers l'atmosphère jusqu'à une hauteur de 50 kilomètres, avant de s'évaporer en raison des plus hautes températures. À cette altitude il rejoignent des nuages d'eau allant dans la direction opposée.

***Nuages crépusculaires vus par le rover Curiosity de la NASA à l'aide de sa caméra Mastcam. Extraits d'une série d'images prises pendant 16 minutes le 17 janvier (4426<sup>e</sup> sol, ou jour martien, de la mission). Ce sont les dernières observations de ces nuages noctiluents, teintés par la diffusion de la lumière du Soleil couchant.***

***Les panaches blanches tombant des nuages sont de la glace de dioxyde de carbone qui s'évaporerait plus près de la surface martienne. (NASA/JPL-Caltech/MSSS/SSI)***





## Chaînes carbonées découvertes sur Mars

Basé sur un communiqué NASA-JPL

Les chercheurs analysant un échantillon de roche recueilli par le rover Curiosity ont découvert les plus gros composés organiques jamais observés sur la Planète rouge. Cette découverte suggère que la chimie prébiotique pourrait avoir évolué davantage sur Mars que ce qui avait été observé jusqu'à présent.

L'échantillon se trouvant dans le mini-laboratoire d'analyse d'échantillons SAM (Sample Analysis at Mars) de Curiosity a révélé les molécules décane, undécane et dodécane. Ces composés, respectivement de 10, 11 et 12 atomes de carbone, seraient des fragments d'acides gras préservés dans la roche. Les acides gras font partie des molécules organiques qui, sur Terre, constituent les éléments chimiques constitutifs de la vie.

Les êtres vivants produisent des acides gras qui contribuent à la formation des membranes cellulaires et remplissent diverses autres fonctions. Mais les acides gras peuvent

*Schéma des molécules organiques à longue chaîne : décane, undécane et dodécane.*

*Il s'agit des plus grosses molécules organiques découvertes sur Mars à ce jour. Elles ont été détectées dans un échantillon de roche foré appelé « Cumberland », analysé par le laboratoire d'analyse d'échantillons de Mars, à l'intérieur du rover Curiosity de la NASA. Le rover, dont le selfie est à droite de l'image, explore le cratère Gale depuis 2012. Une image du trou de forage de Cumberland est faiblement visible à l'arrière-plan des chaînes moléculaires.*  
(NASA/Dan Gallagher)

également être produits en dehors de toute vie, par des réactions chimiques déclenchées par des processus géologiques, notamment l'interaction de l'eau avec les minéraux dans les sources hydrothermales.

Bien qu'il n'existe aucun moyen de confirmer la source des molécules identifiées, les trouver est d'un grand intérêt pour plusieurs raisons.

Les scientifiques de Curiosity avaient déjà découvert des molécules organiques simples sur Mars, mais la découverte de ces composés plus gros fournit la première preuve que la chimie organique martienne a progressé vers le type de complexité nécessaire à l'origine de la vie.

La nouvelle étude augmente également les chances que de grandes molécules organiques qui ne peuvent être produites qu'en présence de vie – des « biosignatures » – puissent être préservées sur Mars, dissipant ainsi l'inquiétude que ces composés fussent détruits après des dizaines de millions d'années d'exposition à des radiations intenses et à l'oxydation.

Cette découverte est de bon augure pour les projets visant à ramener des échantillons de Mars sur Terre afin de les analyser avec les instruments les plus sophistiqués.

L'étude prouve que, même aujourd'hui, en analysant des échantillons de Mars, l'on pourrait détecter des signatures chimiques de vie passée, si jamais elle y a existé.

En 2015, une équipe avait, pour la première fois, identifié de manière concluante des molécules organiques martiennes dans l'échantillon utilisé pour l'étude actuelle. Surnommé « Cumberland », cet échantillon a été analysé à de nombreuses reprises par SAM, selon différentes techniques.

Curiosity a foré l'échantillon de Cumberland en mai 2013 dans une zone du cratère Gale de Mars appelée « baie de Yellowknife ». Les scientifiques ont été tellement intrigués par la baie de Yellowknife, qui ressemblait à un ancien lit de lac, qu'ils y ont envoyé le rover avant de le rediriger vers sa destination principale, le mont Sharp, qui s'élève au fond du cratère.

Le détour en valait la peine : Cumberland regorge d'indices chimiques fascinants sur les 3,7 milliards d'années du cratère Gale. Les scientifiques ont déjà découvert que l'échantillon était riche en minéraux argileux qui se forment dans l'eau. Il contient du soufre en abondance, ce qui contribue à la préservation des molécules organiques. Cumberland regorge également de nitrates, essentiels à la



*Avant, après. Le rover Curiosity de la NASA a foré cette cible rocheuse, « Cumberland », lors de son 279<sup>e</sup> jour martien (sol) de mission (19 mai 2013) et a prélevé un échantillon de matériau pulvérulent à l'intérieur de la roche. Curiosity a utilisé la caméra Mars Hand Lens Imager, installée sur le bras du rover, pour capturer cette vue du forage de Cumberland. Le diamètre du trou est de 1,5 cm et sa profondeur de 6,6 cm. (NASA/JPL-Caltech/MSSS)*

santé des plantes et des animaux sur Terre, et de méthane, produit à partir d'un type de carbone associé aux processus biologiques sur Terre.

Le plus important est peut-être que les scientifiques ont déterminé que la baie de Yellowknife était le site d'un ancien lac, offrant un environnement capable de concentrer les molécules organiques et de les préserver dans du *mudstone*, une roche sédimentaire à grains fins.

On pense que l'eau liquide a existé dans le cratère Gale pendant des millions d'années et probablement bien plus longtemps, ce qui signifie qu'il y a eu suffisamment de temps pour que la chimie conduisant à la formation de la vie se produise dans ces environnements de cratère-lac sur Mars.

La récente découverte de composés organiques est le résultat d'une expérience indépendante visant à sonder Cumberland à la recherche d'acides aminés, éléments constitutifs des protéines. Après avoir chauffé l'échantillon deux fois dans le four du SAM, puis mesuré la masse des molécules libérées, l'équipe n'a observé aucune trace d'acides aminés. Elle a toutefois constaté que l'échantillon libérait de petites quantités de décane, d'undécane et de dodécane.

Comme ces composés auraient pu se détacher de molécules plus grosses lors du chauffage, les scientifiques ont procédé à une analyse rétrospective pour déterminer de quelles structures ils pouvaient provenir. Ils ont émis l'hypothèse que ces molécules étaient des restes des acides gras undécanoïque, dodécanoïque et tridécanoïque, respectivement.

Les scientifiques ont testé leur prédiction en laboratoire, en mélangeant de l'acide undécanoïque à une argile semblable à celle de Mars et en menant une expérience semblable à

celle du SAM. Après avoir été chauffé, l'acide undécanoïque a libéré du décane, comme prévu. Les chercheurs ont ensuite référencé des expériences déjà publiées par d'autres scientifiques pour montrer que l'undécane aurait pu se détacher de l'acide dodécanoïque et le dodécane de l'acide tridécanoïque.

Un détail intéressant concerne le nombre d'atomes de carbone composant les acides gras présumés présents dans l'échantillon. Le squelette de chaque acide gras est une longue chaîne droite de 11 à 13 carbonés. Les processus non biologiques produisent généralement des acides gras plus courts, comportant moins de 12 carbonés. Il est possible que l'échantillon de Cumberland contienne des acides gras à chaîne plus longue, affirment les scientifiques, mais le SAM n'est pas optimisé pour détecter des chaînes plus longues. En fin de compte, il y a une limite aux conclusions que l'on peut tirer des instruments de détection de molécules envoyés sur Mars. L'étape ultérieure consistera à rapporter des échantillons martiens sur Terre pour régler le débat sur la vie sur Mars.

*Composite d'images MASTCAM de Curiosity montrant la région de Yellowknife et le site de Cumberland où a été recueilli l'échantillon.  
(ASA/JPL-Caltech/MSSS)*

