



# L'astronomie dans le monde

## ***Mars : pas d'ancien lac dans le cratère Gale ?***

*Basé sur un communiqué University of Hong Kong*

En 2012, le rover Curiosity atterrissait sur Mars dans le cratère Gale, site supposé d'un ancien lac, il y a plus de 3 milliards d'années. Depuis lors, le rover a parcouru la zone, effectuant des analyses géologiques avec sa panoplie d'instruments pendant plus de 3 000 sols (jours martiens). Une nouvelle analyse des données suggère que les sédiments étudiés par le rover pendant la majeure partie de la mission ne se sont en réalité pas formés dans un lac.

Les chercheurs ont suggéré que les roches sédimentaires analysées viennent du sable déposé par le vent. La formation des minéraux par l'interaction entre l'eau et le sable ne s'est pas produite dans un environnement lacustre. L'environnement « humide » montre plutôt une altération semblable à la formation du sol sous l'effet de la pluie dans une atmosphère très différente de l'atmosphère actuelle.

Les chercheurs ont étudié la texture des roches, et réalisé des analyses chimiques et des mesures de diffraction X, pour révéler

*Cette image prise par l'instrument MastCam de Curiosity montre des roches sédimentaires stratifiées composant le Mont Sharp. Le rover s'est déplacé du fond du cratère Gale jusqu'à ces collines afin de comprendre comment les roches changent depuis le bas, où se trouvent les plus anciennes, jusqu'en haut, où sont les plus jeunes. Le rover s'est ainsi élevé de plus de 400 mètres depuis le début de la mission. Les couleurs ont été fortement altérées pour donner un aspect terrestre à ce paysage.*

*(Mars Curiosity Rover / NASA)*

comment la composition des roches est liée aux processus géologiques. Ils ont mis en évidence certains schémas chimiques très importants dans les roches, qui ne peuvent être expliqués dans le contexte d'un environnement lacustre. Le point essentiel est que certains éléments sont mobiles, ou faciles à dissoudre dans l'eau, et que d'autres sont fixés dans les roches. Le fait qu'un élément soit mobile ou immobile dépend non seulement du type d'élément mais aussi des propriétés du fluide. Le fluide était-il acide, salin, oxydant, etc. ? Les résultats montrent que les éléments immobiles sont corrélés entre eux, et fortement enrichis à des altitudes plus éle-

vées dans le profil rocheux. Cela indique une altération descendante comme celle que l'on observe dans les sols. En outre, il montre que le fer s'appauvrit à mesure que l'altération augmente, ce qui signifie que l'atmosphère de l'époque était réductrice sur l'ancienne Mars, et non oxydante comme sur la planète « rouillée » actuelle.

Comprendre comment l'atmosphère martienne, et la surface dans son ensemble, ont évolué est important pour l'étude d'une éventuelle vie martienne, ainsi que pour notre compréhension de la façon dont la Terre a pu changer au cours de son histoire. De toute évidence, l'étude de Mars est extrêmement difficile, et l'intégration de méthodologies créatives et technologiquement avancées est nécessaire.

Les nouvelles données ont demandé des techniques de télédétection pour comprendre la composition chimique des anciens sédiments et nous renseigner sur leur développement précoce. Elles remettent en question les hypothèses existantes concernant à la fois l'environnement de ces formations rocheuses

uniques et les conditions atmosphériques dans lesquelles elles se sont formées. Plus précisément, l'étude met en évidence des processus d'altération sous une atmosphère réductrice dans un environnement désertique, plutôt qu'une formation dans un environnement lacustre aqueux. Ce travail devrait inspirer des directions nouvelles et passionnantes pour les recherches futures.

*Le cratère Gale vu par la caméra stéréo haute résolution (HRSC) de Curiosity, avec l'élévation colorée en bleu. L'image de gauche montre le modèle standard où le cratère Gale est généralement supposé avoir été le site d'un grand lac. L'image de droite est le nouveau modèle dans lequel seuls de très petits lacs peu profonds existaient sur le sol du cratère de Gale. La plupart des sédiments ont été déposés par l'atmosphère, puis altérés par les précipitations ou la fonte des glaces. L'ellipse marque le site d'atterrissage du rover.  
(ESA/HRSC/DLR)*

Large lake model



Small lakes model



## ***Mars : pas de lac souterrain polaire ?***

*Basé sur un communiqué NASA*

De nouvelles études ont jeté le doute sur l'hypothèse de l'existence de lacs souterrains sous le pôle sud martien.

Là où il y a de l'eau, il y a de la vie. C'est du moins le cas sur Terre, et c'est la raison pour laquelle les scientifiques restent fascinés par tout indice suggérant la présence d'eau liquide sur la planète Mars, froide et sèche. La Planète rouge est un endroit difficile pour la recherche d'eau liquide : si la glace d'eau y est abondante, de l'eau suffisamment chaude pour être liquide à la surface ne subsisterait que quelques instants avant de se transformer en vapeur dans l'atmosphère.

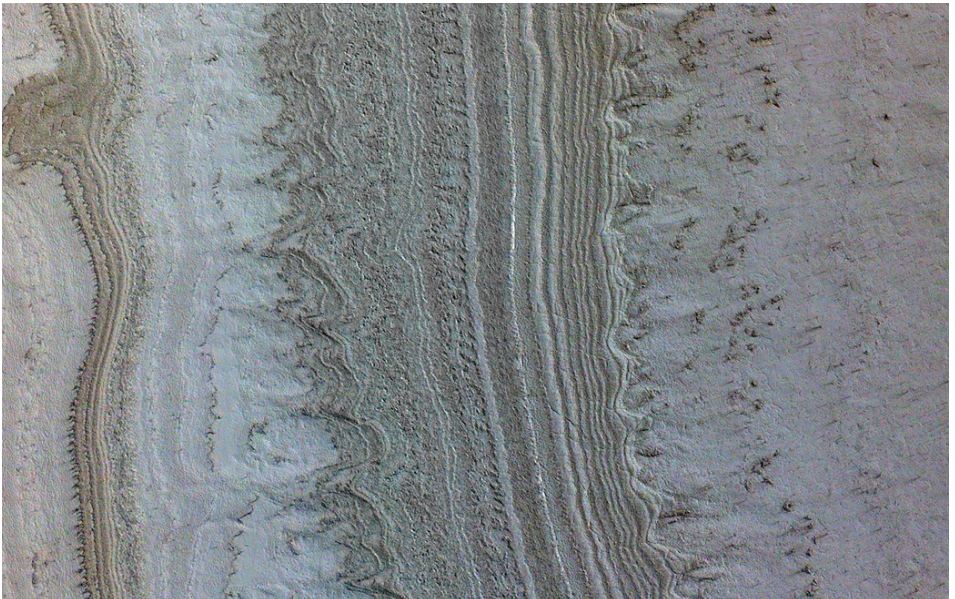
D'où l'intérêt suscité en 2018, lorsqu'une équipe a annoncé avoir trouvé des preuves de la présence de lacs souterrains sous la calotte glaciaire du pôle sud de Mars (cf. *Le Ciel*, septembre 2018, p 421). Les preuves données

provenaient d'un instrument radar embarqué dans l'orbiteur Mars Express de l'ESA.

Les signaux radar, qui peuvent pénétrer la roche et la glace, changent lorsqu'ils sont réfléchis par différents matériaux. Dans ce cas, ils ont produit des signaux particulièrement brillants sous la calotte polaire, qui pourraient être interprétés comme de l'eau liquide. La possibilité d'un environnement potentiellement habitable pour les microbes était excitante.

Mais après avoir examiné de plus près les données et mené des expériences en laboratoire, certains scientifiques pensent mainte-

***Cette image prise par le Mars Reconnaissance Orbiter de la NASA montre des couches de glace au pôle sud de Mars. L'engin spatial a détecté des argiles à proximité de cette glace. Les scientifiques ont proposé que ces argiles sont la source des réflexions radar qui avaient été précédemment interprétées comme de l'eau liquide. (NASA/JPL-Caltech/Université d'Arizona/JHU)***

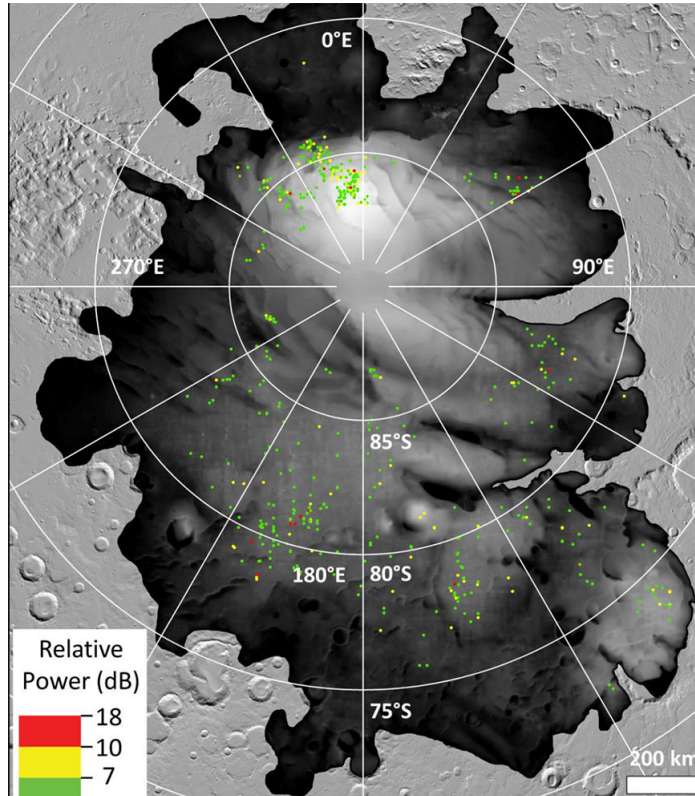


*Les points colorés représentent les sites où des réflexions radar brillantes ont été repérées par l'orbiteur Mars Express de l'ESA sur la calotte polaire sud de Mars. De telles réflexions étaient auparavant interprétées comme de l'eau liquide souterraine, mais leur fréquence et leur proximité avec la surface glacée suggèrent qu'il pourrait s'agir d'autre chose. (ESA/NASA/JPL-Caltech)*

nant que ce sont des argiles, et non de l'eau, qui pourraient être à l'origine des signaux.

Les lacs souterrains ont fait l'objet de nombreuses discussions. Quelle quantité de chaleur faudrait-il pour que l'eau reste liquide sous toute cette glace? La saumure pourrait-elle abaisser suffisamment le point de congélation de l'eau pour la garder liquide?

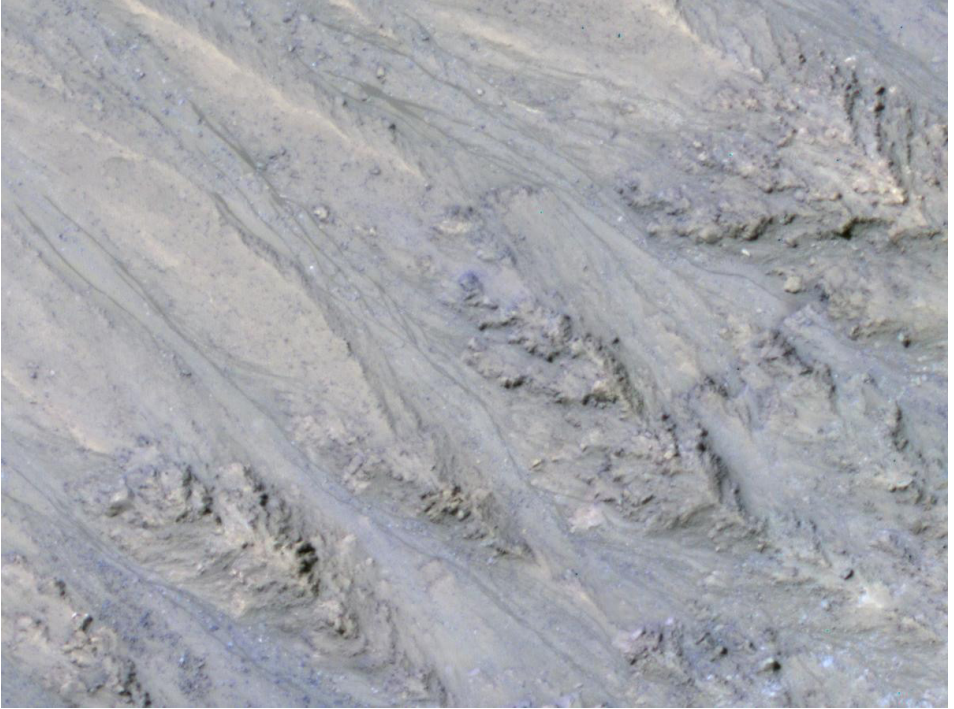
Bien sûr, ce ne serait pas la première fois qu'une hypothèse passionnante liée à l'eau déclenche une rafale d'enquêtes. En 2015, le satellite martien MRO (Mars Reconnaissance Orbiter) a découvert ce qui ressemblait à des traînées de sable humide dévalant des pentes, un phénomène appelé « recurring slope lineae ». Mais des observations répétées à l'aide de la caméra HiRISE (High-Resolution Imaging Science Experiment) de l'orbiteur ont depuis révélé qu'il s'agit plus probablement du résultat de coulées de sable. On a ainsi trouvé nombre de ces lineae après une tempête de poussière globale sur Mars en 2018. Cette découverte suggère que la poussière qui se dépose sur les pentes déclenche des écoulements de sable qui, à leur tour, exposent les matériaux de subsurface plus sombres qui donnent aux lineae leur coloration distinctive.



Comme pour l'hypothèse du sable humide, plusieurs scientifiques ont commencé à réfléchir à des moyens de tester l'hypothèse des lacs de subsurface.

L'analyse de 44 000 échos radar de la calotte polaire obtenus en 15 ans par l'orbiteur ARSIS a mis en évidence des dizaines d'autres réflexions brillantes comme celles de l'étude de 2018. Mais beaucoup de ces signaux proviennent de zones proches de la surface, où il devrait faire trop froid pour que l'eau reste liquide, même mélangée à des perchlorates, un type de sel que l'on trouve couramment sur Mars et qui peut abaisser la température de congélation de l'eau.

Les scientifiques ont alors analysé les signaux radar pour déterminer si autre chose pouvait produire ces signaux.



Une étude théorique a suggéré plusieurs matériaux susceptibles de produire ces signaux, notamment des argiles, des minéraux métallifères et de la glace saline. Un groupe d'argiles, les smectites, est présent partout sur Mars. Les smectites ressemblent à des roches ordinaires mais elles ont été formées par de l'eau liquide il y a longtemps. Plusieurs échantillons de smectite ont été placés dans un cylindre conçu pour mesurer la façon dont les signaux radar interagissent avec eux. Ils ont été plongés dans de l'azote liquide, à des températures proches de celles du pôle sud de Mars. Les scientifiques ont pu constater que leur réponse correspondait presque parfaitement aux observations du radar MARSIS. Les smectites peuvent produire des reflets sans avoir besoin d'une abondance particulière de sel ou de conditions spéciales de température.

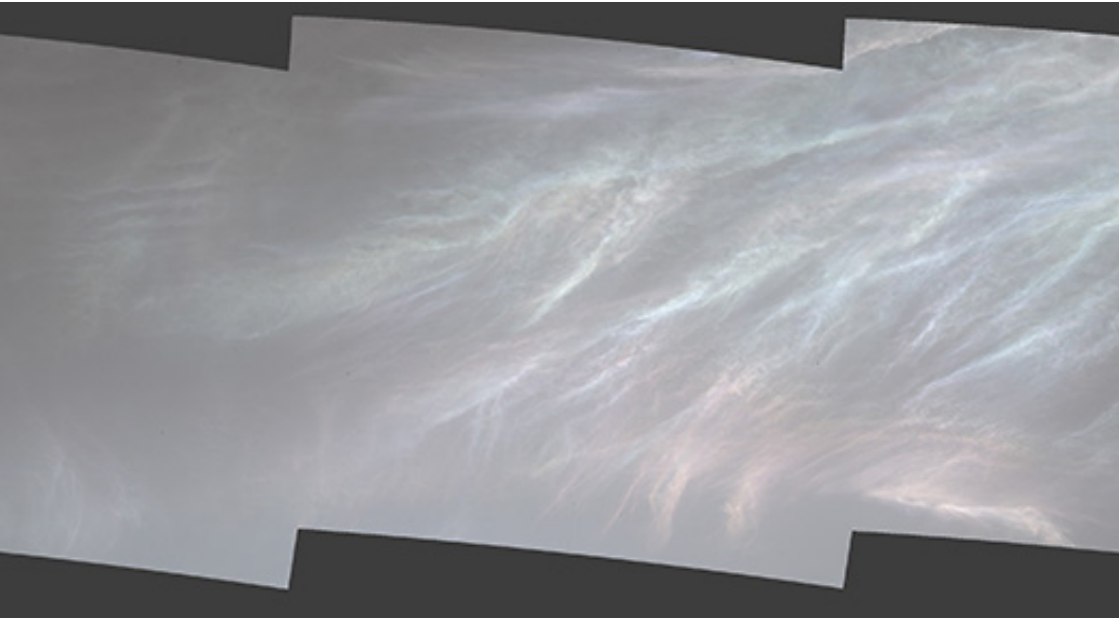
Il restait à vérifier la présence des argiles sur Mars à proximité de ces observations radar. Les données de l'instrument

***Des RSL (recurrent slope lineae) sur les flancs intérieurs d'un cratère martien. On les interprète maintenant comme des coulées de sable plutôt que comme un assombrissement dû à des écoulements d'eau. L'image provient de la caméra HiRISE de l'orbiteur martien MRO.***

***(NASA/JPL-Caltech/UA/USGS)***

CRISM (Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer) du MRO montrent qu'il y en a effectivement, dispersées à proximité de la calotte glaciaire du pôle sud.

Il n'y a actuellement aucun moyen de confirmer l'origine des signaux radar brillants sans envoyer une mission au pôle sud de Mars capable de creuser à travers des kilomètres de glace. Mais les nouvelles études offrent des explications plausibles qui sont plus logiques que l'eau liquide.



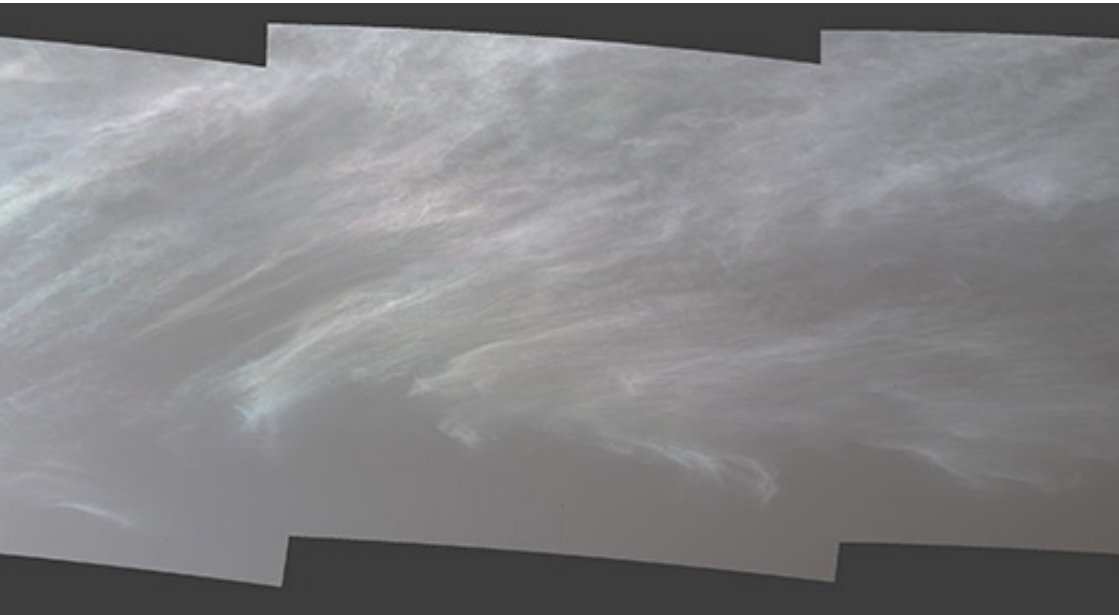


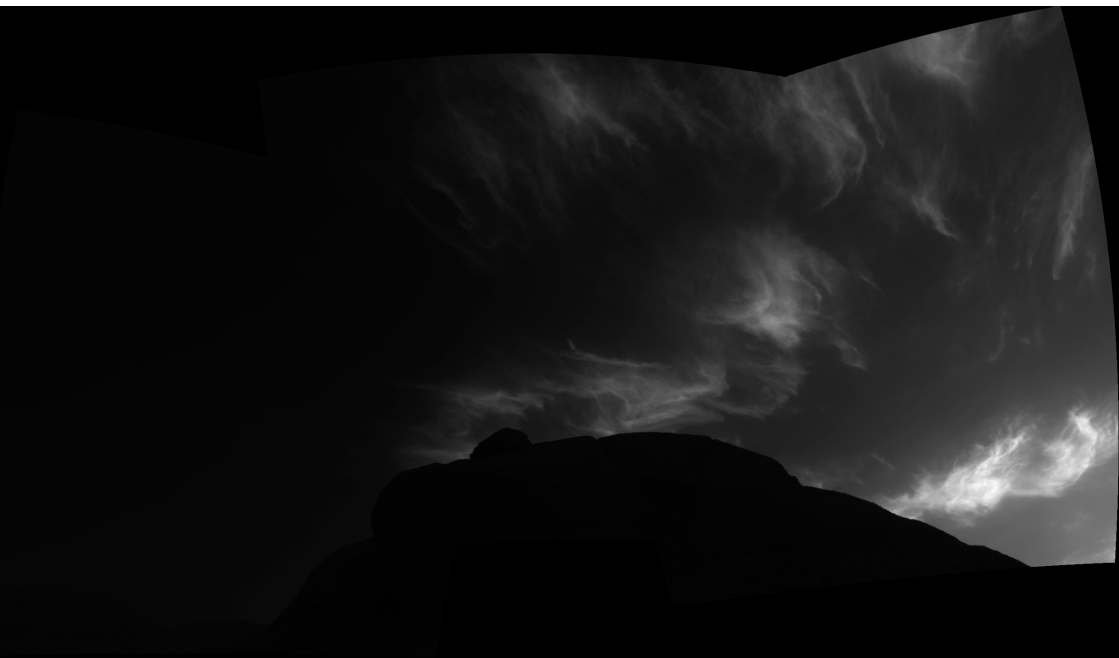
## ***Nuages sur Mars***

Les images rapportées par les diverses sondes spatiales montrent que les futurs visiteurs de Mars auront affaire à un monde bien terne. La faible luminosité solaire et un paysage de roche et de sable allant de l'orangé sale au gris rouille feraient la fortune des «*luminothérapeutes* ». Lever les yeux au ciel ne ferait que donner un coup supplémentaire au moral, l'atmosphère ténue tenant en suspension des quantités plus ou moins grandes de la même poussière qui recouvre le sol. Ne parlons pas des tempêtes globales qui peuvent transformer le jour en nuit.

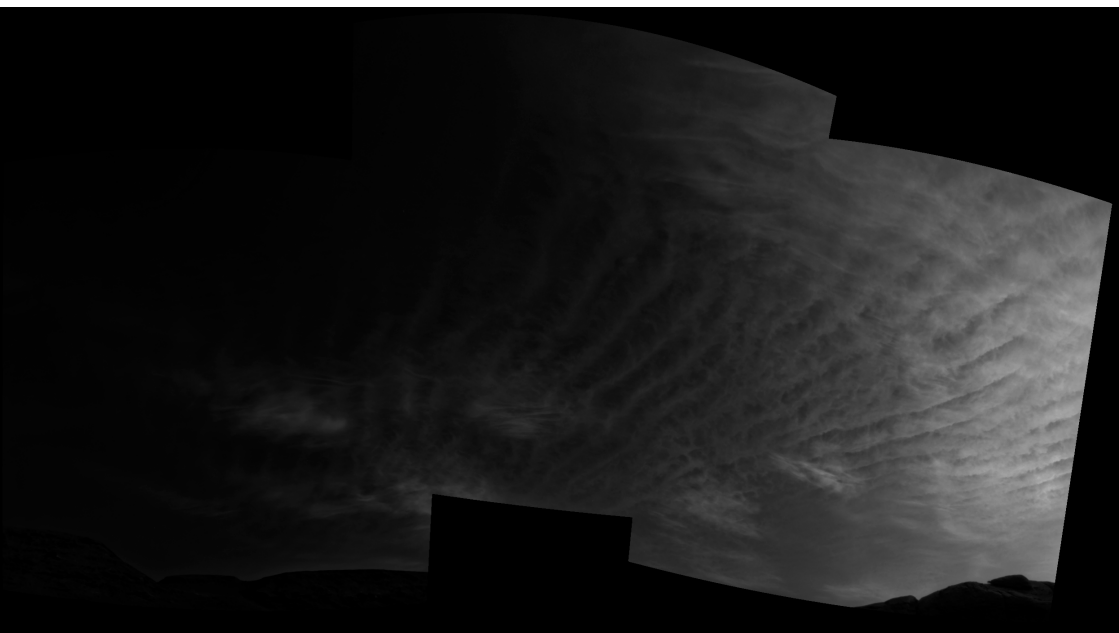
Seules touches parfois un peu colorées, de rares nuages semblables aux nuages noctulescents (ou noctiluques) que l'on peut observer chez nous en été (cf. *Le Ciel*, septembre 2021, «*Les observateurs* », p. 456 ). Ces nuages de glace, de haute altitude, se voient au crépuscule quand ils sont éclairés par un Soleil sous l'horizon de l'observateur.

***Nuages martiens photographiés par Curiosity.  
(NASA/JPL-Caltech/MSSS)***

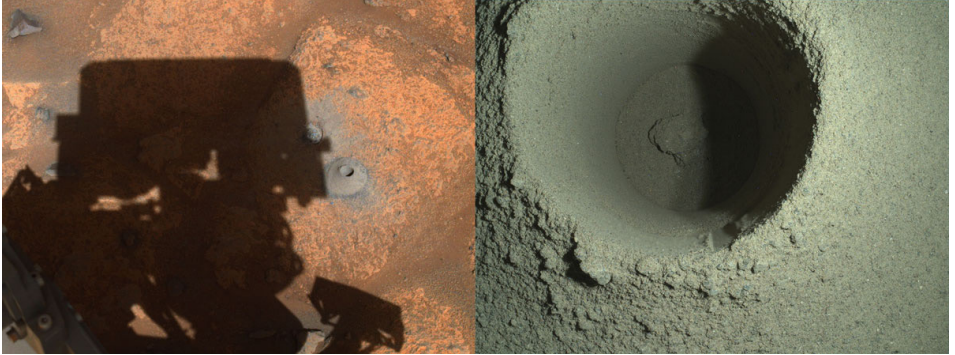




*Nuages martiens photographiés par Curiosity.  
(NASA/JPL-Caltech)*







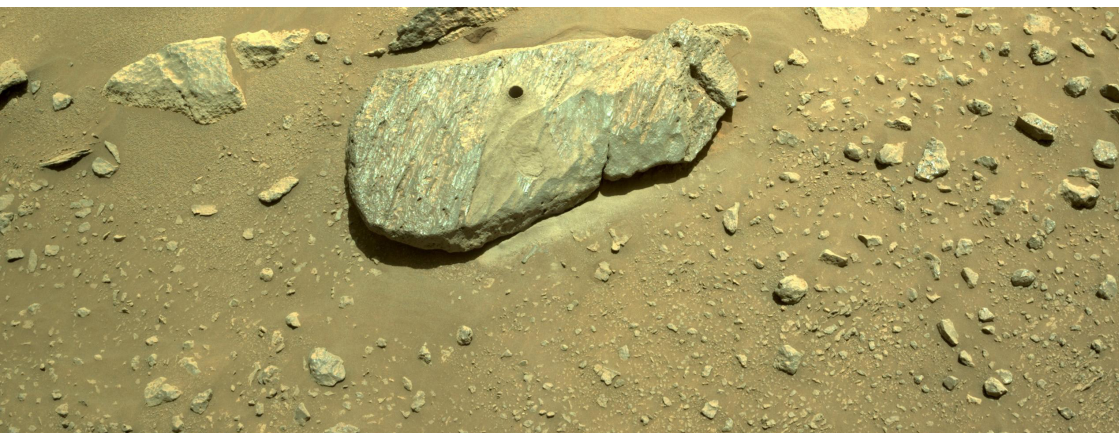
## ***Perseverance***

Le 6 août, la première tentative de prise d'un échantillon de roche martienne s'est soldée par un échec pour la sonde Perseverance. Non pas que le carottage eût mal fonctionné : la roche avait bien été forée jusqu'à une profondeur de 7 centimètres comme en témoignent les images montrant le trou et le petit tas de débris. Les manipulations destinées à remplir, sceller et stocker le tube d'échantillon s'étaient effectuées comme prévu. Mais il est vite apparu que le tube était vide. Cela ne s'était jamais produit au cours de la centaine d'essais sur Terre. Il est probable que les propriétés inhabituelles de la roche n'ont permis de produire que de la poudre et pas de vraie carotte.

Un second forage effectué quelques semaines plus tard sur un site censé couvert de roches sédimentaires semble avoir été plus fructueux.

**▲ Première tentative de collecte d'échantillons par Perseverance. L'image de gauche a été prise par l'une des caméras de navigation. Celle de droite est un composite de plusieurs images prises par la caméra WATSON. (NASA/JPL-Caltech/MSSS)**

**▼ Composite de deux images obtenues le 1<sup>er</sup> septembre 2021 et montrant le second forage de Perseverance. Le rocher a été surnommé « Rochette » et le point précis où l'échantillon a été prélevé « Montdenier ». (NASA/JPL-Caltech)**



## **Bennu**

*Basé sur un communiqué NASA*

Les données de la sonde OSIRIS-REx (Origins, Spectral Interpretation, Resource Identification, Security-Regolith Explorer) ont permis de préciser la trajectoire de l'astéroïde potentiellement dangereux Bennu jusqu'en 2300, réduisant ainsi considérablement les incertitudes liées à son orbite et affinant la probabilité d'impact. Une des missions de la NASA consiste à trouver et à surveiller les astéroïdes et les comètes qui peuvent s'approcher de la Terre et constituer un danger pour notre planète. Cela se fait par le biais de mesures astronomiques continues pour découvrir des objets inconnus et en calculer les orbites. La mission OSIRIS-REx a fourni une occasion extraordinaire d'affiner et de tester ces modèles.

En 2135, l'astéroïde Bennu se rapprochera de la Terre. Bien que l'objet géocroiseur ne représentera pas un danger pour notre planète à ce moment-là, les scientifiques doivent comprendre la trajectoire exacte de Bennu lors de cette rencontre afin de prédire comment la gravité de la Terre la modifiera et affectera le risque d'impact sur la Terre.

Grâce au Deep Space Network de la NASA et à des modèles informatiques de pointe, les scientifiques ont pu réduire considérablement les incertitudes liées à l'orbite de Bennu et déterminer que la probabilité totale d'impact jusqu'en 2300 est d'environ 1 sur 1750 (soit 0,057 %). Les chercheurs ont également pu identifier le 24 septembre 2182 comme la date la plus significative en termes d'impact potentiel, avec une probabilité d'impact de 1 sur 2700 (soit environ 0,037 %). Jamais la trajectoire d'un astéroïde n'avait été calculée avec cette précision.

Bien que les risques pour qu'il heurte la Terre soient très faibles, Bennu reste l'un des deux astéroïdes connus les plus dangereux du Système solaire, l'autre astéroïde étant 1950 DA.

Avant de quitter Bennu le 10 mai 2021, OSIRIS-REx avait passé plus de deux ans

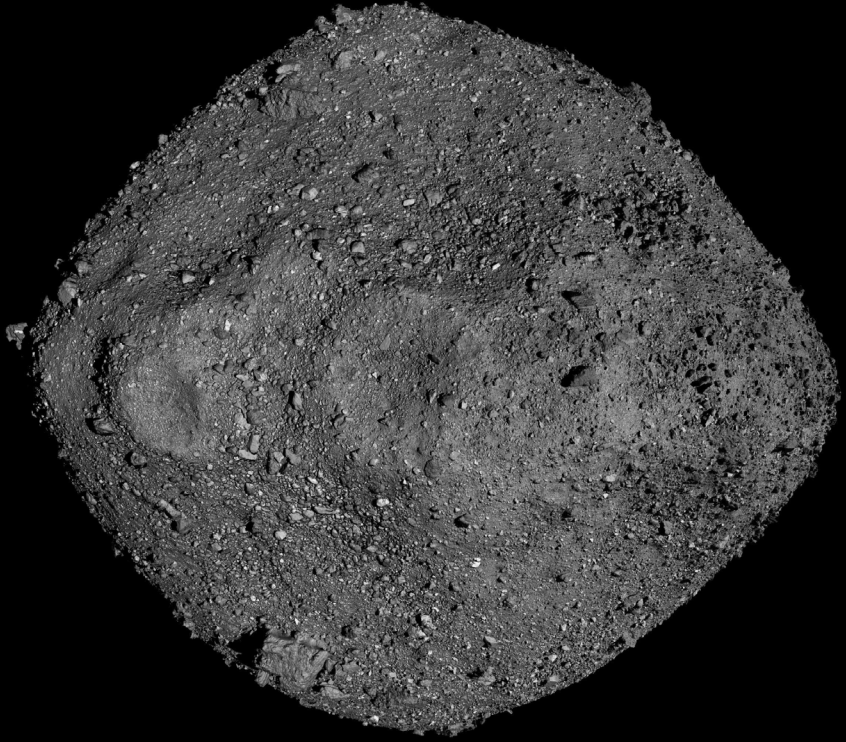
à proximité de l'astéroïde, recueillant des informations sur sa taille (il mesure environ 500 mètres de large), sa forme, sa masse et sa composition, tout en surveillant sa rotation et sa trajectoire orbitale. La sonde a prélevé un échantillon de roche et de poussière à la surface de l'astéroïde – échantillon qu'elle ramènera sur Terre le 24 septembre 2023 pour des analyses poussées.

Les nouveaux calculs permettent de mieux déterminer comment l'orbite de l'astéroïde évoluera dans le temps et s'il passera par un « trou de serrure gravitationnel » lors de son approche de 2135. Ces trous de serrure sont des zones de l'espace qui mettraient Bennu sur la voie d'un futur impact avec la Terre si l'astéroïde les traversait à certains moments, en raison de l'effet de la force gravitationnelle de la Terre.

Pour calculer l'endroit exact où l'astéroïde se trouvera lors de son approche de 2135, et s'il pourrait passer par un trou de serrure gravitationnel, il a fallu évaluer différents types de petites forces susceptibles d'affecter l'astéroïde dans son orbite autour du Soleil. Même la plus faible de ces forces peut dévier considérablement la trajectoire de l'astéroïde au fil du temps, le faisant passer à travers, ou manquer complètement un trou de serrure.

Parmi ces forces, la chaleur du Soleil joue un rôle crucial. Lorsqu'un astéroïde se déplace autour du Soleil, la lumière du Soleil réchauffe la face qui est dirigée vers lui. En tournant la surface chauffée se refroidit lorsqu'elle entre dans la partie nocturne. Elle libère de l'énergie infrarouge, ce qui génère une petite poussée sur l'astéroïde – un phénomène appelé effet Yarkovsky. Sur de courtes périodes, cette poussée est minuscule, mais sur de longues périodes, les effets s'accumulent et peuvent jouer un rôle important dans la modification de la trajectoire d'un astéroïde.

L'effet Yarkovsky agit sur les astéroïdes de toutes tailles et, s'il a été mesuré pour un petit nombre d'entre eux, OSIRIS-REx nous a donné la première occasion de le mesurer en détail alors que Bennu voyageait autour du Soleil. La force exercée sur Bennu équivaut au



pois de trois grains de raisins. C'est minime, mais significatif pour déterminer les risques d'un impact de Benu au cours des décennies et des siècles à venir.

L'équipe a également pris en compte de nombreuses autres forces perturbatrices, notamment l'attraction des planètes, de leurs lunes et de plus de 300 autres astéroïdes, la traînée causée par la poussière interplanétaire, la pression du vent solaire et les événements d'éjection de particules de Benu. Les chercheurs ont même évalué la force exercée par OSIRIS-REx lors de l'opération de collecte d'échantillons TAG (Touch-And-Go) du 20 octobre 2020, afin de déterminer si elle avait pu modifier légèrement l'orbite de Benu, confirmant ainsi les estimations précédentes

*Mosaïque de Benu créée à partir d'observations faites par la sonde OSIRIS-REx durant ses deux années passées à proximité de l'astéroïde. (NASA/Goddard/University of Arizona)*

selon lesquelles l'opération TAG avait eu un effet négligeable.

Le vaisseau spatial rentre maintenant chez lui, emportant un précieux échantillon de ce fascinant objet ancien qui nous aidera à mieux comprendre non seulement l'histoire du Système solaire mais aussi le rôle de la lumière solaire dans la modification de l'orbite de Benu puisque nous mesurerons les propriétés thermiques de l'astéroïde à des échelles inaccessibles aux laboratoires terrestres.

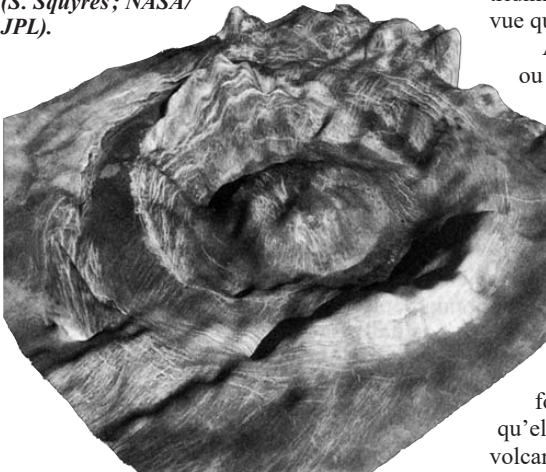
## **Volcanisme vénusien**

*Basé sur un communiqué PSI*

De nouvelles analyses ont permis de trouver des signes de volcanisme récent dans les données d'archives de la sonde Magellan. D'un point de vue géologique, « récent » peut signifier que l'activité a encore lieu aujourd'hui ou qu'elle s'est produite il y a quelques dizaines de millions d'années. Ces résultats viennent s'ajouter aux preuves de plus en plus nombreuses que les volcans de Vénus ne se sont pas éteints il y a aussi longtemps que beaucoup le pensaient.

Au cours des 31 années qui ont suivi la mise en orbite de la sonde Magellan de la NASA autour de Vénus, les chercheurs ont utilisé les images radar, la topographie et la cartographie gravimétrique de la mission pour comprendre l'histoire de la surface de ce monde couvert de nuages. Les premiers résultats ont montré que Vénus possède beaucoup moins de cratères d'impact à sa surface que ses cousines Mars et Mercure, et qu'ils sont dispersés au hasard sur la planète. Les cratères s'accumulent avec le temps et leur faible nombre sur Vénus signifie que la surface a été nettoyée il y a environ 300 millions à un mil-

***Des fractures orientent de nombreuses « coronas » comme celle d'Aramaiti, vue ici en 3D.***  
*(S. Squyres ; NASA/JPL).*

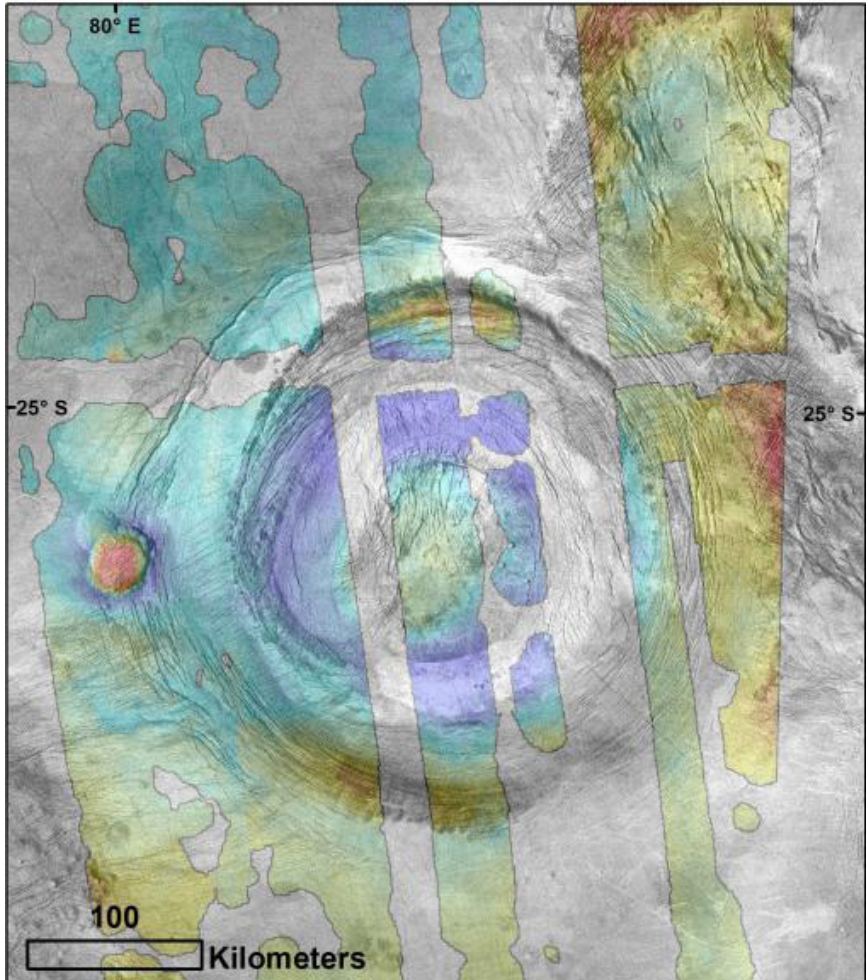


liard d'années. On ne sait pas si c'est un seul événement catastrophique ou une série d'événements répartis au hasard qui ont remodelé toute la surface de la planète. Peut-être y a-t-il eu une combinaison des deux scénarios.

Pour comprendre ce qui s'est passé, il est nécessaire de déterminer quand les volcans ont été actifs. La question de savoir si Vénus a connu un volcanisme géologiquement récent ou continu est une énigme qui perdure depuis la mission Magellan. Il n'y a toujours pas de preuve irréfutable à ce sujet, mais de plus en plus d'indices suggèrent une planète récemment – voire actuellement – active.

Avec l'amélioration des ordinateurs, il est devenu possible de faire de plus en plus de choses avec les données limitées de Magellan. Des chercheurs ont utilisé un ensemble de données topographiques stéréo à haute résolution pour observer un volcan à la limite de la couronne d'Aramaiti, d'une largeur de 350 kilomètres. Les couronnes sont des structures circulaires entourées d'un anneau de fissures. On pense qu'il s'agit de grandes failles. Dans certaines couronnes, comme celle d'Aramaiti, on observe des volcans et/ou des coulées de lave à proximité de ces fractures ou sur celles-ci. Le volcan étudié faisait partie des 20% de la surface de Vénus qui ont eu la chance d'être imagés en stéréo avec un radar à synthèse d'ouverture (SAR), qui a révélé la structure tridimensionnelle, offrant ainsi une meilleure vue qu'une simple image.

Au lieu de regarder la surface du volcan ou des coulées, on peut voir comment le poids du volcan déforme le sol qui l'entoure. Le même type de déformation est observé dans le plancher océanique autour des îles hawaïennes. La mesure de la déformation permet de déduire des propriétés comme le flux de chaleur local. Au fil du temps, ces types de structures peuvent évoluer, et le degré de déformation observé permet aussi de déterminer un âge. Ainsi, les modélisations suggèrent, d'après la forme et la topographie de la couronne, qu'elle est géologiquement jeune, et qu'un volcanisme récent similaire lui est associé.



Cette structure particulière est unique dans l'ensemble limité de données de Magellan. Seules sept autres couronnes sur les 20 % de Vénus que Magellan a étudiées avec le SAR ont des volcans à flancs abrupts sur, ou près de leur anneau fracturé comme celui d'Aramaiti. De plus, les données de topographie stéréo étudiées étaient d'une qualité particulièrement élevée. Avec trois futures missions prévues sur Vénus, les astronomes se réjouissent d'explorer bientôt cette question plus en détail à l'avenir.

*Image SAR Magellan de la couronne d'Aramaiti. Narina Tholus (centre gauche) apparaît comme deux dômes adjacents qui sont superposés sur l'anneau de fracture extérieur ouest. (Russell et al., 2021)*

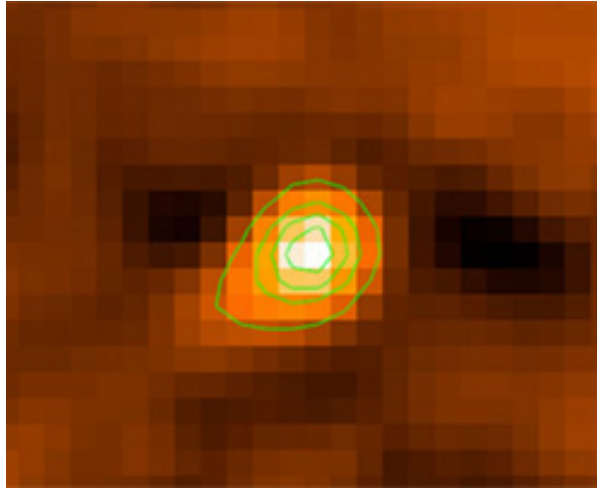
## Phaéton

*Basé sur un communiqué JPL*

Phaéton<sup>1</sup> est l'un des principaux astéroïdes qui s'approchent le plus du Soleil. Il est à l'origine de l'essaim des météorites donnant les étoiles filantes des Géminides en décembre. Outre son orbite très excentrique qui ressemble plus à celle d'une comète que d'un astéroïde, Phaéton montre une queue de poussière.

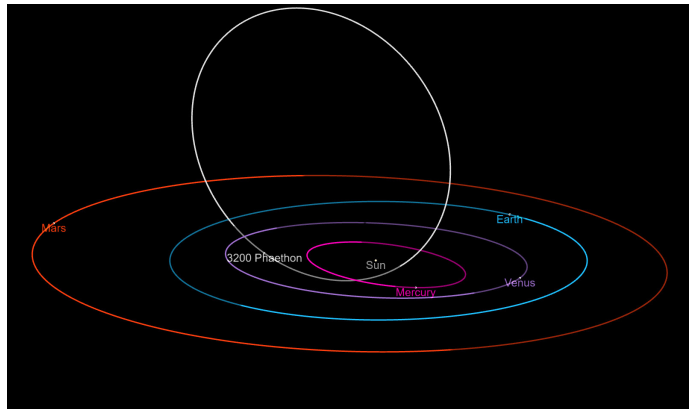
Lorsqu'une comète s'approche du Soleil, la vaporisation des glaces situées sous sa surface déloge la poussière et les roches, et le tout forme une ou plusieurs queues caractéristiques. Les astéroïdes sont principalement constitués de roches et ne sont pas connus pour produire ces queues majestueuses. Mais une nouvelle étude examine comment l'astéroïde géocroiseur Phaéton pourrait en fait présenter une activité semblable à celle des comètes, malgré l'absence de quantités significatives de glace.

Qu'est-ce qui pourrait expliquer l'activité de Phaéton ? Le coupable pourrait être le sodium. L'orbite allongée de Phaéton, d'une durée de 524 jours, place l'objet bien à l'intérieur de l'orbite de Mercure, période pendant laquelle le Soleil chauffe la surface de l'astéroïde à environ 750 degrés Celsius. Les glaces d'eau, de dioxyde de carbone et de monoxyde de carbone situées près de la surface de l'objet ont dû s'éliminer depuis longtemps. Mais il semble que du sodium, relativement abondant dans les astéroïdes, pourrait

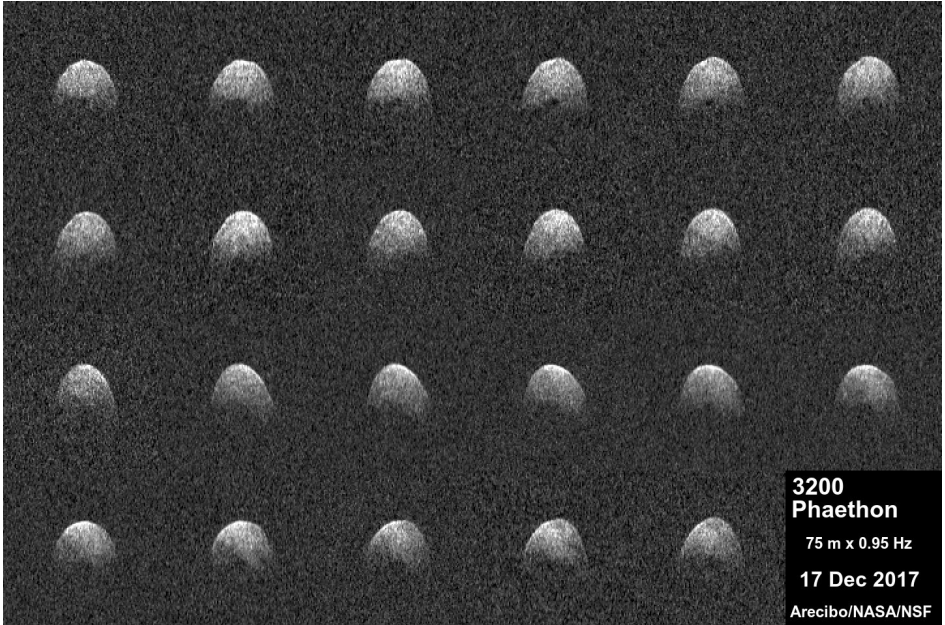


**Phaéton, vu par la sonde Stereo A. On distingue une ébauche de queue vers la gauche. (Jewitt et al., NASA / STEREO)**

**Illustration de l'orbite de Phaéton. (JPL Horizons)**



<sup>1</sup> Le nom officiel de l'astéroïde est (3200) Phaethon (du grec ancien Φαέθων, le brillant). L'appellation Phaéton avait aussi été attribuée à l'hypothétique planète qui aurait été à l'origine des astéroïdes se trouvant entre Mars et Jupiter.



*Images radar de Phaéon obtenues avec l'antenne de 300 m de l'observatoire d'Arecibo.  
(Arecibo Observatory/NASA/NSF)*

diffuser de l'intérieur et être l'élément moteur de l'activité.

Les spectres des étoiles filantes Géminides sont particulièrement pauvres en sodium. On supposait que ces petits cailloux avaient perdu leur sodium après avoir quitté l'astéroïde, mais une étude suggère une autre hypothèse, avec un rôle clé pour le sodium dans l'éjection des météorites.

Le sodium situé profondément sous la surface se vaporise et diffuse au travers des fissures et des crevasses de la croûte. Ce flux n'a rien du caractère explosif des geysers des comètes normales, mais il aurait malgré tout assez de puissance pour éjecter les débris rocheux de sa surface. Le sodium pourrait donc expliquer non seulement l'activité de Phaéon mais aussi pourquoi les Géminides contiennent peu de sodium.

Pour savoir si le sodium se transforme en vapeur et s'échappe de la roche d'un astéroïde, les chercheurs ont testé en laboratoire des échantillons de la météorite Allende, tombée

au-dessus du Mexique en 1969. Cette météorite pourrait provenir d'un astéroïde comparable à Phaéon et appartient à une classe de météorites, les chondrites carbonées, qui se sont formées au tout début du Système solaire. Les chercheurs ont chauffé des échantillons de la météorite à la température la plus élevée que Phaéon a pu connaître au long de son orbite. Cette température est à peu près celle à laquelle le sodium s'échappe de ses composants rocheux. Cet effet de chauffage a été simulé sur une rotation de Phaéon, soit trois heures. Les tests ont montré que le sodium avait disparu, tandis que les autres éléments étaient restés et c'est ce qui se passe sans doute sur l'astéroïde.

Cette étude rejoint un faisceau d'arguments selon lesquels la dichotomie entre astéroïdes et comètes est trop simpliste.

## Comète C/2019 Y4 (ATLAS)

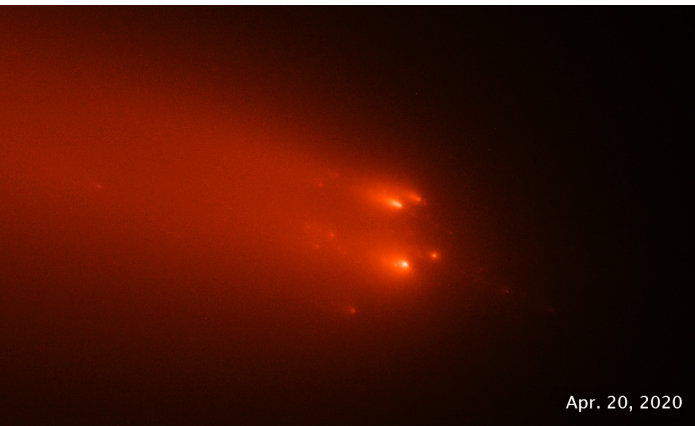
Basé sur un communiqué NASA/ESA

Une étude basée sur les observations du télescope spatial suggère que la comète C/2019 Y4 (ATLAS) est un fragment d'une grosse comète qui est passée au voisinage du Soleil il y a 5 000 ans. ATLAS suit en effet la même orbite qu'une comète apparue en 1844. Cela signifie que les deux objets sont probablement issus d'un même astre parent qui s'est brisé plusieurs siècles auparavant. De telles familles de comètes sont courantes. L'exemple visuel le plus spectaculaire date de 1994, lorsque la comète Shoemaker-Levy 9 (SL9) s'est divisée en un chapelet de fragments sous l'influence de la force gravitationnelle

de Jupiter. Ce train de comètes n'a pas duré longtemps. Il est tombé morceau par morceau dans Jupiter en juillet 1994.

Curieusement, ATLAS s'est désintégrée alors qu'elle était assez loin du Soleil, à une distance de plus de 100 millions de kilomètres. Si elle s'est brisée aussi loin du Soleil, comment a-t-elle pu survivre à son dernier passage autour du Soleil, il y a 50 siècles ? C'est la première fois que l'on voit un membre de la famille d'une comète à longue période se briser avant de passer très près du Soleil.

L'observation de la fragmentation donne des indices sur la façon dont la comète mère s'est constituée. L'une des possibilités est que les courants de matière éjectée ont fait tourner la comète si vite que les forces centrifuges l'ont déchirée. Une autre explication est que la comète contient des glaces super-volatiles qui l'ont fait exploser.



Apr. 20, 2020



Apr. 23, 2020

*Ces images de la comète C/2019 Y4 (ATLAS) prises par le télescope spatial Hubble les 20 et 23 avril 2020 révèlent la rupture de son noyau. On a identifié jusqu'à 30 fragments distincts. La comète se trouvait à 91 millions de kilomètres de la Terre lorsque les images ont été prises. La comète pourrait être un morceau brisé d'une comète plus grande qui est passée près du Soleil il y a 5 000 ans.*

*(NASA, ESA, Quanzhi Ye (UMD), Alyssa Pagan (STScl) )*



## Impact K-Pg

Basé sur un communiqué SwRI

Il y a plus de 66 millions d'années, un corps d'une dizaine de kilomètres s'est écrasé dans ce qui est aujourd'hui la péninsule du Yucatan au Mexique et a formé le cratère de Chicxulub, qui fait plus de 90 km de diamètre. Il semble que cet astéroïde, qui a sans doute sonné le glas des dinosaures et de nombreuses autres formes de vie, provenait de la moitié extérieure de la ceinture principale des astéroïdes, une zone située entre les orbites de Mars et de Jupiter. La composition de ces corps correspond à ce que nous savons de l'impacteur K-Pg<sup>1</sup>. Cette région était censée produire peu d'impacteurs mais, en réalité, les processus qui peuvent diriger les gros astéroïdes de cette zone vers la Terre sont au moins dix fois plus fréquents qu'on ne le pensait. Pour étudier l'impact de Chicxulub, les géologues ont déjà examiné des échantillons de roche vieux de 66 millions d'années trouvés sur le sol et dans des carottes de forage. Les résultats indiquent que l'impacteur était semblable aux météorites de la classe des chondrites carbonées qui comptent parmi les matériaux les plus primitifs du Système solaire. Curieusement, alors que les chondrites carbonées sont courantes parmi les nombreux corps de plusieurs kilomètres qui s'approchent de la Terre, aucun de ceux-ci n'a aujourd'hui la taille nécessaire pour reproduire l'impact de Chicxulub avec une probabilité raisonnable.

Pour expliquer leur absence, on a imaginé la fracture d'astéroïdes ou de comètes dans le Système solaire interne, entraînant des vagues d'impacts sur la Terre dont la plus importante a produit le cratère Chicxulub. Si beaucoup de ces modèles présentaient des propriétés intéressantes, aucun ne correspondait de manière satisfaisante à ce que nous savons des astéroïdes et des comètes. Il semblait qu'il nous manquait encore quelque chose d'important.

<sup>1</sup> K-Pg : pour Crétacé-Paléogène, antérieurement dénommé K-T pour Crétacé-Tertiaire. L'ancienne ère Tertiaire a, en effet, fait place au Paléogène et au Néogène.



*Les astronomes ont modélisé les processus évolutifs dans la ceinture principale d'astéroïdes et découvert que les impacteurs, tels que celui qui a mis fin au règne des dinosaures, proviennent probablement de la moitié extérieure de la ceinture principale d'astéroïdes et sont dix fois plus fréquents qu'on ne le pensait jusqu'ici.  
(SwRI/Don Davis)*

Pour résoudre ce problème, les scientifiques ont utilisé des modèles informatiques qui suivent la façon dont les objets s'échappent de la ceinture principale d'astéroïdes. Au fil des siècles, des influences thermiques et gravitationnelles peuvent pousser des astéroïdes vers des orbites proches de la Terre. Un superordinateur de la NASA a suivi 130 000 astéroïdes pendant des centaines de millions d'années. Il est apparu que les astéroïdes de 10 kilomètres provenant de la partie externe de la ceinture frappent la Terre au moins dix fois plus souvent que ce qui avait été calculé auparavant, soit une fois tous les 250 millions d'années en moyenne. Cette échelle de temps est tout à fait compatible avec la formation du cratère Chicxulub il y a 66 millions d'années. En outre, près de la moitié des impacts provenaient de chondrites carbonées, ce qui correspond bien à ce que l'on sait de l'impacteur de Chicxulub.

## LP 40-365

*Basé sur un communiqué Boston University*

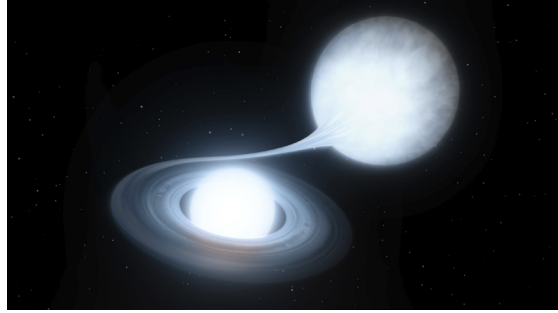
À environ 2 000 années-lumière de la Terre, une étoile file à toute vitesse vers le bord de la Voie lactée. Cette étoile particulière, connue sous le nom de LP 40-365, fait partie d'une race unique d'étoiles rapides – des morceaux résiduels d'étoiles naines blanches massives qui ont survécu après une gigantesque explosion stellaire.

L'étoile LP 40-365 (= GD 492) se déplace si rapidement (plus de 500 kilomètres par seconde) qu'elle est presque certainement en train de quitter la Galaxie. C'est une naine blanche particulière, très riche en métaux, ce qui pour les astronomes signifie surtout pauvre en hydrogène et hélium. On pense qu'elle est issue d'une explosion de supernova qui n'a pas conduit à une destruction totale d'étoile.

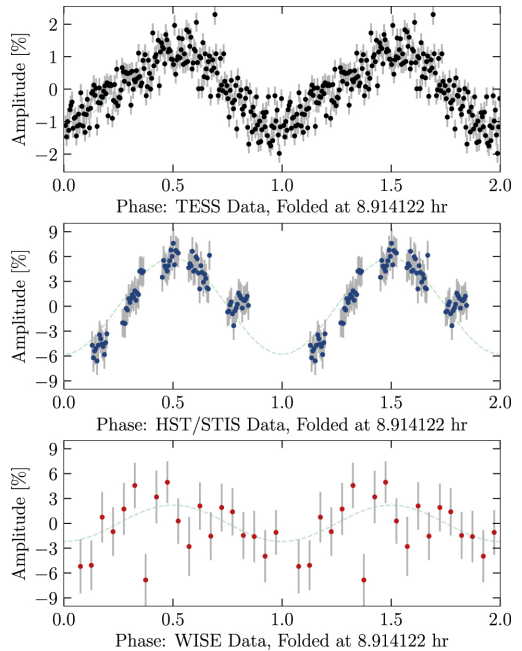
Les données des télescopes spatiaux Hubble, WISE et TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) ont montré une périodicité de 9 heures dans la courbe de lumière et donc une rotation de l'étoile sur elle-même avec cette période. C'est peu comparé à la rotation en 27 jours du Soleil mais pour un fragment d'étoile qui a survécu à une supernova, une période de neuf heures est relativement lente.

Des supernovæ se produisent lorsqu'une naine blanche agrège de la matière d'une compagne proche et devient trop massive pour résister à son poids. La détermination de la vitesse de rotation d'une étoile issue d'une supernova peut fournir des indices sur le système binaire original. Ainsi, des considérations mécaniques sur la conservation du moment angulaire suggèrent que LP 40-365 est un vestige de l'étoile qui a explosé et non la compagne donneuse de matière. Cette dernière a dû être projetée dans la direction opposée.

Les étoiles comme LP 40-365 font non seulement partie des étoiles les plus rapides connues des astronomes, mais aussi des étoiles les plus riches en métaux, sous-produits de réactions nucléaires violentes, et sont des objets particulièrement fascinants à étudier.



***Un transfert de matière entre deux naines blanches proches peut avoir pour résultat une explosion de supernova. (Caltech)***



***Courbes de lumière obtenues en visible (TESS), ultraviolet (Hubble) et en infrarouge proche (WISE), avec une période proche de 9 heures. (Hermes et al., 2021)***

## Messier 82

*Basé sur un communiqué CfA*

La galaxie Messier 82 (M82 ou NGC 3034), dans la Grande Ourse, est particulièrement lumineuse du fait d'une intense activité de formation stellaire que l'on attribue généralement au voisinage de la belle spirale M81. L'épisode de formation d'étoiles s'accompagne d'un violent vent bipolaire prenant naissance près du noyau de la galaxie. Le vent s'étend perpendiculairement au plan galactique au travers du halo et jusqu'au milieu intergalactique. Le gaz ionisé trace une structure continue sur environ trente-quatre mille années-lumière. Les astronomes pensent que la formation d'étoiles le long de ce super-vent excite le gaz et génère des émissions de rayons X par suite des ondes de chocs.

M82 n'est pas la seule galaxie à montrer des vents bipolaires, mais comme elle est relativement proche et vue presque de face, son étude est plus facile. Une question clé concerne la matière qui s'écoule dans le vent. Si elle s'échappe et se dépose dans l'espace entre les galaxies, elle enrichit le milieu intergalactique, mais si elle retombe vers la galaxie, elle peut stimuler la formation d'étoiles dans les régions extérieures. Le champ magné-

*La galaxie Messier 82. Image composite réalisée à partir de données de Chandra, Spitzer et du télescope spatial Hubble (HST). Les rayons X apparaissent en bleu, l'infrarouge en rouge, la lumière visible émise par l'hydrogène en orange et la lumière visible en jaune-vert. (NASA/JPL-Caltech/STScI/CXC/UofA/ESA/AURA/JHU)*





*Le couple M81-M82 dans la Grande Ourse, photographié par Pascal Libeau depuis son observatoire du Thier-à-Liège. (cf. Le Ciel, juin 2018, 380)*

tique du vent apparaît comme un facteur déterminant. Tout dépend du fait que les lignes de champ s'étendent et s'ouvrent dans l'espace ou qu'elles se ferment et s'enroulent en une boucle autour de la galaxie. Jusqu'à présent, les champs magnétiques dans les écoulements galactiques ont été étudiés à l'aide du rayonnement polarisé émis aux longueurs d'onde radio par les électrons se déplaçant dans le flux ionisé. Dans M82, on avait déjà trouvé des champs magnétiques s'étendant à partir de la région centrale et perpendiculairement au disque, mais l'interprétation était complexe et ces études ne permettaient pas de conclure à la fermeture des lignes de champ.

Les astronomes ont maintenant réalisé que le rayonnement infrarouge diffusé par les grains de poussière alignés par ces champs magnétiques pourrait résoudre le débat. La caméra HAWC+ (High-resolution Airborne Wideband Camera-plus) de l'observatoire volant SOFIA a permis de cartographier les

champs magnétiques de M82. Ces résultats ont été analysés avec une technique couramment utilisée par les astronomes solaires. Dans cette approche on extrapole le champ observé moyennant quelques approximations raisonnables sur les courants électriques présents et on complète le tableau avec d'autres données de polarisation issues de la littérature.

Cette étude montre clairement, pour la première fois, que dans M82 les lignes de champ sont ouvertes, et aussi que l'énergie des mouvements turbulents est comparable à celle du champ magnétique. Cela démontre que les vents injectent de la matière dans le milieu intergalactique et enrichissent celui-ci en métaux, puisque la matière a été transformée dans les étoiles.

## L 98-59

Basé sur un communiqué ESO

Des observations réalisées au VLT de l'ESO ont apporté un nouvel éclairage sur les planètes tournant autour de l'étoile proche, L 98-59. Ces planètes forment un système assez semblable au Système solaire interne. L'une d'elles a une masse équivalente à la moitié de celle de Vénus, ce qui en fait l'exoplanète la plus légère jamais mesurée à l'aide de la technique de la vitesse radiale. C'est un monde océanique qui se trouve peut-être dans la zone habitable du système. Elle pourrait posséder une atmosphère, ce qui protégerait et favoriserait la vie.

Ces résultats constituent une étape importante dans la recherche de la vie sur des planètes de taille terrestre en dehors du Système solaire. La détection de biosignatures sur une exoplanète dépend de la capacité à étudier son atmosphère, mais les télescopes actuels ne sont pas assez grands pour atteindre la résolution nécessaire pour les

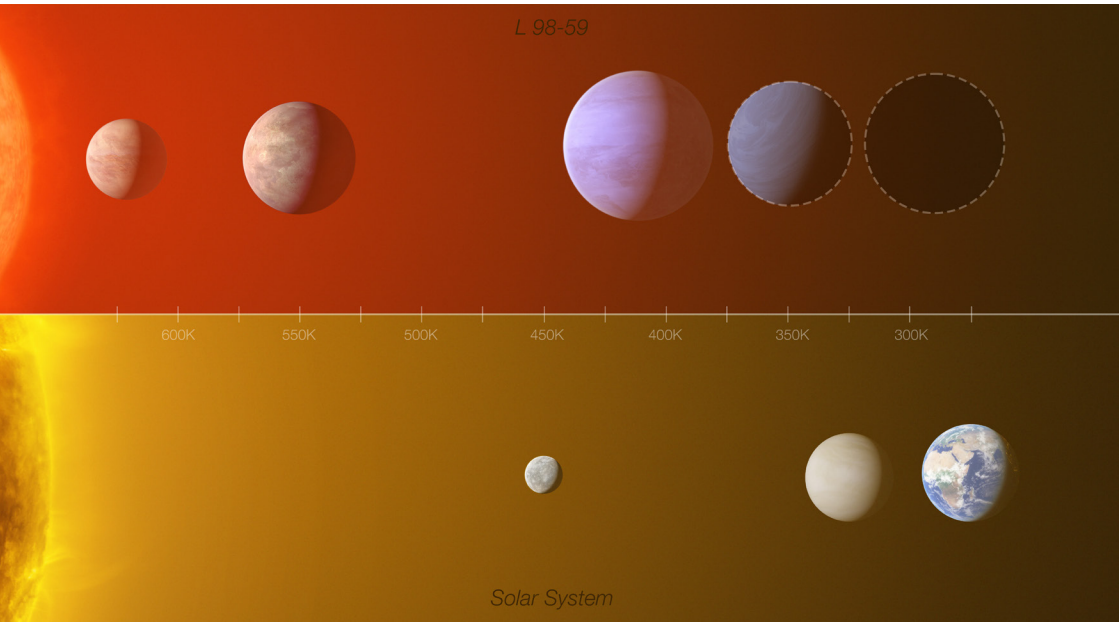
petites planètes rocheuses. À une distance de seulement 35 années-lumière, L 98-59 est donc une cible d'un grand intérêt.

Les astronomes ont déterminé que les deux planètes les plus proches de l'étoile dans le système L 98-59 sont probablement sèches, avec seulement de petites quantités d'eau, tandis que jusqu'à 30 % de la masse de la troisième planète pourrait être constituée d'eau,

*Cette vue d'artiste montre L 98-59b, la planète la plus proche de l'étoile dans le système planétaire L 98-59. Le système se trouve à 35 années-lumière de nous et contient quatre planètes rocheuses confirmées et une cinquième potentielle, la plus éloignée de l'étoile.*

*En 2021, les astronomes ont utilisé les données de l'instrument ESPRESSO pour mesurer la masse de L 98-59b et constater qu'elle est égale à la moitié de celle de Vénus. Cela en fait la planète la plus légère mesurée à ce jour à l'aide de la technique des vitesses radiales. (ESO/M. Kornmesser)*



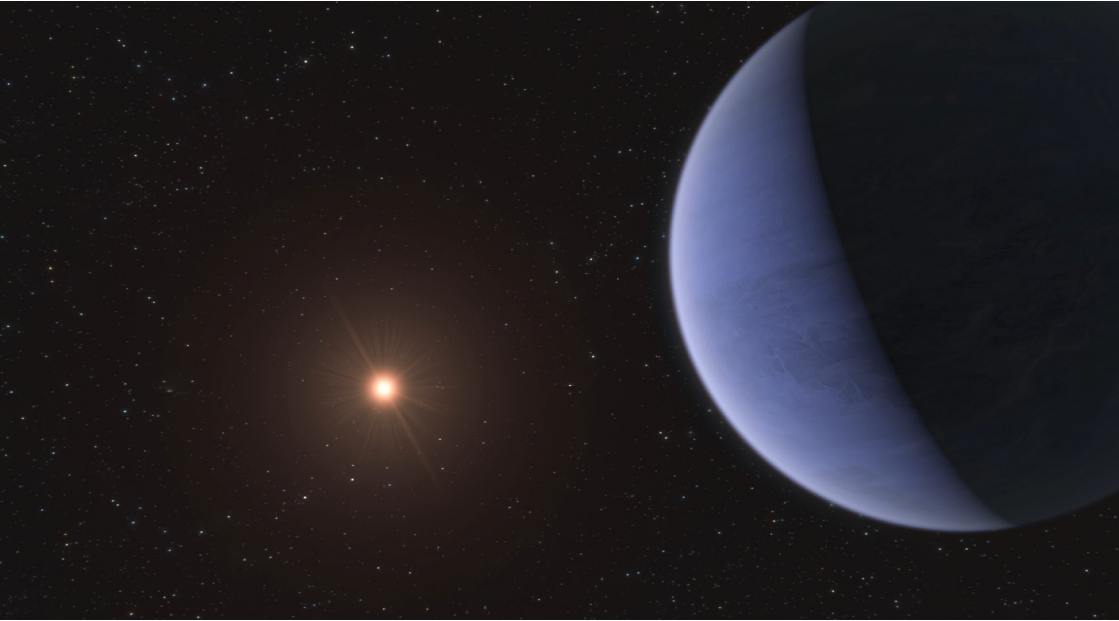


*Comparaison entre le système d'exoplanètes L 98-59 (en haut) et une partie du Système solaire interne (Mercure, Vénus et la Terre), soulignant les similitudes entre les deux. L 98-59 contient quatre planètes rocheuses confirmées, en orbite autour d'une étoile de type naine rouge située à 35 années-lumière. La planète la plus proche de l'étoile a environ la moitié de la masse de Vénus. Jusqu'à 30 % de la masse de la troisième planète pourrait être constituée d'eau, ce qui en ferait un monde océanique. L'existence de la quatrième planète a été confirmée, mais les scientifiques ne connaissent pas encore sa masse et son rayon (sa taille possible est indiquée par une ligne*

*pointillée). L'équipe a également trouvé des indices d'une cinquième planète potentielle, la plus éloignée de l'étoile. Le diagramme a été mis à l'échelle pour faire coïncider la zone habitable du Système solaire et celle de L 98-59. La Terre et la cinquième planète (non confirmée) de L 98-59 reçoivent des quantités similaires de lumière et de chaleur de leur étoile respective. En supposant que leurs atmosphères soient similaires, cette cinquième planète aurait une température de surface moyenne semblable à celle de la Terre et pourrait contenir de l'eau liquide à sa surface. (ESO/L. Calçada/M. Kornmesser, O. Demangeon)*

ce qui en ferait un monde océanique. L'équipe a trouvé une quatrième planète qui n'avait pas encore été repérée, et soupçonne la présence d'une cinquième, dans la zone habitable, c'est-à-dire à une distance de l'étoile telle que de l'eau liquide peut subsister à sa surface. Les astronomes ont pu déterminer, à l'aide de la méthode des vitesses radiales, que la planète la plus intérieure du système a tout

juste la moitié de la masse de Vénus. Cela en fait l'exoplanète la plus légère jamais mesurée à l'aide de cette technique qui calcule l'oscillation de l'étoile causée par les minuscules tiraillements gravitationnels des planètes. L'équipe a utilisé l'instrument ESPRESSO (Echelle Spectrograph for Rocky Exoplanets and Stable Spectroscopic Observations) du VLT pour étudier L 98-59.



*Vue d'artiste de L 98-59d, troisième  
planète du système planétaire L 98-59.  
(ESO/M. Kornmesser)*

Sans la précision et la stabilité fournies par ESPRESSO, cette mesure n'aurait pas été possible. Ces observations constituent un pas en avant dans notre capacité à mesurer les masses des plus petites planètes au-delà du Système solaire.

Les astronomes avaient découvert les trois premières planètes de L 98-59 en 2019, grâce au satellite TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) de la NASA. Ce satellite utilise la technique des transits pour trouver les planètes et mesurer leur taille. Cette méthode profite de l'affaiblissement de la lumière de l'étoile lors du transit d'une planète pour déduire les propriétés de celle-ci. Cependant, ce n'est qu'avec l'ajout des mesures de vitesse radiale effectuées avec ESPRESSO et son prédécesseur, l'instrument HARPS (High Accuracy Radial velocity Planet Searcher) au télescope de 3,6 mètres de l'observatoire de La Silla de l'ESO, qu'on a pu trouver des pla-

nètes supplémentaires et mesurer les masses et les rayons des trois premières. L'équipe espère poursuivre l'étude du système avec le futur James Webb Space Telescope (JWST) de la NASA/ESA/CSA. L'Extremely Large Telescope (ELT) de l'ESO, en construction dans le désert chilien d'Atacama et qui devrait commencer ses observations en 2027, sera également idéal pour étudier ces planètes. L'instrument HIRES sur l'ELT pourrait avoir la puissance nécessaire pour étudier depuis le sol les atmosphères de certaines des planètes du système L 98-59, complétant les observations spatiales du JWST. On se rapproche ainsi de plus en plus de la détection d'une planète terrestre située dans la zone habitable de son étoile, et dont nous pourrions étudier l'atmosphère.