



# L'astronomie dans le monde

## *Un océan sous la surface de Mimas*

*Basé sur un communiqué SwRI*

Dans les derniers jours de la mission Cassini de la NASA, le vaisseau spatial a identifié une curieuse oscillation dans la rotation de Mimas, la plus interne des lunes majeures de Saturne. Cette libration peut être le signe d'un corps géologiquement actif capable de supporter un océan interne.

Si Mimas possède bien un océan, il représente une nouvelle catégorie de petits mondes océaniques « furtifs » dont les surfaces ne trahissent pas l'existence de l'océan.

L'une des découvertes les plus importantes de la science planétaire de ces 25 dernières années est que les mondes ayant un océan sous des couches de roche et de glace sont assez communs dans le

*Le petit satellite de Saturne, Mimas (à gauche), a probablement quelque chose en commun avec son grand voisin Encelade : un océan interne sous une épaisse croûte gelée. Alors qu'on pensait qu'il s'agissait d'une lune inerte, Mimas est désormais considéré comme un monde océanique « furtif » dont la surface ne trahit pas ce qui se cache en dessous. Cette découverte pourrait augmenter considérablement le nombre de mondes potentiellement habitables.  
(NASA / JPL-Caltech / Space Science Institute)*



effet tendance à être fracturés et à montrer d'autres signes d'activité géologique. Les processus de marée dissipent l'énergie orbitale et rotationnelle sous forme de chaleur dans un satellite. Pour expliquer la structure interne déduite de la libration de Mimas, le chauffage par marée à l'intérieur de la lune doit être suffisamment important pour empêcher l'océan de geler, mais suffisamment faible pour maintenir une épaisse coquille glacée. En tenant compte des librations observées, et en supposant les scénarios de stabilité de la coquille de glace les plus réalistes, les modèles d'échauffement par les marées concluent à l'existence d'une coquille de 20 à 30 kilomètres d'épaisseur au-dessus d'un océan liquide.

Les chercheurs ont constaté que le flux de chaleur de la surface était très sensible à l'épaisseur de la coquille de glace, ce qu'un engin spatial pourrait vérifier. Par exemple, la sonde Juno doit passer près d'Europe et utiliser son radiomètre à micro-ondes pour mesurer les flux de chaleur émis par cette lune jovienne. Ces données permettront aux scientifiques de comprendre comment le flux thermique affecte la carapace de glace des mondes océaniques tels que Mimas, ce qui est particulièrement intéressant à l'approche du lancement d'Europa Clipper de la NASA en 2024.

Bien que ces résultats soutiennent l'existence d'un océan actuel au sein de Mimas, il est difficile de concilier les caractéristiques orbitales et géologiques de la lune avec les théories actuelles de son évolution thermo-orbitale. L'évaluation du statut de Mimas en tant que lune océanique permettrait d'étalonner les modèles de sa formation et de son évolution. Cela aiderait à mieux comprendre les anneaux et les lunes de taille moyenne de Saturne, ainsi que la prévalence des lunes océaniques potentiellement habitables, notamment autour d'Uranus. Mimas est une cible idéale pour la poursuite des recherches.

Système solaire. Ces mondes comprennent les satellites glacés des planètes géantes, comme Europe, Titan et Encelade, ainsi que des planètes lointaines comme Pluton. Ceux qui, comme la Terre, possèdent des océans en surface doivent résider dans une gamme étroite de distances par rapport à leurs étoiles pour maintenir des températures adéquates. Les mondes qui possèdent un océan intérieur (IWOW, Interior Water Ocean Worlds), en revanche, peuvent se trouver dans une plage de distances beaucoup plus large, ce qui augmente considérablement le nombre de mondes habitables susceptibles d'exister dans la Galaxie.

L'aspect extérieur de Mimas était trompeur. Sa surface cratérisée faisait croire que cette lune n'était qu'un bloc de glace. Les IWOWs, comme Encelade et Europe, ont en

## ***L'étrange carbone martien***

*Basé sur un communiqué NASA/JPL-Caltech*

Après avoir analysé des échantillons de roche pulvérisée prélevés à la surface de Mars par le rover Curiosity de la NASA, les scientifiques ont annoncé que plusieurs des échantillons étaient riches en un type de carbone – un isotope particulier – qui, sur Terre, est associé à des processus biologiques. Cependant, les scientifiques n'ont pas encore trouvé de preuves concluantes de l'existence d'une biologie ancienne ou actuelle sur Mars – preuves qui seraient, par exemple, des formations rocheuses sédimentaires produites par d'anciennes bactéries, ou une diversité de molécules organiques complexes formées par la vie. Quels processus autres que la vie auraient donc pu conduire à la signature carbonée que nous observons ?

Les scientifiques de Curiosity proposent plusieurs explications. Leurs hypothèses sont basées en partie sur ce que l'on connaît du carbone sur Terre, mais les deux planètes sont si différentes qu'ils ne peuvent pas tirer de conclusions définitives en se basant sur des exemples terrestres.

Il faut au contraire oublier la Terre, abandonner nos préjugés et essayer de comprendre les principes fondamentaux de la chimie, de la

physique et des processus environnementaux sur Mars, en d'autres termes, ouvrir nos esprits et sortir des sentiers battus.

Une première explication, biologique, que les scientifiques de Curiosity présentent s'inspire de la vie sur Terre. Elle implique d'anciennes bactéries à la surface qui auraient produit une signature carbone unique en libérant du méthane dans l'atmosphère. Les rayons ultraviolets solaires auraient converti ce gaz en molécules plus grosses et plus complexes. Ces nouvelles molécules seraient tombées en pluie sur la surface et auraient été préservées avec leur signature carbone distincte dans les roches martiennes.

Deux autres hypothèses proposent des explications non biologiques. L'une suggère que la signature carbonée pourrait résulter de l'interaction de la lumière ultraviolette

*Le rover martien Curiosity de la NASA a capturé ces nuages juste après le coucher du Soleil le 19 mars 2021, 3063<sup>e</sup> jour martien, ou « sol », de la mission du rover. L'image est composée de 21 images individuelles dont les couleurs ont été corrigées afin que la scène apparaisse telle qu'elle serait perçue par l'œil humain. Les nuages dérivent au-dessus du « Mont Mercou », une falaise étudiée par Curiosity.  
(NASA/JPL-Caltech/MSSS)*





avec le dioxyde de carbone de l'atmosphère martienne, produisant de nouvelles molécules carbonées qui se seraient déposées à la surface. L'autre hypothèse est que le carbone pourrait avoir été laissé sur place lors d'un événement rare, il y a des centaines de millions d'années, lorsque le Système solaire a traversé un nuage moléculaire géant riche en carbone du type observé sur Mars.

Les trois explications sont compatibles avec les données. Il faut maintenant affiner celles-ci pour choisir l'une d'entre elles ou les rejeter toutes.

Pour analyser le carbone présent à la surface de Mars, l'équipe a utilisé l'instrument TLS (Tunable Laser Spectrometer) du laboratoire SAM (Sample Analysis at Mars) de Curiosity. SAM a chauffé 24 échantillons provenant de divers sites géologiques du cratère Gale de la planète à environ 850 degrés Celsius pour libérer les gaz qu'ils contiennent.

***Le trou de forage « Highfield » fait par Curiosity lors de sa collecte d'échantillons sur la crête Vera Rubin dans le cratère Gale.  
(NASA/JPL-Caltech/MSSS)***

Le TLS a ensuite mesuré les isotopes d'une partie du carbone réduit qui a été libéré lors du processus de chauffage. Les isotopes sont des atomes d'un même élément, mais ayant des masses différentes en raison de leur nombre distinct de neutrons. Ils sont essentiels pour comprendre l'évolution chimique et biologique des planètes.

Le carbone est particulièrement important car cet élément est présent dans toutes les formes de vie sur Terre; il circule en permanence dans l'air, l'eau et le sol dans un cycle qui est bien compris grâce aux mesures isotopiques. Par exemple, les êtres vivants sur Terre utilisent l'atome de carbone 12, plus léger, pour métaboliser les aliments ou pour



la photosynthèse, au lieu du carbone 13, plus lourd. Ainsi, la présence de beaucoup plus de carbone 12 que de carbone 13 dans les roches anciennes, et d'autres indices, suggèrent aux scientifiques qu'ils sont en présence de signatures de la chimie de la vie. L'examen du rapport entre ces deux isotopes du carbone aide les scientifiques à déterminer le type de vie qu'ils observent et l'environnement dans lequel elle s'était épanouie.

Sur Mars, les chercheurs de Curiosity ont constaté que près de la moitié des échantillons contenaient des quantités étonnamment élevées de carbone 12 par rapport à ce que les scientifiques ont mesuré dans l'atmosphère martienne et les météorites. Ces échantillons provenaient de cinq endroits distincts du cratère Gale, ce qui pourrait être lié au fait que

tous ces endroits ont des surfaces anciennes bien préservées.

Sur Terre, les processus qui produiraient une telle abondance isotopique du carbone sont biologiques. Est-ce que la même explication fonctionne pour Mars, ou existe-t-il d'autres explications, Mars étant très différent de notre planète.

Mars est unique parce qu'elle a peut-être commencé avec un mélange d'isotopes de carbone différent de celui de la Terre il y a 4,5 milliards d'années. Mars est plus petite, plus froide, sa gravité est plus faible et son atmosphère contient des gaz différents. De plus, il pourrait y avoir un cycle du carbone sur Mars, comme il y en a un sur Terre, mais sans qu'aucune vie ne soit impliquée. Le cycle du carbone sur Terre est fortement influencé



*Assemblée à partir de 28 images Mastcam, cette vue du rover martien Curiosity de la NASA a été prise le 9 avril 2020, 2729<sup>e</sup> sol de la mission, après que le rover a gravi une pente raide, faisant partie d'une caractéristique géologique appelée « Fronton de Greenheugh ». Au premier plan, on voit la cape de grès qui s'étend sur tout le long du fronton, formant un rebord en surplomb à certains endroits. Au centre se trouve une région argileuse d'un intérêt unique pour comprendre l'histoire de l'eau sur le mont Sharp, la montagne de 3 miles (5 kilomètres) de haut que Curiosity gravit depuis 2014. Au loin, en haut de l'image, se trouve le plancher du cratère Gale d'un diamètre de 154 kilomètres. L'équilibre des blancs a été choisi afin que les couleurs des roches ressemblent à ce qu'elles seraient dans des conditions d'éclairage diurne sur Terre. (NASA/JPL-Caltech/MSSS)*

martiennes collectées sur Terre ont aussi été déterminés.

Les scientifiques de Curiosity vont continuer à mesurer les isotopes du carbone pour voir s'ils obtiennent une signature similaire lorsque le rover visitera d'autres sites soupçonnés

d'avoir des surfaces anciennes bien préservées. Pour vérifier l'hypothèse biologique impliquant des micro-organismes producteurs de méthane, l'équipe de Curiosity aimerait analyser le contenu en carbone du méthane libéré par la surface. Le rover a rencontré de manière inattendue un tel jaillissement en 2019, mais il n'y a aucun moyen de prédire si cela se reproduira. Sinon, les chercheurs soulignent que cette étude fournit des indications à l'équipe s'occupant du rover Perseverance sur les meilleurs types d'échantillons à collecter pour confirmer la signature carbone et déterminer définitivement si elle provient de la vie ou non. Perseverance collecte des échantillons de la surface martienne en vue d'un éventuel retour sur Terre.

par la vie, de sorte que nous ne pouvons pas comprendre facilement ce qu'il serait sans cette contribution. Partout où nous regardons, il y a de la vie.

Les scientifiques n'en sont qu'aux premiers stades de la compréhension du cycle du carbone martien et, par conséquent, de l'interprétation des rapports isotopiques et des activités non biologiques qui pourraient conduire à ces rapports. Curiosity, qui est arrivé sur la Planète rouge en 2012, est le premier rover doté d'outils permettant d'étudier les isotopes du carbone à la surface alors que d'autres missions ont recueilli des informations sur les signatures isotopiques dans l'atmosphère. En plus des mesures faites par toutes ces sondes, les rapports isotopiques des météorites



## ***Cratère ou coupe d'arbre ?***

*Basé sur un communiqué ESA*

On pourrait facilement confondre cet élément avec une souche d'arbre aux anneaux concentriques caractéristiques. Il s'agit en fait d'une impressionnante vue à vol d'oiseau d'un cratère d'impact riche en glace sur Mars.

Les cernes annuels des arbres, dus à la croissance du tissu ligneux, fournissent des instantanés du climat passé de la Terre et, bien qu'ils se soient formés de manière très différente, les motifs à l'intérieur de ce cratère révèlent également des détails de l'histoire de la Planète rouge.

L'image a été prise par la caméra CaSSIS à bord de la sonde ExoMars Trace Gas Orbiter (TGO) de l'ESA/Roscosmos le 13 juin 2021 dans les vastes plaines septentrionales d'Acidalia Planitia, centrées à 51,9°N/326,7°E.

L'intérieur du cratère est rempli de dépôts qui sont probablement riches en glace d'eau. On pense que ces dépôts remontent à une époque lointaine de l'histoire de Mars, lorsque l'inclinaison de l'axe de rotation de la planète permettait aux dépôts de glace d'eau de se former à des latitudes plus basses qu'aujourd'hui. Tout comme sur Terre, l'inclinaison de Mars donne lieu à des saisons, mais contrairement à la Terre, son inclinaison a changé de façon spectaculaire sur de longues périodes de temps. On pense qu'elle a pu dépasser 60°.

L'une des caractéristiques remarquables des dépôts de cratères est la présence de motifs de fractures quasi-circulaires et polygonaux. Ces caractéristiques sont probablement le résultat des changements saisonniers de température qui provoquent des cycles d'expansion et de contraction du matériau riche en glace, conduisant finalement au développement de fractures.



Comprendre l'histoire de l'eau sur Mars et savoir si cela a permis à la vie de s'épanouir est au cœur des missions ExoMars de l'ESA. TGO est arrivé sur Mars en 2016 et a commencé sa mission scientifique complète en 2018. Le vaisseau spatial ne se contente pas de renvoyer des images spectaculaires, mais fournit également le meilleur inventaire jamais réalisé des gaz atmosphériques de la planète, avec un accent particulier sur les gaz importants sur le plan géologique et biologique, et cartographie la surface de la planète à la recherche d'endroits riches en eau. Il devait fournir des services de relais de données pour la deuxième mission ExoMars, composée du rover Rosalind Franklin et de la plate-forme Kazachok, et qui devait arriver sur Mars en 2023.

La mission du rover était d'explorer une région de Mars, dont on pense qu'elle a abrité un ancien océan, et de chercher des signes de vie dans le sous-sol. L'avenir d'ExoMars/Kazachok est malheureusement compromis en raison de la guerre d'Ukraine.

***(ESA/Roscosmos/CaSSIS,  
CC BY-SA 3.0 IGO)***



## ***Tourbillons sur Mars***

*Basé sur un communiqué ESA*

Des monticules chaotiques, des ondulations sculptées par le vent et des traces de tourbillons de poussière : cette image montre un paysage fascinant près du cratère Hooke, dans les hautes terres australes de Mars.

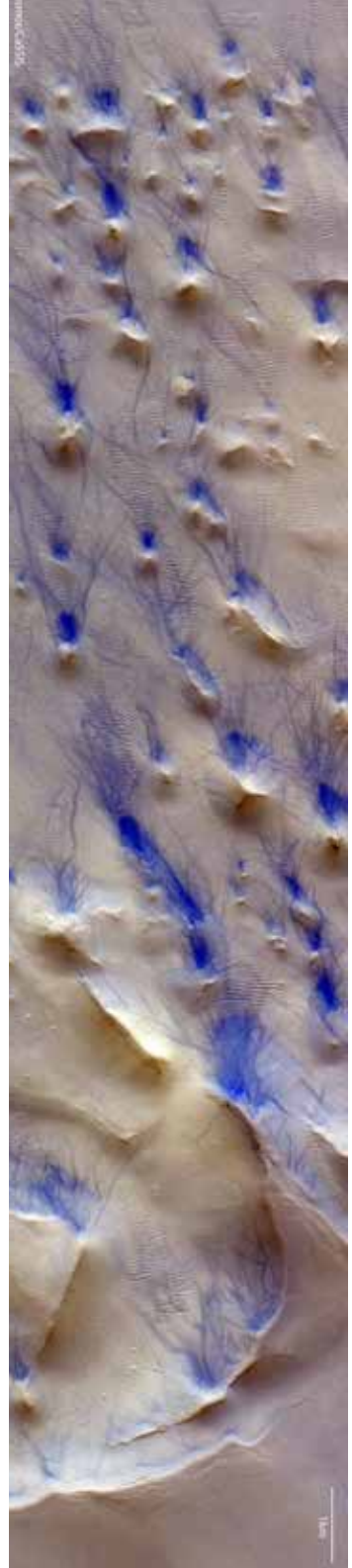
L'image a été prise par la caméra CaSSIS à bord de la sonde ExoMars Trace Gas Orbiter (TGO) de l'ESA/Roscosmos le 1<sup>er</sup> février 2021. Elle montre une partie de la région de Planitia Argyre, centrée sur 46,2°S/318,3°E.

Ce type de paysage s'apparente à un « terrain chaotique » : une sorte de terrain brisé et perturbé que l'on peut observer sur Mars, où des amas désordonnés de roches de tailles et de formes diverses, des monticules, des mesas, etc. s'agglutinent, souvent à l'intérieur de dépressions. On a identifié une trentaine de ces régions chaotiques. Cette petite parcelle n'en fait pas formellement partie mais son apparence est certainement très semblable.

L'élément le plus frappant ici est sans doute le réseau de lignes sinueuses qui couvre l'image. Ces traces sombres d'une activité passée ont été laissées par des tourbillons de poussière, qui se produisent sur Mars et sur Terre lorsque de l'air chaud s'élève rapidement dans de l'air plus froid. Ces tourbillons marquent les sols poussiéreux. Ici, les traces ont une orientation dominante nord-sud, ce qui indique une possible configuration locale des vents.

La teinte bleutée des traces des tourbillons que l'on voit ici provient de la combinaison de trois filtres infarouges. Bien qu'ils ne soient pas représentatifs de ce qu'un observateur verrait à l'œil nu, ces filtres produisent une image plus sensible aux variations de la minéralogie de la surface.

***(ESA/Roscosmos/CaSSIS,  
CC BY-SA 3.0 IGO)***



## ***Pierres qui roulent***

*Basé sur un communiqué ESA*

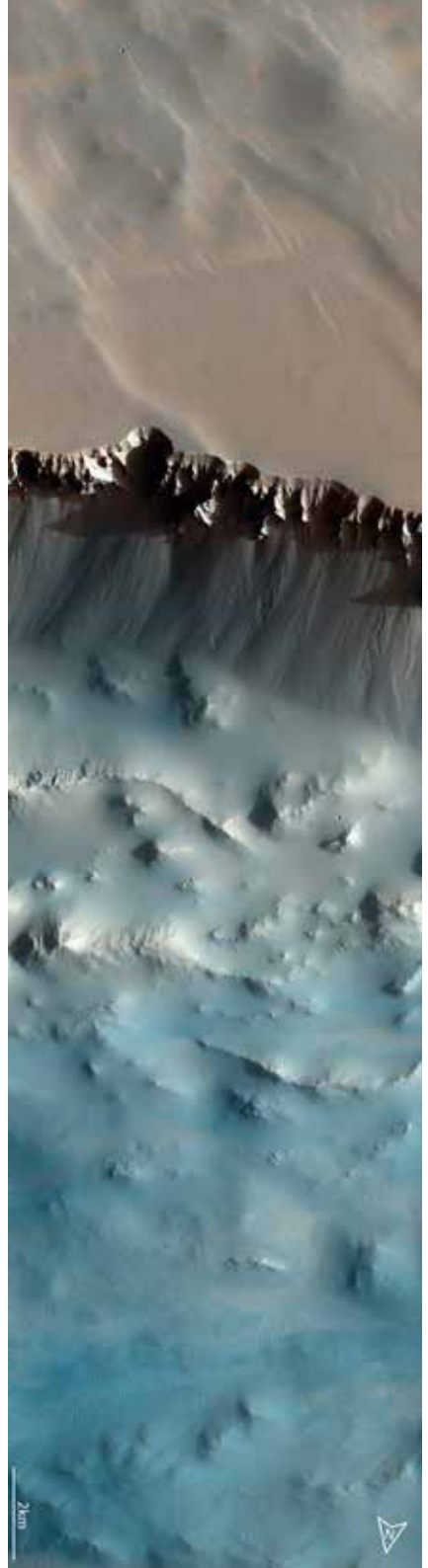
L'image ci-contre a été prise par la caméra CaSSIS de la sonde TGO (ExoMars Trace Gas Orbiter) le 3 août 2020, et montre une section du système labyrinthique du bien nommé Noctis Labyrinthus. La falaise qui traverse la partie centrale de l'image fait partie d'un système de horst-graben, qui comprend des crêtes et des plateaux surélevés (horst) de part et d'autre de vallées encaissées (graben) créées à la suite de processus tectoniques qui ont déchiré la surface de la planète. L'ensemble du réseau de plateaux et de tranchées qui constitue Noctis Labyrinthus s'étend sur quelque 1 200 km, avec des falaises atteignant parfois 5 km au-dessus de la surface.

On peut constater que des blocs se sont détachés du bord de la falaise qui traverse l'image, laissant des traces dans le sol meuble lors de leur dégringolade.

Ailleurs, et en particulier vers le bas, on peut voir des rides qui ont été façonnées par le vent. Quelques petits cratères d'impact parsèment également la scène.

L'image a été prise au-dessus de la partie la plus orientale de Noctis Labyrinthus à 265,8°E/8,70°S dans Phoenicis Lacus, près de l'intersection avec Lus Chasma de Valles Marineris – le « grand canyon » de Mars.

***(ESA/Roscosmos/CaSSIS,  
CC BY-SA 3.0 IGO)***



## ***Jets stellaires***

*Basé sur un communiqué NOIRLab*

Les jets stellaires jeunes sont une conséquence directe de la formation des étoiles. On pense qu'ils sont causés par l'interaction entre les champs magnétiques des étoiles jeunes en rotation et les disques de gaz qui les entourent. Ces interactions produisent les jets symétriques de gaz ionisé, comme ceux que l'on voit sur les images ci-jointes, obtenues avec le télescope Gemini South sur le Cerro Pachón, au Chili. Gemini South est la moitié australe de l'observatoire international Gemini, qui comprend deux télescopes optiques/infrarouges de 8,1 mètres sur deux des meilleurs sites d'observation de la planète. Son homologue, Gemini North, est sur le Maunakea à Hawaii.

Le jet de la première image, nommé MHO 2147, se trouve à environ 10 000 années-lumière de nous, dans le plan galactique entre les constellations du Sagittaire et d'Ophiuchus. MHO 2147 serpente sur un fond étoilé – une apparence appropriée pour un objet proche d'Ophiuchus (le Serpentaire). Comme beaucoup des 88 constellations astronomiques modernes,

***Le jet stellaire MHO 2147 se déroule à travers un champ d'étoiles dans cette image capturée par le télescope Gemini South à l'aide d'un système d'optique adaptative permettant de contrer les effets des turbulences atmosphériques. (International Gemini Observatory/NOIRLab/NSF/AURA T.A. Rector/University of Alaska M. Zamani & D. de Martin/NSF's NOIRLab; L. Ferrero/Universidad Nacional de Córdoba)***





Ophiuchus a des racines mythologiques : dans la Grèce antique, elle représentait une variété de dieux et de héros aux prises avec un serpent.

MHO 1502, le jet représenté sur la deuxième image, est situé dans la constellation de Vela, à environ 2 000 années-lumière.

La plupart des jets stellaires sont droits, mais certains peuvent être sinueux et irréguliers. On pense que la forme des jets est liée à une caractéristique de l'objet ou des objets qui les ont créés.

Dans le cas des jets bipolaires MHO 2147 et MHO 1502, les étoiles qui les ont créés ne sont pas visibles. L'étoile centrale de MHO 2147, IRAS 17527-2439, est enfouie dans un nuage sombre – une région froide et dense de gaz qui est opaque aux longueurs d'onde infrarouges représentées sur cette image. La forme sinueuse de MHO 2147 est due au fait que la direction du jet a changé au fil du temps, traçant une courbe de chaque côté de l'étoile centrale. Ces courbes presque ininterrompues suggèrent que MHO 2147 a été sculptée par l'émission continue de sa source centrale. Les astronomes ont découvert que le changement de direction (la précession) du jet peut être dû à l'influence gravitationnelle des étoiles proches agissant sur l'étoile centrale. Leurs observations suggèrent que

*Le jet MHO 1502 est, quant à lui, dans une zone de formation d'étoiles et se présente comme un chapelet de nuages.*  
*(International Gemini Observatory/  
NOIRLab/NSF/AURA  
T.A. Rector/University of Alaska  
M. Zamani & D. de Martin/NSF's  
NOIRLab; L. Ferrero/Universidad  
Nacional de Córdoba)*





IRAS 17527-2439 pourrait appartenir à un système de trois étoiles séparées par plus de 300 milliards de kilomètres.

MHO 1502, quant à lui, est intégré dans un environnement totalement différent – une région HII, siège de formation d'étoiles. Le jet bipolaire est composé d'un chapelet de condensations, ce qui suggère que la source, que l'on pense être deux étoiles, a émis de la matière par intermittence.

Ces images détaillées ont été capturées par l'imageur d'optique adaptative Gemini South (GSAOI). Le GSAOI travaille avec le GeMs (Gemini Multi-Conjugate Adaptive Optics System) pour annuler le flou de la turbulence atmosphérique. En surveillant le scintillement d'étoiles guides (naturelles et artificielles) jusqu'à 800 fois par seconde, le GeMs peut déterminer comment la turbulence déforme les observations. Un ordinateur utilise ces informations pour ajuster minutieusement la forme des miroirs déformables, annulant ainsi les distorsions causées par l'atmosphère. Dans ce cas, les images d'optique adaptative très nettes ont permis de reconnaître plus de détails dans chaque nœud des jeunes jets stellaires que lors des études précédentes.

*Ce panneau de 4 images montre des extraits de certaines des caractéristiques intéressantes du jet stellaire MHO 2147. Le panneau supérieur droit montre le centre du jet. Les zones rose pâle sont des nébuleuses qui peuvent contenir des étoiles massives jeunes, entourées de disques d'accrétion, et qui créent une cavité en éjectant de la matière. La couleur rose est due à la réflexion de la lumière diffusée par la source centrale sur les parois de la cavité. Dans les autres panneaux, les zones bleues sont des nuages diffus d'hydrogène moléculaire excités par la collision entre le matériau environnant et le matériau éjecté par les étoiles individuelles.*  
(International Gemini Observatory/  
NOIRLab/NSF/AURA  
T.A. Rector/University of Alaska M.  
Zamani & D. de Martin/NSF's NOIRLab;  
L. Ferrero/Universidad Nacional de  
Córdoba)







## **Filaments galactiques**

*Basé sur un communiqué Northwestern University*

Trois ans d'efforts et 200 heures d'observations avec le radiotélescope MeerKAT du SARAO (South African Radio Astronomy Observatory), ont permis aux chercheurs de construire une mosaïque du centre de la Voie lactée rassemblant vingt images distinctes.

Cette image sans précédent a révélé près de 1 000 filaments mystérieux, s'étendant sur des longueurs allant jusqu'à 150 années-lumière. Ces filaments se groupent par paires ou en grappes, souvent empilées parallèlement comme les cordes d'une harpe.

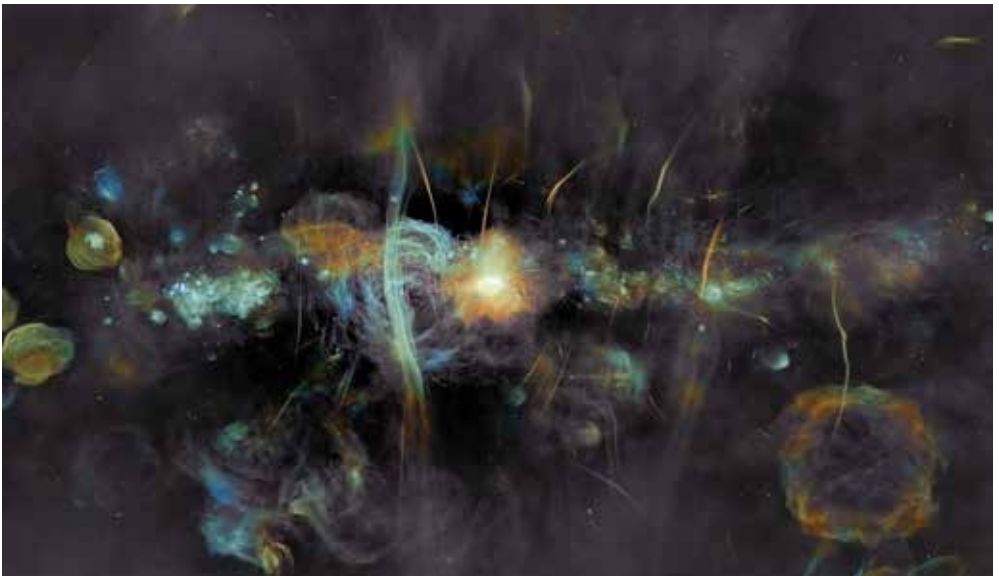
C'est au début des années 1980 que les premiers de ces filaments hautement organisés furent découverts. Ils sont constitués d'électrons tournant à une vitesse proche de celle de la lumière autour des lignes de force d'un champ magnétique. Mais leur origine est restée un mystère depuis lors.

La nouvelle image a révélé 10 fois plus de filaments que ceux découverts précédemment, ce qui a permis de mener des études statistiques sur une large population de filaments pour la première fois, et d'avoir enfin une vue d'ensemble. En examinant seulement quelques filaments, il était difficile de tirer une véritable conclusion sur leur nature et leur origine.



▲ *Harpe de filaments.*  
(Yusef-Zadeh et al., 2022)

▼ *Mosaïque radio du centre de la Voie lactée montrant les filaments magnétiques.*  
(Ian Heywood / Oxford U., SARAO; Juan Carlos Munoz-Mateos / ESO)





Outre les filaments, l'image a capturé diverses autres émissions radio, notamment des étoiles en éruption, des pouponnières stellaires et des restes de supernova.

Pour visualiser les filaments à l'échelle la plus fine, les chercheurs ont dû supprimer l'arrière-plan de l'image principale afin d'isoler les filaments des structures environnantes. L'image obtenue s'est révélée si belle et riche qu'ils l'ont qualifiée d'art moderne.

Les variations de luminosité des filaments sont très différentes de celles des restes de supernova récemment découverts, ce qui suggère que les phénomènes ont des origines différentes. Il est plus probable que les filaments sont liés à l'activité passée du trou noir supermassif central de la Voie lactée plutôt qu'à des explosions coordonnées de supernovæ. Les filaments pourraient également être liés à d'énormes bulles émettant des ondes radio, et découvertes en 2019.

On savait déjà que les filaments sont magnétisés. On peut ajouter maintenant que les champs magnétiques sont amplifiés le long des filaments, une caractéristique fondamentale partagée par tous.

*Image radio du centre de la Voie lactée avec des antennes du réseau MeerKAT au premier plan. On distingue les bulles radio qui s'étendent en diagonale depuis les deux antennes les plus proches jusqu'au coin supérieur droit. On peut voir de nombreux filaments magnétisés parallèles aux bulles. Dans cette vue composite, le ciel à gauche de la deuxième antenne la plus proche est le ciel nocturne visible à l'œil nu, et l'image radio à droite a été agrandie pour mettre en évidence ses caractéristiques fines. (SARA/Oxford/NRAO)*

Parmi les mystères qui subsistent figurent leur structure. Les filaments qui forment des groupes sont séparés les uns des autres par des distances parfaitement égales – à peu près la distance entre la Terre et le Soleil. Cela fait penser à l'espacement régulier dans les boucles solaires. On ne sait pas non plus si les filaments se déplacent ou changent avec le temps, ni ce qui fait que les électrons accélèrent à des vitesses aussi incroyables. Sans doute y a-t-il des sources à l'extrémité de ces filaments qui accélèrent les particules.