



# Astronomie dans le monde

## ***Rotation stellaire***

*Basé sur un communiqué CNRS*

Dans certaines conditions, le cœur des étoiles se contracte. Et lorsque cela se produit, il se met à tourner plus rapidement que les couches extérieures de l'astre. Mais l'étude des vibrations des étoiles, l'astérosismologie, a mis au jour un phénomène étonnant : le cœur de ces étoiles tourne plus lentement que ce que les calculs prédisent.

Des simulations numériques qui modélisent l'écoulement du plasma dans les couches profondes d'une étoile ont montré que ce ralentissement du cœur peut être produit par un champ magnétique interne. Plus précisément, le courant de plasma peut amplifier un champ magnétique jusqu'à ce que celui-ci engendre de forts mouvements turbulents. Ces turbulences pourraient amplifier encore le champ magnétique jusqu'à provoquer un ralentissement du cœur de l'étoile. Ces résultats sont en accord avec les observations astérosismologiques de nombreuses étoiles. Les simulations montrent par ailleurs que ce champ magnétique serait occulté par les couches extérieures de l'étoile, ce qui explique qu'aucun champ magnétique du genre n'ait encore été mesuré avec les techniques actuelles.

*Simulation montrant le champ magnétique intense généré à l'intérieur de la couche radiative d'une étoile (lignes blanches). Ce champ magnétique engendre de fortes turbulences du plasma (lignes bleues) des régions internes de l'étoile, et les font ralentir. Le champ magnétique toroïdal (en forme de tore ou de beignet) est situé en profondeur dans la région radiative et est caché de l'extérieur. (Petitdemange et al.)*

## Identification du premier système progéniteur de kilonova

Basé sur un communiqué NOIRLab

Le télescope SMARTS d'un mètre cinquante de l'observatoire interaméricain de Cerro Tololo au Chili a permis la découverte du premier exemple d'un type extrêmement rare de système d'étoiles binaires, celui qui réunit les conditions pour déclencher à terme une kilonova – une explosion résultant de la collision d'étoiles à neutrons, et tellement violente qu'elle fabrique de l'or. Un tel système est si rare que l'on pense qu'il n'en existe qu'une dizaine dans la Voie lactée.

Ce système inhabituel n'est autre qu'une étoile bien connue sous l'appellation de CPD-29 2176<sup>1</sup>. Son éclat (mag. 10) et ses particularités lui valent d'apparaître sous bien d'autres désignations. Elle est située dans la constellation de la Poupe, et est distante de 11 400 années-lumière.

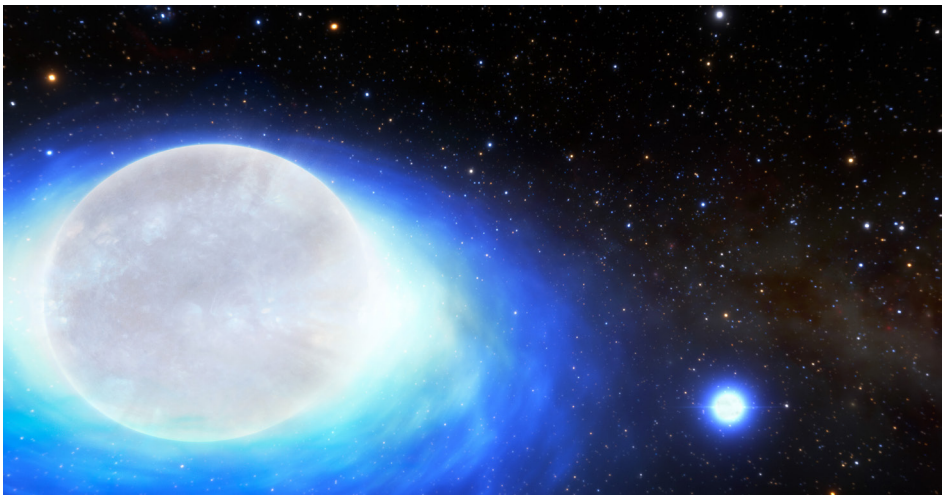
---

<sup>1</sup> CPD-29 2176 = CD-29 5159 selon les vénérables catalogues du Cape Photographic Durchmusterung (1895-1900) ou du Cordoba Durchmusterung (1892-1932), compléments austraux du célèbre Bonner Durchmusterung (1852-1859).

L'étoile a été identifiée comme un candidat répéteur (Soft Gamma-ray Repeater SGR J0755-2933) de rayons gamma mous par l'observatoire spatial Neil Gehrels Swift en 2016, suite à la détection d'une courte rafale de photons, typique des magnétars. Une analyse des observations de suivi de la contrepartie en rayons X mous avec Swift, NuSTAR et Chandra a permis de conclure qu'il ne s'agissait pas d'un répéteur gamma mais plutôt d'une binaire X de masse élevée.

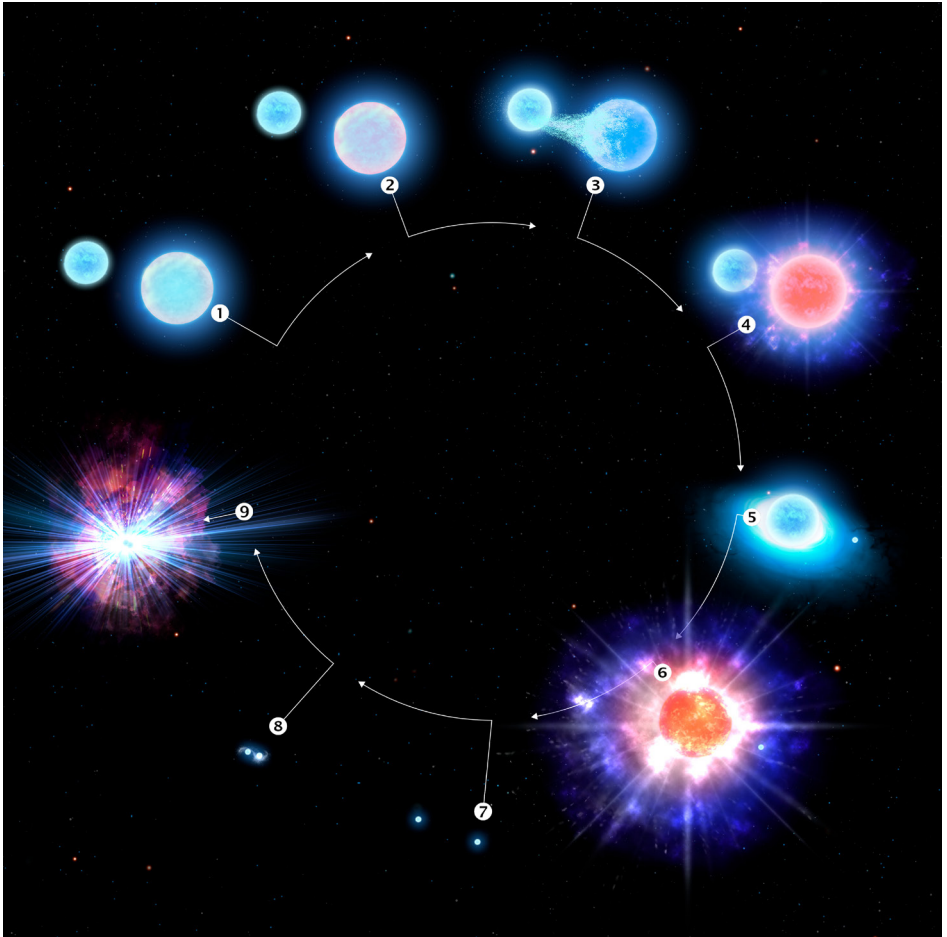
Des observations ultérieures avec le télescope SMARTS ont permis aux astronomes de déduire les caractéristiques orbitales et les types d'étoiles qui le composent – une étoile à neutrons créée par une supernova « ultra-dépouillée » et une étoile massive en orbite proche qui est sur le point d'exploser elle aussi en supernova ultra-dépouillée.

*Vue d'artiste d'un système stellaire qui formera un jour une kilonova – l'explosion ultra-puissante productrice d'or créée par la fusion d'étoiles à neutrons. On pense qu'il n'existe qu'une dizaine de systèmes de ce type dans l'ensemble de la Voie lactée.  
(CTIO/NOIRLab/NSF/AURA/J. da Silva/Spaceengine/M. Zamani)*



Évolution du système stellaire CPD-29 2176, le premier progéniteur kilonova confirmé. Au stade 1, deux étoiles bleues massives se forment dans un système binaire. Au stade 2, la plus grande des étoiles approche de la fin de sa vie. Au stade 3, la plus petite des étoiles siphonne la matière de sa compagne plus mature, la dépouillant d'une grande partie de son atmosphère extérieure. Au stade 4, l'étoile la plus grande forme une supernova ultra-dépouillée, une explosion moins violente qu'une supernova normale. Au stade 5, tel qu'observé actuellement par les astronomes, l'étoile à neutrons résultante de la supernova précédente commence à siphonner la matière de sa compagne, renversant ainsi les rôles.

Au stade 6, avec la perte d'une grande partie de son atmosphère extérieure, l'étoile compagne subit également une explosion de supernova ultra-dépouillée. Cette étape se produira dans environ un million d'années. Le stade 7 montre une paire d'étoiles à neutrons en orbite serrée. Au stade 8, les deux étoiles à neutrons tournent en se rapprochant, abandonnant leur énergie orbitale sous forme de faible rayonnement gravitationnel. Le stade 9 marque la dernière étape de ce système lorsque les deux étoiles à neutrons entrent en collision, produisant une puissante kilonova, l'usine cosmique d'éléments lourds de notre Univers. (CTIO/NOIRLab/NSF/AURA/P. Marnfield)



Une supernova ultra-dépouillée est l'explosion en fin de vie d'une étoile massive dont une grande partie de l'atmosphère a été arrachée par une étoile compagne. Ces supernovæ n'ont pas la force explosive d'une supernova traditionnelle qui, quant à elle, expulserait sa compagne du système.

L'étoile à neutrons de CPD-29 2176 a dû se former sans éjecter sa compagne. Une supernova ultra-dépouillée est la meilleure explication de la raison pour laquelle ces étoiles compagnes sont sur une orbite aussi serrée. Pour créer une kilonova, l'autre étoile devra également exploser en supernova ultra-dépouillée afin que les deux étoiles à neutrons puissent finalement se rapprocher, entrer en collision et fusionner.

En plus de représenter la découverte d'une bizarrerie cosmique très rare, la découverte et l'étude de systèmes progéniteurs de kilonovæ comme celui-ci peuvent aider les astronomes à percer le mystère de la formation des kilonovæ et, ce faisant, jeter la lumière sur l'origine des éléments les plus lourds de l'Univers.

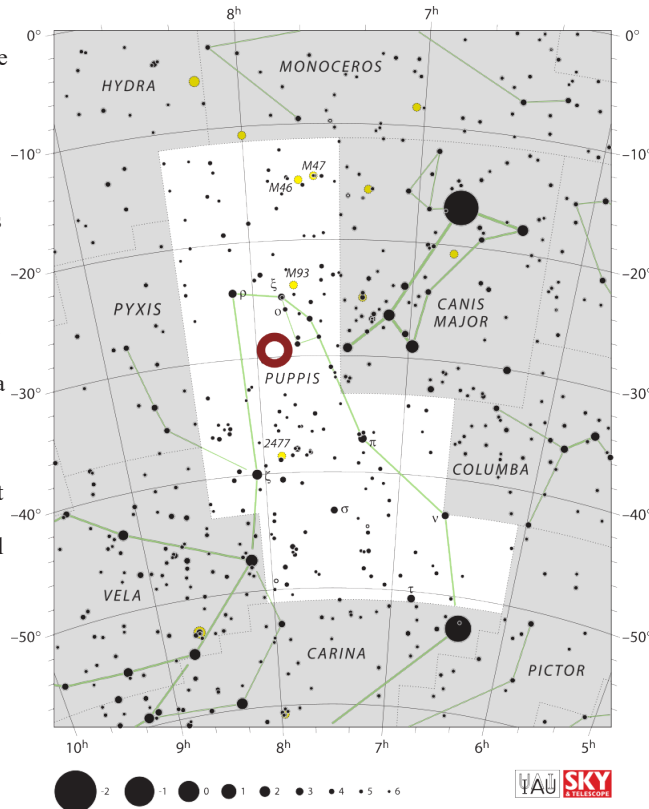
Pendant un certain temps, les astronomes ont spéculé sur les conditions exactes qui pourraient éventuellement conduire à une kilonova. Ces résultats démontrent que, dans au moins certains cas, deux étoiles à neutrons sœurs peuvent fusionner lorsque l'une d'elles a été créée sans explosion de supernova classique.

Produire un système aussi inhabituel est cependant un processus long et peu probable. La Voie lactée contient au moins 100 milliards d'étoiles, probablement des centaines de milliards. Il existe peut-être un système binaire de ce genre pour dix milliards d'étoiles. Jusqu'à cette étude, on estimait que

seuls un ou deux de ces systèmes devraient exister dans une galaxie spirale comme la Voie lactée.

Il faudra au moins un million d'années pour que l'étoile massive mette fin à sa vie et laisse derrière elle une seconde étoile à neutrons. Ce nouveau vestige stellaire et l'étoile à neutrons préexistante devront alors se rapprocher progressivement dans un ballet cosmique, perdant lentement leur énergie orbitale sous forme de rayonnement gravitationnel. Lorsqu'ils finiront par fusionner, l'explosion de kilonova qui en résultera produira des ondes gravitationnelles beaucoup plus puissantes et laissera derrière elle une grande quantité d'éléments lourds, dont de l'argent et de l'or.

L'étude de cette population de systèmes comme CPD-29 2176 donnera un aperçu de la discrétion de certains morts stellaires.



**Position de CPD-29 2176 dans la constellation de la Poupe.**  
(IAU and Sky & Telescope; CC BY 3.0)

## ***Une explosion parfaite***

*Basé sur un communiqué University of Copenhagen*

Contrairement à ce que l'on pensait, les kilonovæ exploseraient de façon symétrique, en une sphère parfaite. La raison en reste mystérieuse, mais cette constatation est d'un grand intérêt pour la physique fondamentale et pour la mesure de l'Univers.

Les kilonovæ se produisent lorsque deux étoiles à neutrons qui tournent l'une autour de l'autre, se rapprochent et finissent par entrer en collision. Ces événements donnent lieu aux conditions physiques les plus extrêmes de l'Univers, celles qui permettent l'alchimie des éléments les plus lourds du tableau périodique, tels que l'or, le platine et l'uranium.

Jusqu'ici, les modèles indiquaient que la collision de ces étoiles compactes forment un nuage de forme aplatie et plutôt asymétrique. Cependant, une kilonova détectée à 140 millions d'années-lumière en 2017, AT2017gfo, a permis pour la première fois de recueillir des données détaillées sur ce phénomène encore

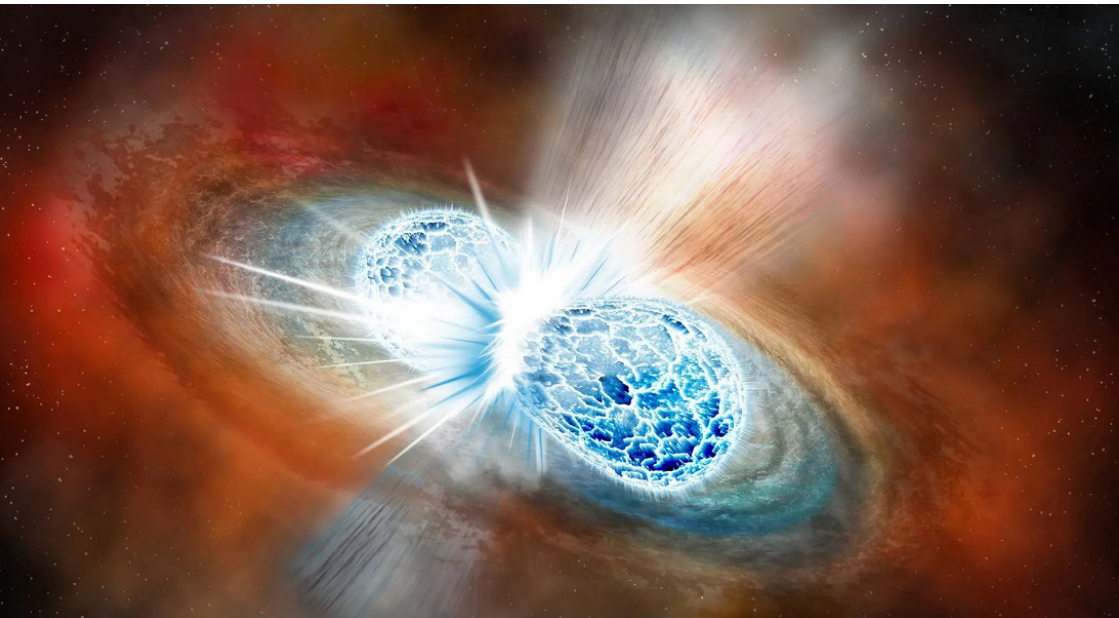
mal connu et, surprise, le nuage a une forme proche d'une sphère parfaite.

Personne ne s'y attendait. A priori, cela n'a aucun sens aux yeux des théoriciens, mais les calculs sont sans appel. Cela signifie probablement que les théories et les simulations de kilonovæ envisagées au cours des 25 dernières années passent à côté d'importants processus physiques.

L'explication la plus probable de l'isotropie de l'explosion est qu'une quantité d'énergie bien plus grande qu'on ne l'imaginait émane du centre de l'explosion. Cela atténuerait les asymétries et donnerait la forme sphérique.

Lorsque les étoiles à neutrons entrent en collision, elles fusionnent brièvement en une seule étoile à neutrons hypermassive qui s'effondre immédiatement en un trou noir. Les chercheurs se demandent si c'est dans cet effondrement que réside le secret. Peut-être qu'une sorte de bombe magnétique est créée

***Illustration d'une kilonova.  
(Robin Dienel/Carnegie Institution  
for Science)***



*Une kilonova pourrait venir d'une explosion sphérique.  
(Illustration par Albert Sneppen)*

lorsque l'étoile s'effondre en un trou noir et que l'énergie de l'énorme champ magnétique de l'étoile hypermassive est libérée.

Cependant, cette théorie n'explique pas un autre aspect de la découverte des chercheurs. Selon les modèles, tous les éléments produits sont plus lourds que le fer, mais les plus lourds, tels que l'or ou l'uranium, devraient être créés à des endroits différents de ceux des éléments plus légers tels que le strontium ou le krypton, et ils devraient être expulsés dans des directions différentes. Les chercheurs, quant à eux, ne détectent que les éléments les plus légers, et ils sont répartis uniformément dans l'espace. Ils pensent que d'énigmatiques particules élémentaires, les neutrinos, dont on ignore encore beaucoup, jouent également un rôle clé dans le phénomène.

Une hypothèse est que, dans les millisecondes que vit l'étoile à neutrons hypermassive, celle-ci émet très puissamment, y compris éventuellement un grand nombre de neutrinos. Les neutrinos peuvent provoquer la conversion des neutrons en protons et en électrons, et ainsi créer des éléments plus légers dans l'ensemble. Cette idée présente des lacunes, mais les chercheurs pensent qu'il faut accorder un rôle important aux neutrinos.

La forme de l'explosion est intéressante car elle autorise une nouvelle méthode pour



évaluer la vitesse d'expansion de l'Univers. Cette vitesse indique, entre autres, l'âge de l'Univers. Les deux méthodes qui existent pour le mesurer sont en désaccord d'environ un milliard d'années. Cette troisième méthode peut être testée par rapport aux autres mesures et les compléter.

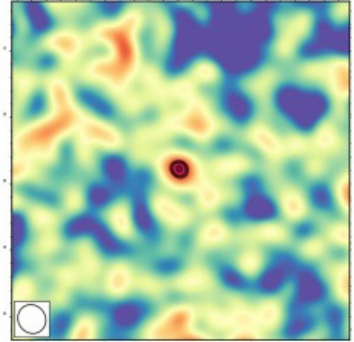
L'échelle de distance cosmique utilisée aujourd'hui pour mesurer la vitesse d'expansion se base sur le calcul des distances entre différents objets dans l'Univers. Pour cela on utilise des étalons de brillance. Encore faut-il qu'ils soient symétriques et rayonnent de la même façon dans toutes les directions. Ce serait un atout des kilonovæ. Bien sûr, cela nécessite d'obtenir des données sur un grand nombre de kilonovæ. Heureusement les chercheurs espèrent que les observatoires d'ondes gravitationnelles comme LIGO en détecteront beaucoup dans les prochaines années.

## Hydrogène atomique dans une galaxie lointaine

Basé sur un communiqué Indian Institute of Sciences

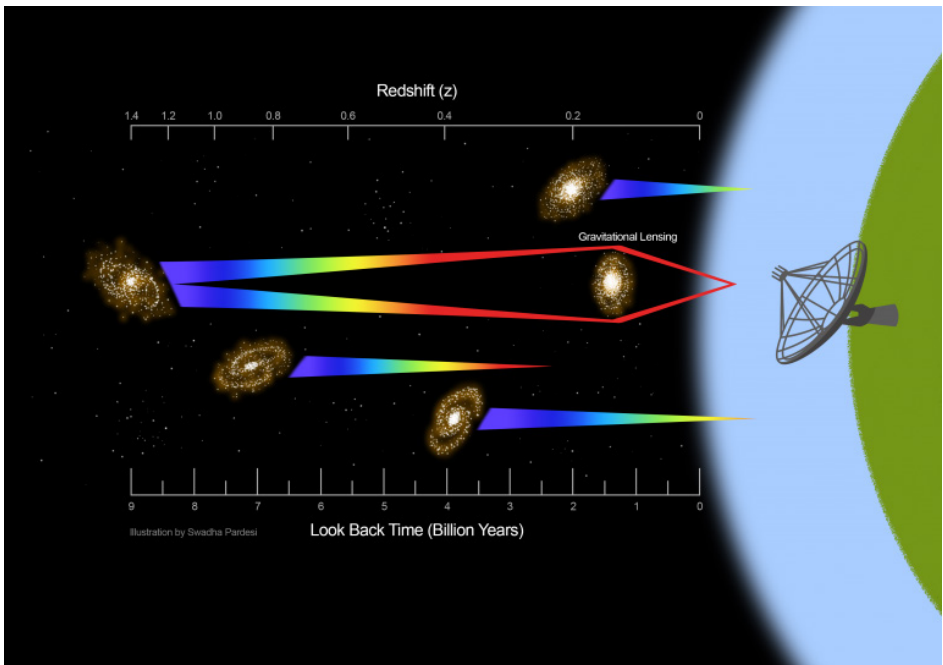
Les données du radiotélescope géant GMRT (Giant Metrewave Radio Telescope) à Pune (Inde) ont permis de détecter l'hydrogène atomique dans une galaxie extrêmement éloignée. L'hydrogène est l'élément de base de l'Univers, celui qui conduit à la formation d'étoiles dans une galaxie. Lorsque le gaz ionisé chaud du milieu intergalactique tombe sur une galaxie, il se refroidit, se recombine avec des électrons pour former de l'hydrogène atomique, et ensuite de l'hydrogène moléculaire, ce qui peut finalement conduire à la formation d'étoiles. Comprendre l'évolution des galaxies nécessite donc de retracer l'évolution du gaz neutre.

L'hydrogène atomique émet spontanément des ondes radio d'une longueur d'onde de 21 cm, qui peuvent être détectées à l'aide de radiotélescopes à basse fréquence comme le GMRT. Ainsi, l'émission de 21 cm est un traceur direct de la teneur en gaz atomique dans les galaxies proches et lointaines. C'est elle qui a permis les premières descriptions des bras de la Voie lactée. Cependant, ce signal radio est extrêmement faible et il est presque impossible



*Image radio en fausses couleurs de la galaxie. (Chakraborty et Roy, GMTR, NCRA-TIFR)*

*Illustration des effets de redshift et de lentille gravitationnelle sur des galaxies lointaines. (Swadha Pardesi)*

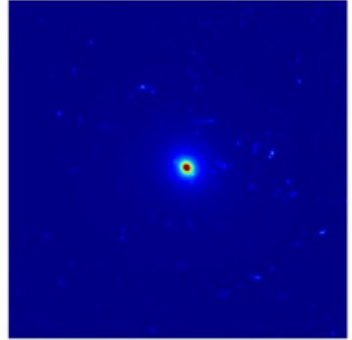


de détecter l'émission d'une galaxie lointaine à l'aide des télescopes actuels en raison de leur sensibilité limitée.

Jusqu'à présent, la galaxie la plus éloignée détectée au travers de son émission à 21 cm présentait un décalage vers le rouge de 0,376, ce qui correspond à une émission vieille de 4,1 milliards d'années, soit un Univers âgé de 9,5 milliards d'années. Les observations faites avec le GMRT ont amené à la détection du signal radio de l'hydrogène atomique dans une galaxie lointaine dotée d'un redshift de 1,29. En raison de l'immense distance à la galaxie, la longueur d'onde de l'hydrogène était passée de 21 à 48 cm. Le signal détecté a été émis depuis cette galaxie alors que l'Univers n'avait que 4,9 milliards d'années.

Cette détection a été rendue possible par un phénomène de lentille gravitationnelle, dans lequel la lumière émise par la source est courbée en raison de la présence d'un corps massif, une galaxie par exemple, sur la ligne de visée. Dans ce cas précis, l'image est amplifiée environ 30 fois.

Les astronomes ont également observé que la masse en hydrogène de cette galaxie particulière est presque le double de sa masse stellaire. Ces résultats démontrent la faisabilité d'observer le gaz atomique des galaxies à des distances cosmologiques dans des systèmes bénéficiant d'une lentille gravitationnelle.



*Image Hubble de la galaxie faisant office de lentille gravitationnelle.  
(ESA/NASA HST, STScI/CADC).*

*Le GMRT est un réseau de trente radiotélescopes paraboliques de 45 mètres, observant à des longueurs d'onde métriques et qui peuvent se déployer sur une base allant jusqu'à 25 kilomètres.  
(GMTR, NCRA-TIFR)*





## ***Noyaux galactiques actifs***

*Basé sur un communiqué UCSC*

Selon une nouvelle étude, la puissance rayonnée par les noyaux galactiques actifs (AGN) est considérablement sous-estimée, et cela du fait de l'atténuation de la lumière par les nuages de poussière.

Alimentés par le trou noir supermassif central des galaxies, les noyaux actifs sont les sources d'énergie stables et compactes les plus puissantes de l'Univers. Les plus brillants surpassent de loin l'éclat combiné de leur galaxie hôte.

Bien que la possibilité que la poussière atténue la lumière des noyaux galactiques actifs soit reconnue depuis longtemps, son rôle exact était controversé et était généralement jugé négligeable.

En réalité, ce n'est pas le cas et la lumière ultraviolette d'un noyau galactique actif typique est atténuée par un facteur important.

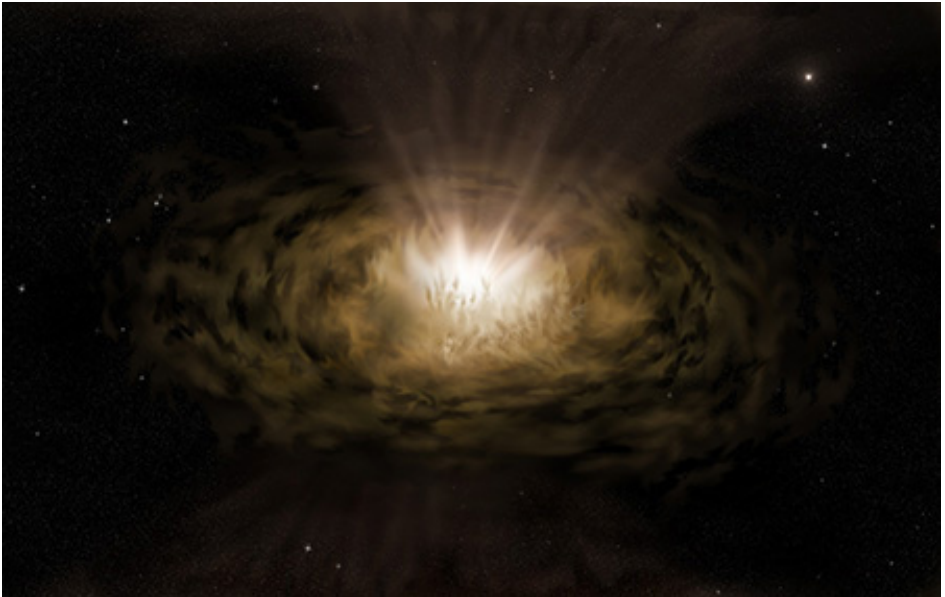
Les astronomes sont parvenus à cette conclusion en étudiant le rougissement de la poussière sur la lumière de l'un des noyaux

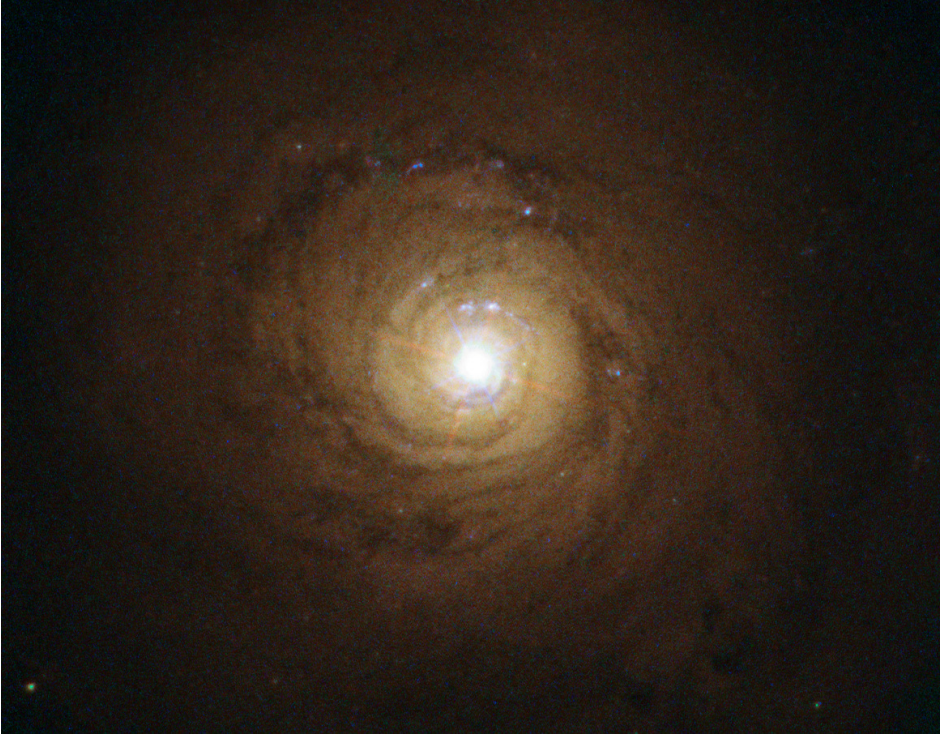
galactiques actifs les plus étudiés, NGC 5548. Tout comme l'atmosphère terrestre rend le Soleil plus rouge et plus sombre à son coucher et son lever, la poussière entourant les noyaux galactiques actifs les fait également apparaître plus rouges et moins lumineux qu'ils ne le sont réellement. La quantité de rougissement est corrélée au niveau d'atténuation.

Dans la nouvelle étude de NGC 5548, les chercheurs ont utilisé sept indicateurs différents de la quantité de poussière et les ont tous trouvés en bon accord. L'atténuation de NGC 5548 due à la poussière s'est avérée importante, plus de dix fois celle causée par la poussière lorsque nous regardons hors de notre galaxie.

Le bon accord entre les différents indicateurs de la quantité de rougissement conforte

*Vue d'artiste de ce à quoi pourrait ressembler la poussière autour d'un noyau galactique actif.  
(Peter Z. Harrington)*





les théories simples d'émission des noyaux galactiques actifs. Des explications exotiques des couleurs ne sont pas nécessaires. Cela simplifie la vie des chercheurs et aide à comprendre ce qui se passe lorsque les trous noirs avalent de la matière.

Les couleurs de NGC 5548 sont typiques d'autres noyaux galactiques actifs, ce qui a de vastes implications. Les noyaux galactiques actifs sont encore plus puissants qu'on ne l'avait imaginé, par un facteur qui atteint un ordre de grandeur dans l'ultraviolet, là où la majeure partie de l'énergie est rayonnée.

Une autre implication est que les noyaux galactiques actifs sont très similaires, et ce que l'on pensait jusqu'ici être des différences fondamentales majeures entre eux ne sont en réalité que les conséquences de différents degrés du rougissement par la poussière.

***La galaxie de Seyfert NGC 5548 photographiée avec le télescope spatial Hubble.***

*NGC 5548 est située dans le Bouvier à quelques degrés au nord d'Arcturus.*

***Son cœur renferme un trou noir supermassif. Cette galaxie fait partie de douze nébuleuses listées en 1943 par l'astronome américain Carl Keenan Seyfert comme montrant des raies d'émissions larges. Au cours des années 1960, les observations radio de NGC 5548 révélèrent un flux élevé. En 1966 des analyses spectroscopiques du noyau prouvèrent que la majorité de la luminosité provient d'un volume de seulement quelques parsecs, où la température avoisine les 14 000 K, et la dispersion des vitesses 450 km/s. (ESA/Hubble)***

## ***La Voie lactée dans le mur***

*Basé sur un communiqué RAS*

La Voie lactée est-elle spéciale ou, du moins, se trouve-t-elle à un endroit spécial de l'Univers ? La réponse à cette question est peut-être oui dans la mesure où une nouvelle étude montre que la Voie lactée est trop grande pour son « mur cosmologique », une caractéristique que l'on ne trouve pas chez d'autres galaxies.

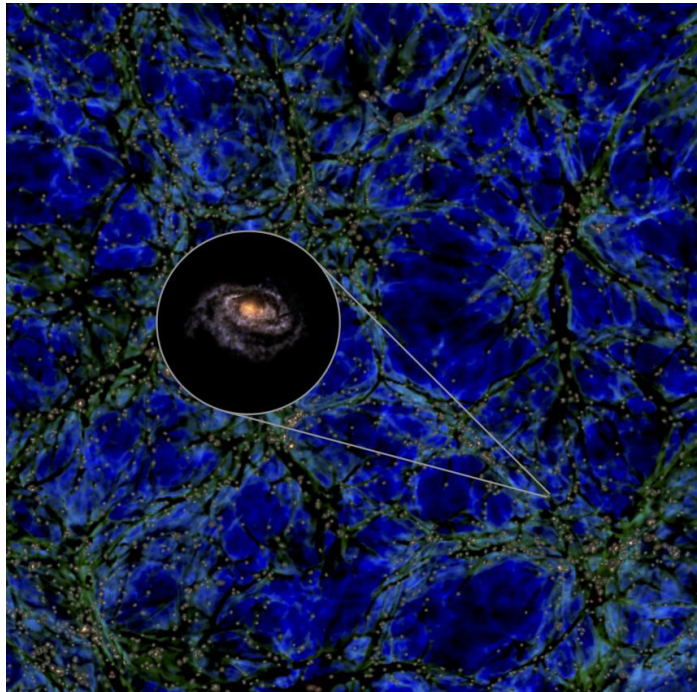
Un mur (ou une feuille, un feuillet) cosmologique est un arrangement plat de galaxies encadré de régions particulièrement vides. Ces vides semblent écraser les galaxies en une sorte de crêpe. Cet environnement – la feuille locale – influence la façon dont la Voie lactée et les galaxies proches tournent autour de leurs axes, de manière plus organisée que si nous étions dans un endroit aléatoire de l'Univers, sans mur.

En règle générale, les galaxies ont tendance à être nettement plus petites que ce soi-disant mur. La Voie lactée se révèle étonnamment massive par rapport à son mur cosmologique. Cette constatation vient d'une simulation informatique de pointe, qui fait partie du

projet IllustrisTNG, et concernant une section de l'Univers de près d'un milliard d'années-lumière. Seule une toute petite fraction – environ un millionième – des galaxies de la simulation sont aussi « spéciales » que la Voie lactée, c'est-à-dire à la fois encastrées dans un mur cosmologique comme la nappe locale et aussi massives que notre galaxie.

La Voie lactée n'a pas une masse ni un type particuliers. Beaucoup de galaxies spirales lui ressemblent. C'est son environnement qui est rare. La douzaine de grandes galaxies les plus proches sont distribuées en un anneau intégré dans la feuille locale. Les autres murs de galaxies dans l'Univers semblent très rarement contenir une galaxie aussi massive que la Voie lactée. Il faut peut-être aller à un demi-milliard d'années-lumière, des centaines de fois plus loin que la grande galaxie d'Andromède pour trouver un autre mur cosmologique avec une galaxie comme la nôtre.

*Simulation de la répartition de la matière noire (en vert et bleu) et des galaxies (points jaunes) dans une fine tranche d'un volume dans lequel on pourrait trouver l'une des rares galaxies massives.*  
*(Miguel A. Aragon-Calvo ; projet Illustris TNG ; CC BY 4.0)*



## Glaces interstellaires

*Basé sur des communiqués ESA et SwRI*

Grâce à sa sensibilité dans l'infrarouge, le télescope spatial James Webb (JWST) a fourni de nouvelles informations sur les processus chimiques de l'un des endroits les plus froids et les plus sombres de l'Univers, l'intérieur d'un nuage dense.

Les nuages interstellaires peuvent être si denses que les glaces y sont pour la plupart protégées du rayonnement intense des étoiles proches. Ces glaces sont les premières à se former et elles contiennent des éléments potentiellement biogéniques.

En observant l'un de ces nuages, les astronomes ont pu examiner les molécules glacées simples qui seront incorporées dans les futures exoplanètes, et ouvrir une nouvelle fenêtre sur l'origine de molécules plus complexes qui sont la première étape dans la création des éléments constitutifs de la vie.

Les glaces sont un ingrédient vital dans la formation des planètes habitables car elles contiennent des éléments légers clés, à savoir le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, l'azote et le soufre (appelés collectivement CHONS). Ces éléments sont des ingrédients importants à la fois dans les atmosphères planétaires et dans les molécules comme les sucres, les alcools

et les acides aminés simples. On pense qu'ils sont arrivés à la surface de la Terre via les impacts de comètes ou d'astéroïdes. De plus, les astronomes pensent que de telles glaces étaient très probablement déjà présentes dans le nuage sombre de poussière froide et de gaz qui a fini par s'effondrer pour former le Système solaire. Dans l'espace, les grains de poussière glacés

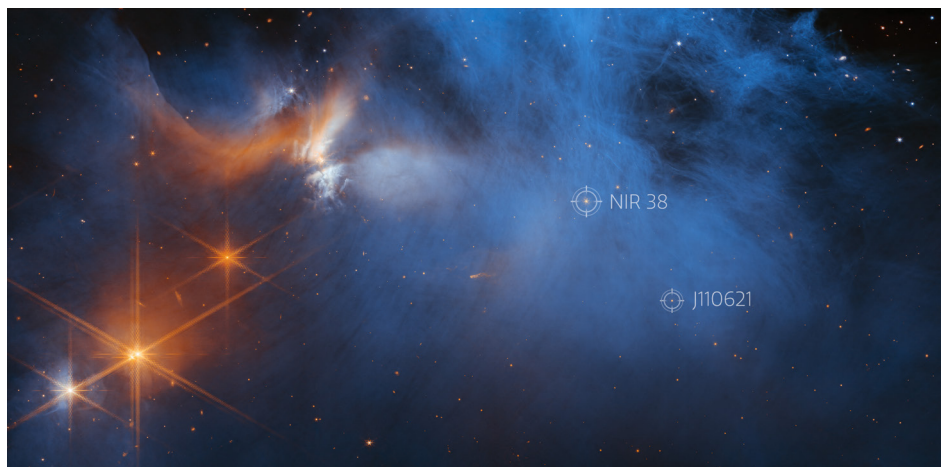
*Cette image prise avec la caméra proche infrarouge (NIRCam) du télescope spatial JWST présente la région centrale du nuage moléculaire sombre Chameleon I, qui se trouve à environ 600 années-lumière.*

*Les nuages froids (en bleu, au centre) sont illuminés par la protoétoile Ced 110 IRS 4 (orange, en haut à gauche). Les nombreuses étoiles d'arrière-plan (points orange) présentent en absorption le spectre des glaces des nuages.*

*Cela permet aux astronomes d'examiner les molécules glacées simples qui seront incorporées dans les futures exoplanètes, tout en ouvrant une nouvelle fenêtre sur l'origine de molécules plus complexes qui sont la première étape dans la création des éléments constitutifs de la vie.*

*NIR38 et J110621 sont les étoiles de fond utilisées dans cette étude.*

*(NASA, ESA, ASC, Zamani, M.K. McClure/Leiden, F. Sun/Steward Observatory, Z. Smith/Open University, Team Ice Age ERS)*



offrent des sites favorables à la rencontre des atomes et des molécules, ce qui peut déclencher des réactions chimiques qui forment des substances très courantes comme l'eau. Des études de laboratoire détaillées ont en outre montré que certaines molécules prébiotiques simples peuvent se former dans ces conditions glacées.

Un inventaire approfondi des glaces dans un nuage moléculaire a été réalisé au moyen du télescope spatial JWST. En plus des glaces simples comme l'eau, les astronomes ont pu identifier les formes congelées d'un large éventail de molécules, depuis le dioxyde de carbone, l'ammoniac, le méthane jusqu'au méthanol, la plus simple des molécules organiques complexes. Il s'agit du recensement le plus complet à ce jour des ingrédients glacés disponibles pour fabriquer les futures générations d'étoiles et de planètes, avant qu'ils ne soient chauffés lors de la formation des jeunes étoiles. Ces grains de glace grossissent au fur et à mesure qu'ils entrent dans les disques protoplanétaires. Ces observations ouvrent une nouvelle fenêtre sur les voies de formation des molécules simples et complexes qui sont nécessaires pour fabriquer les éléments constitutifs de la vie.

En plus des molécules identifiées, l'équipe a trouvé des signes de la présence de molécules prébiotiques plus complexes que le méthanol dans ces nuages de glace denses, et, bien qu'ils n'aient pas définitivement attribué ces signaux à des molécules spécifiques, cela prouve pour la première fois que des molécules complexes se forment dans les profondeurs glacées des nuages moléculaires avant la naissance des étoiles.

L'identification de molécules organiques complexes, comme le méthanol et potentiellement l'éthanol, suggère que les nombreux systèmes d'étoiles et de planètes se développant dans ce nuage particulier hériteront de molécules dans un état chimique assez avancé. Cela pourrait signifier que la présence de molécules prébiotiques dans les systèmes planétaires est un résultat normal commun de la formation d'étoiles, plutôt qu'une caractéristique unique du Système solaire.

La plupart des glaces interstellaires contiennent de très petites quantités d'éléments comme l'oxygène et le soufre. Celles observées par le JWST ne contiennent que 1% du soufre attendu. Le reste est enfermé ailleurs, et il faut essayer de déterminer où, afin de comprendre comment le soufre sera finalement incorporé dans les planètes susceptibles d'héberger la vie.

Un défi majeur pour les astronomes est de comprendre où ces éléments se cachent : dans des matériaux ressemblant à de la suie, des glaces ou des roches. La quantité de CHONS dans chaque type de matériau détermine la quantité de ces éléments qui se retrouve dans l'atmosphère des exoplanètes ou leur intérieur.

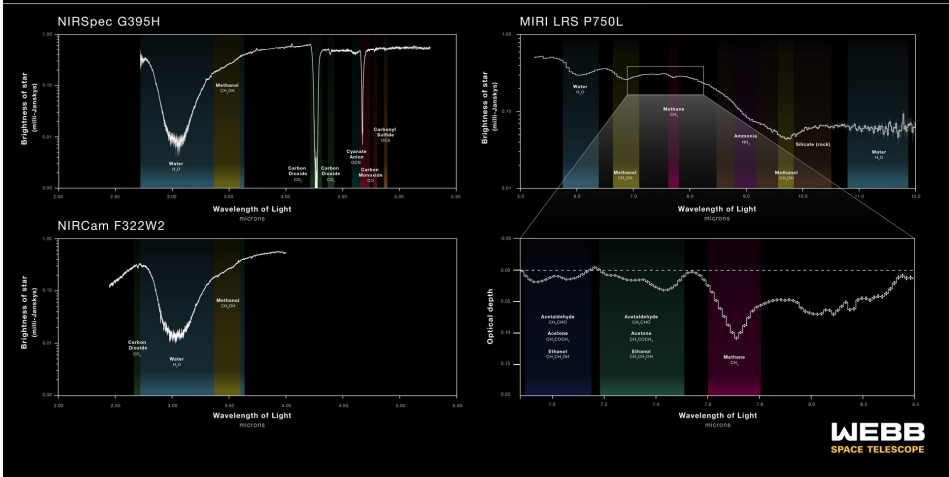
En détectant le sulfure de carbonyle dans la glace contenant du soufre, les chercheurs ont pu estimer pour la première fois la quantité de soufre incrustée dans les grains de poussière pré-stellaires glacés. Bien que la quantité mesurée soit supérieure à celle précédemment observée, elle est toujours inférieure à la quantité totale attendue dans ce nuage, au vu de sa densité. Ceci est également vrai pour les autres éléments CHONS.

Les chercheurs proposent que le soufre puisse être enfermé dans des minéraux réactifs comme le sulfure de fer, qui peuvent réagir avec les glaces pour former les glaces soufrées observées.

Le sulfure de fer a été détecté dans les disques d'accrétion de jeunes étoiles et dans des échantillons cométaires. C'est aussi le minéral sulfuré le plus courant dans les roches lunaires. Si le soufre est enfermé dans ces minéraux, cela pourrait expliquer la faible quantité de soufre dans les glaces interstellaires, ce qui a des implications sur l'endroit où le soufre est stocké dans le Système solaire. Par exemple, l'atmosphère de Vénus contient des molécules soufrées, dans lesquelles le soufre pourrait provenir en partie de minéraux interstellaires.

Le déficit en CHONS peut indiquer qu'ils sont incorporés dans des matériaux rocheux que nous ne pouvons pas mesurer. Cela pour-

## CHAMELEON I DARK CLOUD BACKGROUND STAR NIR38 ICE CHEMICAL COMPOSITION



rait permettre une plus grande diversité dans la composition globale des planètes telluriques.

Dans cette étude, l'équipe a ciblé des glaces enfouies dans une région particulièrement froide et dense du nuage moléculaire Chameleon I, une région distante d'environ 500 années-lumière et qui est en train de former des dizaines de nouvelles étoiles. Les glaces ont été détectées et mesurées en étudiant le spectre d'absorption d'étoiles situées en arrière-plan du nuage moléculaire. Ces spectres peuvent être comparés aux données de laboratoire pour identifier les glaces présentes dans le nuage moléculaire.

Cette recherche fait partie du projet Ice Age, l'un des 13 programmes Early Release Science de Webb. Ces observations sont conçues pour mettre en valeur les capacités d'observation de Webb et permettre à la communauté astronomique d'apprendre à tirer le meilleur parti de ses instruments. L'équipe Ice Age a déjà prévu d'autres observations et espère retracer le parcours des glaces depuis leur formation jusqu'à l'assemblage des comètes glacées.

*Spectres du nuage sombre Chameleon I obtenus avec trois des instruments de JWST. En plus des glaces simples comme l'eau, l'équipe scientifique a pu identifier les glaces de nombreuses molécules organiques simples. Outre ces molécules, l'équipe soupçonne la présence de molécules prébiotiques plus complexes que le méthanol (indiquées dans le panneau inférieur droit). Bien qu'elle n'ait pas définitivement attribué ces signaux à des molécules spécifiques, cela prouve pour la première fois que des molécules complexes se forment dans les profondeurs glacées des nuages moléculaires avant la naissance des étoiles.*

*Les panneaux supérieurs et l'inférieur gauche montrent des spectres de l'étoile d'arrière-plan NIR38. Le panneau inférieur droit affiche la profondeur optique, qui est essentiellement une mesure logarithmique de la quantité de lumière de l'étoile absorbée par les glaces du nuage. Elle est utilisée pour mettre en évidence les caractéristiques spectrales les plus faibles des variétés de glace les moins abondantes.*

*(NASA, ESA, CSA, J. Olmsted/STScI, K. Pontoppidan (STScI), N. Crouzet/Leiden University, Z. Smith/Open University)*

## La galaxie ultra-diffuse F8D1

Basé sur un communiqué NAOJ

Les astronomes utilisant le télescope Subaru et le télescope Canada-France-Hawaii ont trouvé une traînée d'étoiles, une « queue de marée », s'étendant sur 200 000 années-lumière à partir de la galaxie F8D1. Cette galaxie, située au nord de la Grande Ourse, fait partie du groupe de M81. Distante de 12 millions d'années-lumière, c'est l'une des plus proches galaxies dites ultra-diffuses.

L'origine de ces galaxies énigmatiques intrigue les astronomes depuis plusieurs décennies : sont-elles nées ainsi, ou plus compactes, et un événement ultérieur a-t-il entraîné leur expansion ?

La découverte de la queue de marée de F8D1 est une preuve irréfutable que la galaxie a été fortement façonnée par des événements au cours du dernier milliard d'années. C'est la première fois qu'un tel flux stellaire est décou-

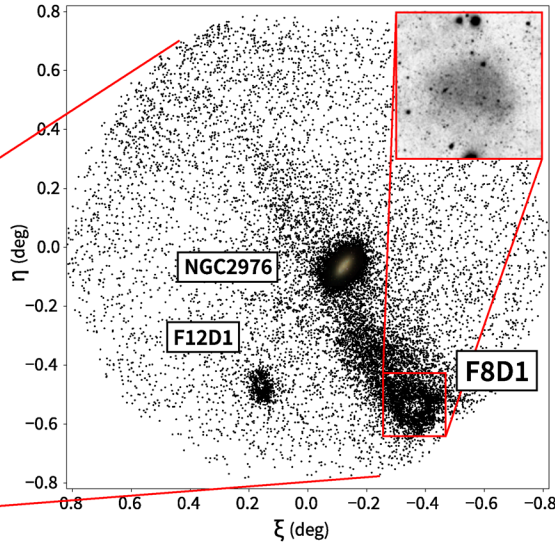
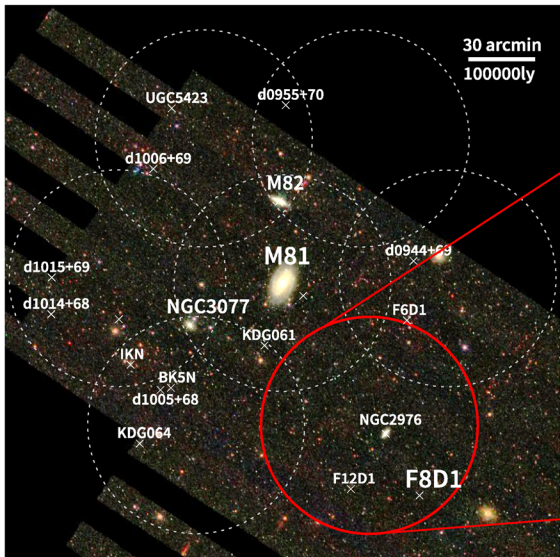
vert dans une galaxie ultra-diffuse. Les astronomes supputent que F8D1 a été perturbée par un récent passage au voisinage de la spirale massive M81, le membre dominant du groupe contenant F8D1.

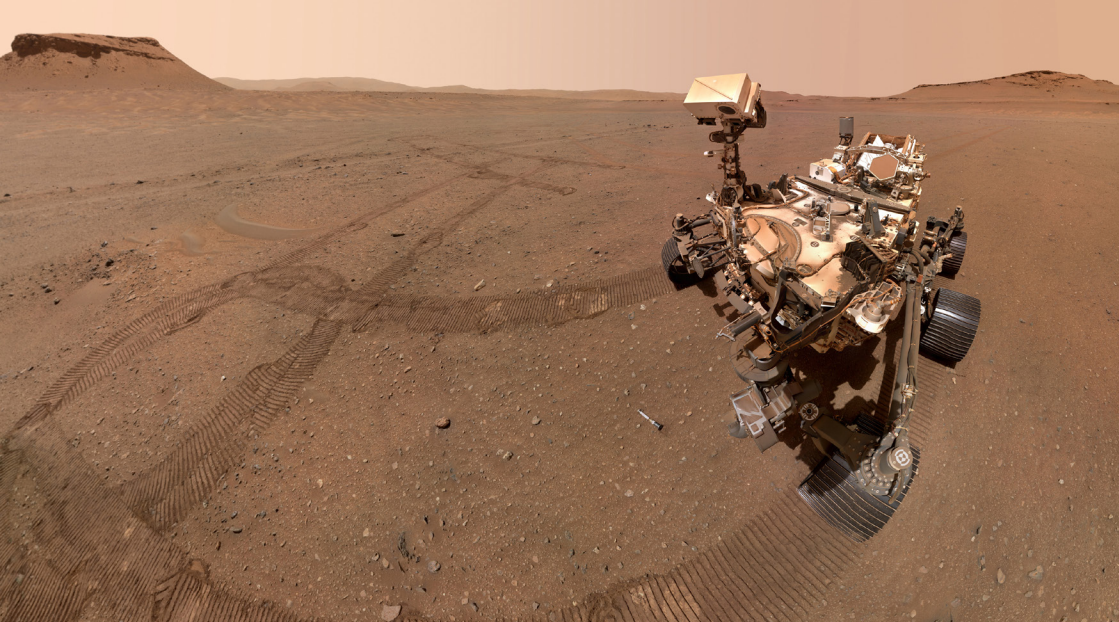
Étant donné que F8D1 se trouve au bord du champ étudié, un seul bras de marée a été décelé, s'étendant vers le nord-est. Peut-être existe-t-il un appendice analogue au sud-ouest. De nouvelles observations devraient en décider.

À gauche, zones du groupe de M81 devant être étudiées, superposées sur une image Sloan Digital Sky Survey.

À droite : la distribution spatiale des étoiles géantes rouges proches de F8D1 dans le champ délimité par le cercle rouge du panneau de gauche.

En encadré, un zoom sur les corps principaux de la galaxie F8D1. (Zemaitis et al, 2022)





## ***Perseverance sur Mars***

*Basé sur un communiqué NASA/JPL*

Dix tubes d'échantillons, capturant une étonnante variété de géologie martienne, ont été déposés à la surface de Mars afin qu'ils puissent être étudiés sur Terre à l'avenir.

Moins de six semaines après son lancement, le premier dépôt d'échantillons sur un autre monde a été constitué. La confirmation du largage du 10<sup>e</sup> et dernier tube a été reçue le dimanche 29 janvier par les contrôleurs de mission du Jet Propulsion Laboratory. Cette étape majeure impliquait une planification et une navigation de précision pour garantir que les tubes pourraient être récupérés en toute sécurité à l'avenir par la campagne de retour d'échantillons de Mars de la NASA-ESA, qui vise à amener des échantillons de Mars sur Terre pour une étude plus approfondie.

Tout au long de sa campagne scientifique, le rover a prélevé deux échantillons des roches que l'équipe de la mission juge scientifiquement significatives. Un échantillon de chaque paire se trouve maintenant dans le dépôt soigneusement aménagé dans la région des « trois fourches » du cratère Jezero. Les échantillons de ce dépôt serviront d'ensemble de sauvegarde tandis que l'autre moitié restera à l'intérieur de Perseverance et, en principe,

*Perseverance a pris ce selfie en regardant l'un des 10 tubes d'échantillons déposés au dépôt d'échantillons qu'elle a créé dans une zone surnommée «Three Forks». Cette image a été prise par la caméra WATSON sur le bras robotique du rover le 20 janvier 2023, le 684<sup>e</sup> jour martien, ou sol, de la mission.*

*(NASA/JPL-Caltech/MSSS)*

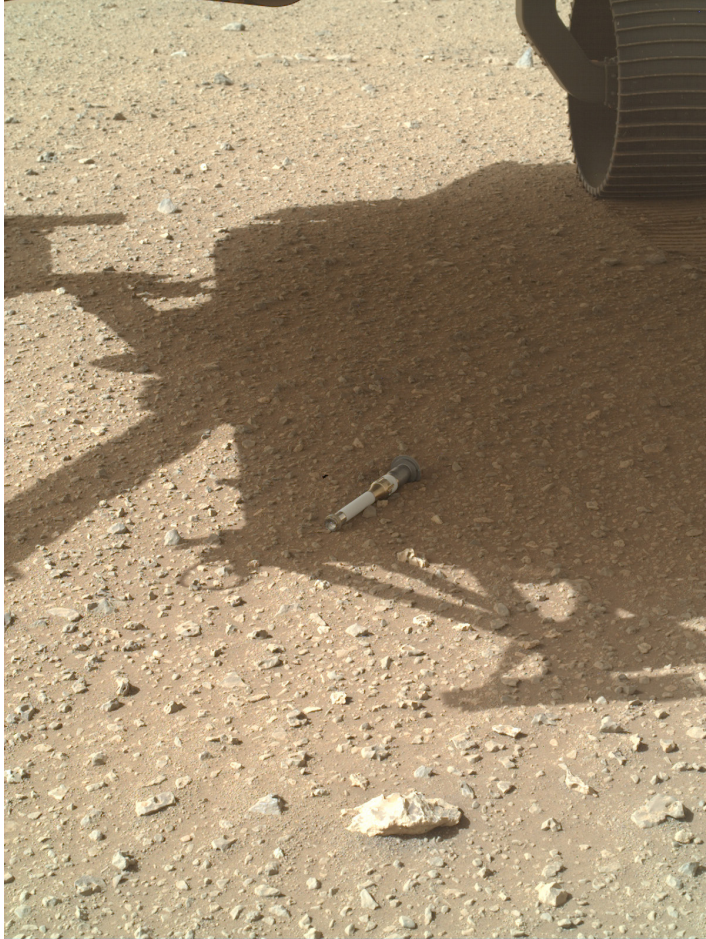
sera prélevée par la mission Sample Retrieval Lander.

Les scientifiques pensent que les carottages de roches ignées et sédimentaires fournissent une excellente coupe transversale des processus géologiques qui ont eu lieu à Jezero peu de temps après la formation du cratère il y a près de 4 milliards d'années. Le rover a également déposé un échantillon atmosphérique et ce qu'on appelle un tube « témoin », qui est utilisé pour déterminer si les échantillons collectés pourraient être contaminés par des matériaux qui ont voyagé avec le rover depuis la Terre.

Les tubes de titane ont été déposés sur la surface selon un motif en zigzag complexe, les échantillons étant distants d'environ 5 à 15 mètres l'un de l'autre pour garantir une récupération en toute sécurité. Une cartographie



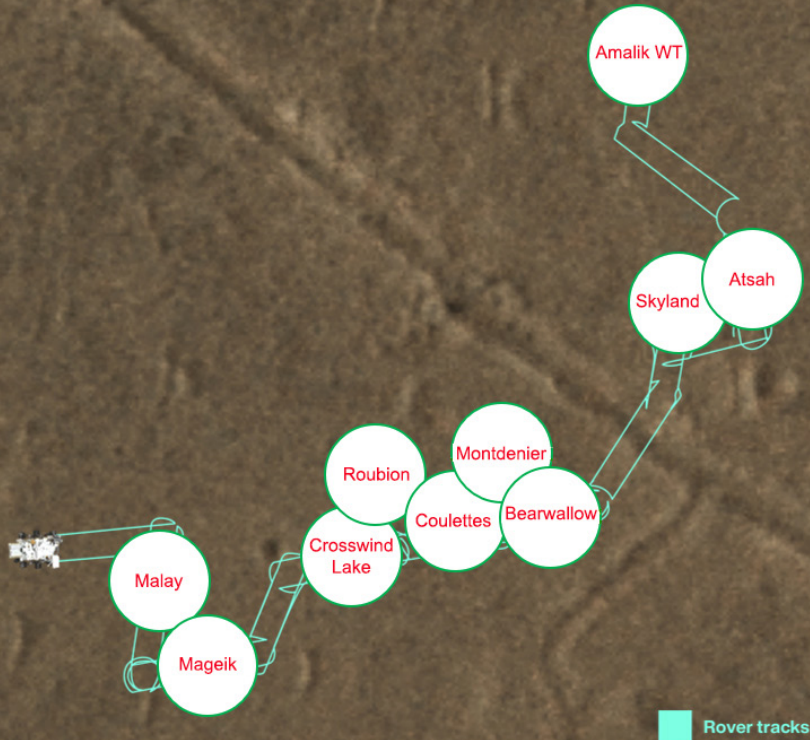
*La caméra WATSON de Perseverance a pris cette image du 10<sup>e</sup> et dernier tube à être déployé lors de la création du premier dépôt d'échantillons sur un autre monde, le 28 janvier 2023, ou sol 690. (NASA/JPL-Caltech/MSSS)*



précise permettra de retrouver l'emplacement des échantillons même s'ils étaient couverts de poussière. Le dépôt se trouve sur un terrain plat près de la base de l'ancien delta qui s'est formé il y a longtemps lorsqu'une rivière s'y déversait dans un lac.

Après le dépôt de Three Forks, Perseverance se dirige maintenant vers le delta Hawksbill Gap exploré précédemment. Une fois dépassé l'affleurement Rocky Top, Perseverance sera dans un nouveau territoire et commencera à explorer le Delta Top.

Les scientifiques ont constaté que, depuis la base du delta jusqu'au niveau où se trouve Rocky Top, les roches semblent avoir été déposées dans un environnement lacustre. Et celles juste au-dessus de Rocky Top semblent provenir d'une rivière se jetant dans le lac. Au fur et à mesure que l'on remonte le delta, on s'attend à trouver des roches composées de grains plus gros – du sable jusqu'aux gros rochers. Ces matériaux proviennent probablement de roches à l'extérieur de Jezero, érodées et lavées dans le cratère.



L'un des premiers arrêts que le rover effectuera au cours de la nouvelle campagne scientifique se situe à un endroit que l'équipe scientifique appelle l'unité curvilinéaire. Essentiellement un banc de sable martien, l'unité est constituée de sédiments qui, il y a des âges, ont été déposés dans un coude de l'un des canaux fluviaux entrants de Jezero. L'équipe scientifique pense que l'unité curvilinéaire sera un excellent endroit pour rechercher des affleurements intéressants de grès et peut-être de mudstone, et pour avoir un aperçu des processus géologiques au-delà des parois du cratère Jezero.

*Position des échantillons laissés par Perseverance en vue d'une mission de récupération. Après plus de cinq semaines de travail, le dépôt a été achevé le 28 janvier 2023, 690<sup>e</sup> jour, ou sol, de la mission.  
(NASA/JPL-Caltech)*



## ***Wolf 1069 une exoterre proche***

*Basé sur un communiqué MPLA*

Les astronomes ont découvert une exoplanète de masse terrestre en orbite dans la zone habitable de l'étoile naine rouge Wolf 1069. Bien que la rotation de cette planète soit probablement synchronisée par les marées sur sa trajectoire autour l'étoile mère, l'équipe est optimiste sur le fait qu'elle peut fournir des conditions habitables durables sur une large zone de son côté jour. L'absence de toute activité stellaire apparente ou de rayonnement UV intense augmente les chances que Wolf 1069 b ait pu conserver une grande partie de son atmosphère. Par conséquent, la planète est l'une des rares cibles prometteuses pour la recherche de marqueurs d'habitabilité et de biosignatures.

L'un des objectifs les plus excitants de la recherche sur les exoplanètes est de trouver un monde habitable semblable à la Terre. Cependant, sur les plus de 5 000 exoplanètes que les astronomes ont découvertes jusqu'à présent, seulement 1,5 % environ ont des masses inférieures à deux masses terrestres. À peine une douzaine d'entre elles peuplent la zone habitable circumstellaire, la plage d'un système planétaire où l'eau peut maintenir

*Vue d'artiste d'une exoplanète rocheuse de masse terrestre comme Wolf 1069 b en orbite autour d'une étoile naine rouge. Si la planète avait conservé son atmosphère, il y aurait de fortes chances qu'elle présente de l'eau liquide et des conditions habitables sur une large zone de son côté diurne. (Centre de recherche Ames/Daniel Rutter)*

une forme liquide à la surface de la planète. Les observations capables de trouver de telles planètes de faible masse sont encore très difficiles.

Une façon d'améliorer les chances est de sonder les étoiles de faible masse pour les signatures des planètes en orbite. C'est précisément le but du programme CARMENES qui utilise l'observatoire de Calar Alto en Espagne.

Les données de l'étoile Wolf 1069 montrent un signal périodique clair et de faible amplitude, qui semble trahir la présence d'une planète de masse terrestre. L'objet tourne autour de l'étoile en 15,6 jours à une distance équivalente au quinzième de la séparation entre la Terre et le Soleil.

Malgré la proximité de l'étoile, la planète Wolf 1069 b n'en reçoit qu'environ 65% de ce que la Terre reçoit du Soleil. Wolf 1069 émet beaucoup moins de rayonnement que le Soleil

## Propriétés de l'exoplanète Wolf 1069 b

Distance : 31 années-lumière

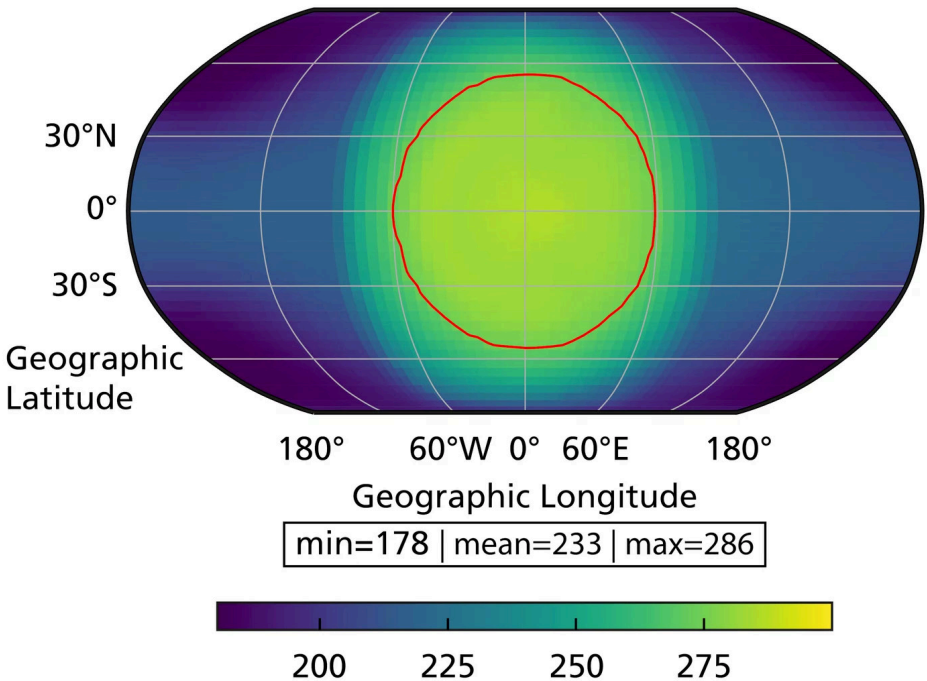
Masse ( $\times \sin i$ ) :  $1,26 \pm 0,21$  masse terrestre

Rayon : 1,08 rayon terrestre (estimation)

Température :  $250 \pm 7$  K

Demi-grand axe d'orbite :  $0,0672 \pm 0,0014$  au

Période orbitale :  $15,564 \pm 0,015$  jours



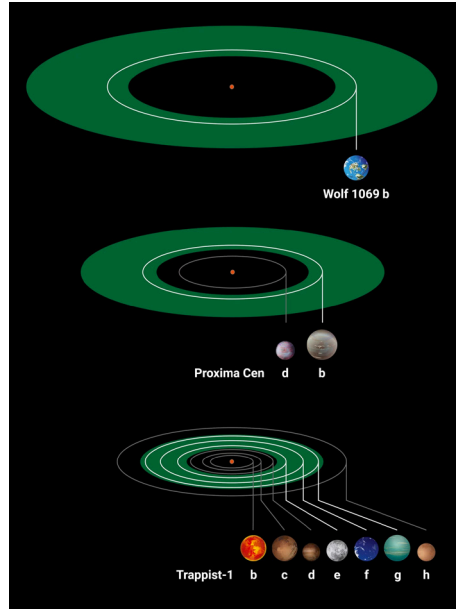
*Carte de la température de surface de Wolf 1069 b, en supposant une atmosphère terrestre. La carte est centrée sur un point qui fait toujours face à l'étoile centrale. Les températures sont données en Kelvin (K). 273,15 K correspond à 0 °C. L'eau liquide serait possible à la surface de la planète à l'intérieur de la ligne rouge. (Kossakowski et al., 2023 / MPIA)*

et sa surface est plus froide, ce qui fait apparaître l'étoile en orange. Ces propriétés se traduisent par une puissance de chauffage réduite. La zone habitable est déplacée vers l'intérieur et les planètes en orbite autour d'étoiles naines rouges telles que Wolf 1069 peuvent être habitables si leur orbite est beaucoup plus petite que celle de la Terre autour du Soleil.

Bien sûr, il faut plus que de l'eau liquide pour constituer une planète habitable. Comme sur Terre, une atmosphère qui provoque un effet de serre naturel peut contribuer à élever la température moyenne au-dessus des 250 K calculés pour Wolf 1069 b. Cette valeur suppose une planète rocheuse sans atmosphère. Les astronomes ont calculé que si elle avait une atmosphère semblable à la Terre, la température moyenne pourrait monter jusqu'à 286 K (+ 13 °C), gardant l'eau liquide sur une grande région face à l'étoile. Sur la base de simulations informatiques utilisant des modèles climatiques complexes, l'équipe conclut que la planète pourrait maintenir des températures modérées et avoir de l'eau liquide en surface pour un large éventail de conditions atmosphériques.

Une telle atmosphère protégerait la surface des rayonnements électromagnétiques de haute énergie et des particules provenant soit de l'espace interstellaire, soit de l'étoile centrale. Les étoiles naines rouges sont bien connues pour leur activité entraînant des vents stellaires massifs et un rayonnement UV intense capables d'éroder l'atmosphère d'une planète, ce qui rend sa surface stérile, comme cela a été le cas pour Mars.

Contrairement, par exemple, à Proxima Centauri avec ses deux planètes confirmées, l'étoile Wolf 1069 semble très calme. Les observations n'indiquent aucun type d'activité stellaire nuisible. Pourtant, il est probablement trop tôt pour être optimiste. Au cours de sa jeunesse, une étoile naine rouge a tendance à passer par une phase de haute activité avec des conséquences désastreuses pour toute planète à proximité. Cependant, si Wolf 1069 b avait développé et maintenu une atmosphère très tôt, elle aurait dû la conserver jusqu'à aujourd'hui. Il est aussi possible que la planète



*Comparaison de trois systèmes d'étoiles naines rouges hébergeant des planètes de masse terrestre. Les anneaux verts indiquent les zones habitables. (MPIA/J. Neidel)*

ait un champ magnétique semblable à celui de la Terre, mais plus faible, qui la protège des particules chargées du vent stellaire.

Bien que cette idée soit un peu spéculative, le raisonnement est solide. Les simulations numériques montrent qu'environ 5% de tous les systèmes planétaires en évolution autour d'étoiles de faible masse, telles que Wolf 1069, se retrouvent avec une seule planète détectable. Elles mettent en évidence une étape de rencontres violentes avec des embryons planétaires lors de la construction du système planétaire, conduisant à des impacts catastrophiques occasionnels. Ces événements feraient fondre n'importe quel monde jeune et en évolution. Le noyau planétaire devrait encore être chaud et liquide aujourd'hui,

fournissant une dynamo qui produit un champ magnétique global comme sur la Terre.

Wolf 1069 b semble être l'une de ces rares planètes solitaires. Sur la base de leurs mesures, les astronomes excluent la présence de planètes supplémentaires avec au moins une masse terrestre et des périodes orbitales de moins de dix jours. Cependant, ils ne peuvent pas exclure les planètes sur des orbites plus lointaines.

Alors que Wolf 1069 b est une candidate prometteuse pour contraindre davantage ses conditions d'habitabilité, il existe une propriété particulière qu'elle partage avec pratiquement toutes les planètes dans les zones habitables des étoiles naines rouges. Sa rotation est probablement verrouillée par les marées sur son orbite autour de l'étoile hôte. En d'autres termes, une rotation autour de son axe prend autant de temps qu'une orbite. Comme le même côté fait toujours face à l'étoile, il connaît le jour éternel alors qu'il y a toujours la nuit sur l'hémisphère opposé.

Le même phénomène nous permet de voir toujours la même face de la Lune. Les forces de marée déforment légèrement la planète de sa forme symétrique vers un ellipsoïde. Cela fait que la gravité de l'étoile agit différemment sur la surface de la planète, ce qui entraîne un effet de freinage. Au fil du temps, la période de rotation se rapproche ainsi progressivement de la période orbitale. L'efficacité du verrouillage de marée dépend de la distance de l'étoile et de sa masse. Pour les étoiles naines rouges, ces distances coïncident bien avec la zone habitable. En conséquence, les conditions potentiellement habitables ne se produisent que dans une zone confinée du côté jour de la planète.

Les progrès technologiques depuis la première détection d'une exoplanète il y a près de 30 ans sont époustouffants. Pourtant, les signatures spectrales que les astronomes recherchent pour détecter des planètes avec des masses et des diamètres comme la Terre sont très faibles et difficiles à extraire des mesures. Le programme CARMENES utilise la méthode de la vitesse radiale (RV) pour rechercher des exoplanètes autour d'étoiles de

faible masse. Cette technique mesure les variations périodiques mineures dans les spectres stellaires, ce qui suggère qu'un compagnon attire gravitationnellement l'étoile hôte. Ainsi, l'étoile suit une trajectoire reflétant l'orbite de la planète, bien qu'à une distance beaucoup plus petite de leur centre de masse commun. Cet effet est d'autant plus prononcé que la masse de la planète est grande par rapport à celle de l'étoile, comme c'est le cas lors de l'observation d'étoiles naines rouges de faible masse. Lors d'une révolution, l'étoile s'approche de nous d'un côté et s'éloigne de l'autre. Les astronomes déduisent le minuscule changement de vitesse qui en résulte en mesurant le déplacement périodique des raies spectrales stellaires. À partir de là, ils calculent la masse de la planète – ou du moins une limite inférieure car l'inclinaison inconnue du plan orbital modifie la vitesse mesurée, qui est généralement un peu plus petite que la vitesse orbitale réelle de la planète.

Comme c'était le cas pour Wolf 1069 b, ces signaux sont si faibles qu'ils nécessitent des procédures analytiques complexes et sophistiquées pour les distinguer des artefacts dans les spectres. Ils proviennent de nombreuses influences. Par exemple, avant que la lumière stellaire n'entre dans le télescope, elle traverse l'atmosphère terrestre, qui superpose son propre spectre à celui produit par l'étoile. Démêler ces contributions est difficile et peut influencer les résultats si ce n'est pas fait correctement.

Avec une distance de 31 années-lumière, Wolf 1069 b est la sixième planète la plus proche de nous, ayant une masse terrestre et se trouvant dans la zone habitable de son étoile hôte. En raison de ses perspectives favorables en matière d'habitabilité, elle fait partie d'un petit groupe de cibles illustres, telles que Proxima Centauri b et TRAPPIST-1 e, où l'on pourra espérer trouver des biosignatures. Hélas, de telles observations dépassent actuellement les capacités de la recherche astronomique. L'Extremely Large Telescope (ELT), qui est en construction au Chili, pourrait être en mesure de caractériser les conditions de ces planètes.

## ***L'anneau de Quaoar***

*Basé sur un communiqué ESA*

Profitant d'une pause dans sa campagne d'observation d'exoplanètes, le satellite Cheops s'est tourné vers Quaoar, une planète naine du Système solaire, et a apporté une contribution décisive à la découverte d'un anneau dense de matière autour d'elle.

La présence d'un anneau à une distance de près de sept fois et demie le rayon de Quaoar constitue une énigme pour les astronomes : pourquoi ce matériau n'a-t-il pas fusionné en une petite lune ?

L'anneau a été découvert grâce à une série d'observations qui ont eu lieu de 2018 à 2021. À l'aide d'une collection de télescopes au sol et de Cheops, les astronomes ont observé Quaoar passer devant plusieurs étoiles, bloquant brièvement leur lumière.

Observer les variations d'éclat des étoiles lors des occultations fournit des informations sur la taille et la forme de l'objet occultant, et peut révéler une atmosphère. Dans le cas présent, de brèves extinctions avant et après l'occultation principale ont trahi la présence de matériel en orbite autour de Quaoar.

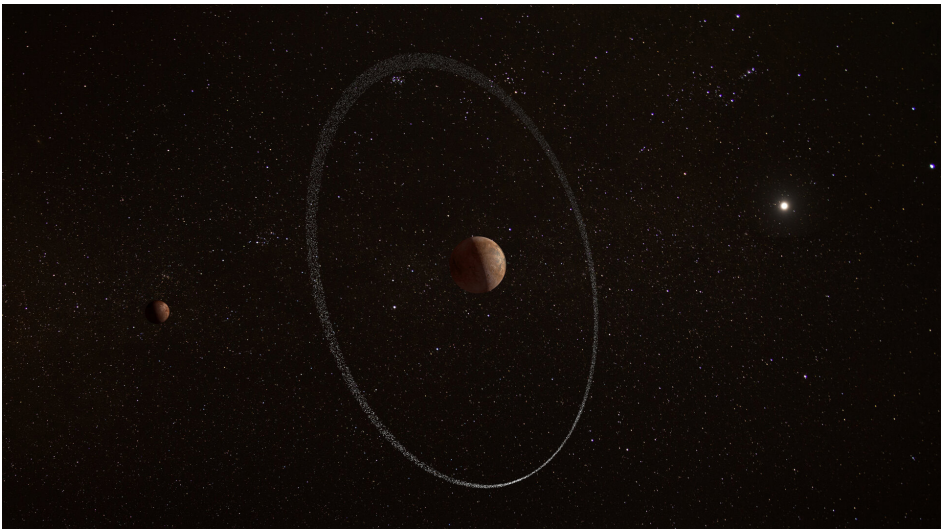
Quaoar fait partie d'une collection de petits mondes lointains connus sous le nom

d'objets transneptuniens (TNO). On en connaît environ 3 000. Comme leur nom l'indique, les TNO se meuvent aux confins du Système solaire, au-delà de l'orbite de la planète Neptune. Les plus grands des TNO sont Pluton et Eris. Avec un rayon estimé à 555 km, Quaoar se classe environ au septième rang sur la liste des tailles. Elle est accompagnée d'une petite lune appelée Weywot, d'environ 80 km de rayon.

L'étude de ces planètes naines est difficile en raison de leur petite taille et de leurs distances extrêmes. Quaoar orbite autour du Soleil à près de 44 fois la distance Soleil-Terre. Ainsi, les occultations sont des outils particulièrement précieux. Jusqu'à récemment, cependant, il était difficile de prédire exactement quand et où elles auront lieu.

Pour qu'une occultation se produise, l'alignement entre l'objet occultant (ici le TNO), l'étoile et le télescope doit être extrêmement précis. Dans le passé, il était presque impossible de répondre aux exigences de précision strictes pour être certain de voir un événement. Néanmoins, pour poursuivre cet objectif, le projet Lucky Star du Conseil européen de la recherche, a été créé pour prédire

*Vue d'artiste de Quaoar et de son anneau.  
(ATG, ESA, CC BY-SA 3.0 IGO)*



*Image prise le 14 février 2006 par le télescope spatial Hubble, et montrant Quaoar et sa lune Weywot.  
(NASA/HST, M.E. Brown)*



les occultations à venir par les TNO, et coordonner l'observation de ces événements depuis des observatoires professionnels et amateurs du monde entier.

Récemment, le nombre d'occultations stellaires observées a augmenté. Cela est dû en grande partie au succès de la mission de cartographie stellaire Gaia de l'ESA. Le vaisseau spatial a fourni une exactitude si étonnante dans les positions stellaires que les prédictions faites par l'équipe Lucky Star sont devenues beaucoup plus certaines.

Le principal problème était que la trajectoire du satellite pouvait être légèrement perturbée par la traînée aérodynamique dans les parties supérieures de l'atmosphère terrestre. Cela est dû à l'activité solaire imprévisible qui peut frapper notre planète et gonfler son atmosphère. Ainsi, la première fois que les astronomes ont tenté d'observer une occultation avec Cheops, qui impliquait Pluton, la prédiction n'était pas assez précise et aucune occultation n'a pu être observée.

L'alignement était plus favorable lors de la deuxième tentative, lorsqu'ils ont observé Quaoar. Ce faisant, ils ont fait la toute première détection d'une occultation stellaire par un objet transneptunien depuis un engin spatial.

Cheops donne un excellent rapport signal sur bruit parce que le télescope n'a pas à combattre les effets déformants de la basse

atmosphère terrestre. Cet avantage s'est avéré décisif pour reconnaître le système d'anneaux de Quaoar car il a permis aux chercheurs d'éliminer la possibilité que les baisses de lumière aient été causées par un effet parasite dans l'atmosphère terrestre. En combinant plusieurs détections secondaires prises avec des télescopes sur Terre, il a été possible de s'assurer qu'elles étaient provoquées par un système d'anneaux entourant Quaoar.

Les données de Cheops ont été combinées avec celles de grands observatoires professionnels du monde entier et de citoyens scientifiques amateurs, qui avaient tous observé diverses étoiles occultées par Quaoar au cours des dernières années. En rassemblant les données, les astronomes ont identifié des baisses de luminosité qui n'étaient pas causées par Quaoar, mais qui indiquaient la présence de matière sur une orbite circulaire autour de l'objet.



*Comparaison des dimensions de Quaoar, de la Lune et de la Terre. (Wyattmars, CC BY-SA 4.0)*



En ce qui concerne les systèmes d'anneaux, la planète géante Saturne détient le record. Connue comme la planète aux anneaux, Saturne est entourée d'une ceinture de poussière et de petites lunes. Malgré son apparence impressionnante, la masse du système d'anneaux est assez faible. S'il était collecté, il ferait entre un tiers et la moitié de la masse de Mimas, une lune de Saturne, ou environ la moitié de la masse de la banquise antarctique de la Terre.

L'anneau de Quaoar est beaucoup plus petit que celui de Saturne mais non moins intrigant. Ce n'est pas le seul système d'anneaux connu qui existe autour d'une planète mineure. Deux autres, autour de Chariklo et Haumea, ont été détectés grâce à des observations au sol.

Ce qui rend l'anneau de Quaoar unique cependant, c'est sa distance par rapport à Quaoar. Tout objet doté d'un champ gravitationnel appréciable peut mettre en pièce un autre astre s'approchant à moins d'une certaine distance. C'est ce qu'on appelle la limite de Roche. Des systèmes d'anneaux denses ne pourraient donc exister qu'à l'intérieur de la limite de Roche, ce qui est le cas des anneaux de Saturne, Chariklo et Haumea.

Dans le cas de Quaoar, l'anneau de matière est beaucoup plus grand que la limite de Roche. C'est un mystère car selon les théories conventionnelles, les anneaux au-delà de la limite de Roche fusionnent en une petite lune en quelques décennies seulement. La notion classique selon laquelle les anneaux denses ne survivent qu'à l'intérieur de la limite de Roche d'un corps planétaire doit être complètement révisée.

Les premiers résultats suggèrent que les températures glaciales de Quaoar pourraient jouer un rôle en empêchant les particules de glace de se coller, mais des recherches supplémentaires sont nécessaires.

Pendant que les théoriciens se mettent au travail sur la façon dont les anneaux de Quaoar peuvent survivre, le projet Lucky Star continue d'examiner Quaoar et d'autres TNO alors qu'ils occultent des étoiles lointaines pour mesurer leurs caractéristiques physiques et voir combien d'autres ont également des systèmes d'anneaux.

Quant à Cheops, il revient à sa mission initiale d'étudier les exoplanètes.

## **2011 AG5, un visiteur oblong**

*Basé sur un communiqué NASA/JPL*

L'un des astéroïdes les plus allongés jamais imagés par un radar planétaire a été suivi de près par le Deep Space Network de la NASA.

Le 3 février, un astéroïde plus de trois fois plus long que large est passé « près » de la Terre – dans la mesure où une distance de 1,8 million de kilomètres peut être considérée comme faible. Cela représentent quand même cinq fois celle de la Lune.

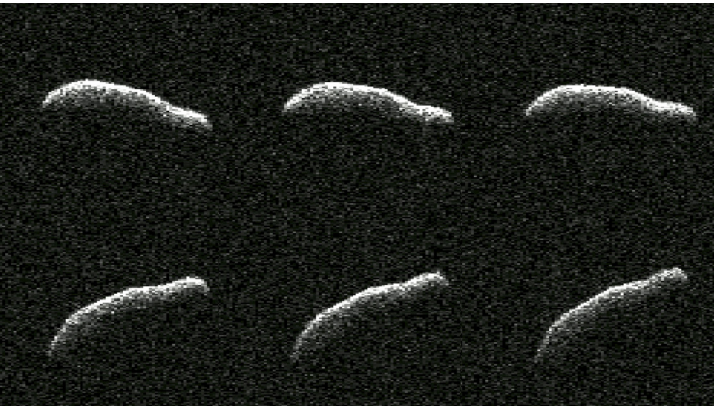
Bien qu'il n'y ait aucun risque que l'astéroïde 2011 AG5 heurte notre planète, les scientifiques ont suivi de près l'objet pour déterminer sa taille, sa rotation, les détails de sa surface et aussi sa forme. Cette approche était la première occasion d'examiner en détail l'astéroïde depuis sa découverte en 2011, et elle a révélé un objet d'environ 500 mètres de long sur 150 de large – des dimensions comparables à l'Empire State Building. Une forme si allongée est rare dans le Système solaire. Curieusement, c'est le premier objet interstellaire confirmé, 'Oumuamua (= 1I/2017 U1), qui présente l'allongement record avec un rapport de 6 entre longueur et largeur.

C'est la grande antenne de 70 mètres du Deep Space Network, à Goldstone en Californie, qui a révélé les dimensions de cet astéroïde. C'est l'un des plus allongés parmi

les 1 040 objets géocroiseurs observés par radar jusqu'à ce jour. Les observations radar de Goldstone ont eu lieu du 29 janvier au 4 février, capturant plusieurs détails comme une grande dépression dans l'un des hémisphères de l'astéroïde. 2011 AG5 présente des régions sombres et claires qui peuvent indiquer des détails à l'échelle de quelques dizaines de mètres.

Si l'astéroïde était vu de près, il apparaîtrait aussi sombre que du charbon de bois. Les observations ont également confirmé qu'AG5 2011 a un taux de rotation lent, prenant neuf heures pour effectuer un tour complet sur lui-même.

Les observations radar de Goldstone ont fourni des mesures précises de distance qui peuvent aider les scientifiques du CNEOS (Center for Near Earth Object Studies) de la NASA à affiner la trajectoire orbitale de l'astéroïde. L'astéroïde 2011 AG5 orbite autour du Soleil en 621 jours et ne passera pas près de nous avant 2040, lorsqu'il s'approchera à environ 1,1 million de kilomètres. Fait intéressant, peu de temps après sa découverte, 2011 AG5 a acquis une certaine célébrité lorsque les analyses avaient indiqué un certain risque d'un impact futur. Le suivi des observations a exclu toute possibilité d'impact, et ces nouvelles mesures de distance par l'équipe du radar planétaire permettront d'encore affiner sa trajectoire jusqu'à un futur éloigné.



*Ce collage montre six observations radar de 2011 AG5 un jour après que l'astéroïde se soit rapproché de la Terre le 3 février. Avec des dimensions comparables à celles de l'Empire State Building, 2011 AG5 est l'un des astéroïdes les plus allongés observés par radar planétaire à ce jour. (NASA/JPL-Caltech)*

## Le Soleil en X et UV

*Basé sur un communiqué NASA/JPL*

Nos yeux ne voient qu'une petite partie des couleurs, ou plutôt des longueurs d'onde, de la lumière émise par notre étoile. Le spectre du Soleil contient cependant bien plus que le rouge, le vert et le bleu. L'image ci-dessous montre une autre sélection de cette lumière cachée, y compris les rayons X à haute énergie émis par les plasmas les plus chauds de l'atmosphère du Soleil, observée par le télescope NuSTAR (Nuclear Spectroscopic Telescope Array) de la NASA. Cet observatoire spatial étudie généralement des objets en dehors du Système solaire comme des trous noirs massifs et des étoiles effondrées, mais il a également fourni aux astronomes des informations sur le Soleil.

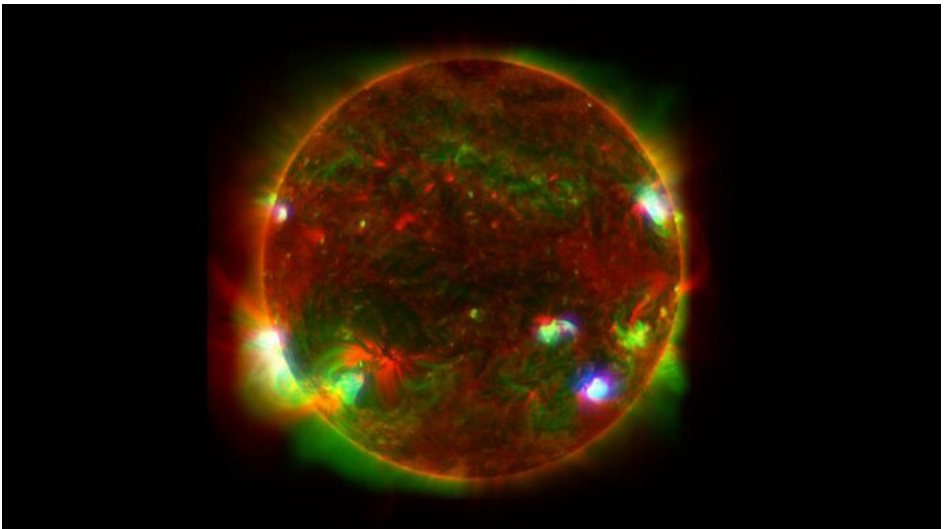
L'image NuSTAR pourrait aider les scientifiques à résoudre l'un des plus grands mystères de notre étoile : pourquoi l'atmosphère extérieure du Soleil, la couronne, atteint plus d'un million de degrés – au moins 100 fois plus chaude que sa surface. Cela déconcerte les scientifiques car la chaleur du Soleil provient de son noyau et se propage vers l'ex-

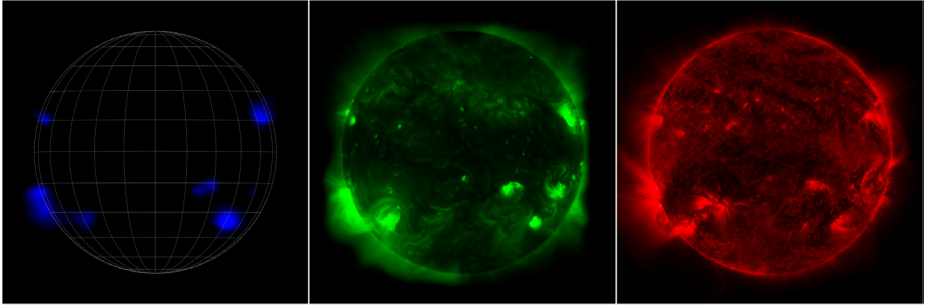
térieur. C'est comme si l'air autour d'un feu était 100 fois plus chaud que les flammes.

La source de chaleur de la couronne pourrait être de petites éruptions dans l'atmosphère du Soleil appelées nano-flares. Les éruptions sont de grandes explosions de chaleur, de lumière et de particules diverses, que peuvent détecter un large éventail d'observatoires solaires. Les nano-flares sont des événements beaucoup plus petits, mais les deux types entraînent des températures encore plus élevées

*Dans cette image composite, les données NuSTAR sont représentées en bleu et sont superposées aux observations du télescope à rayons X (XRT) de la mission Hinode de l'Agence japonaise d'exploration aérospatiale, représentées en vert, et de l'Atmospheric Imaging Assembly (AIA) sur le Solar Dynamics Observatory (SDO) de la NASA, représentées en rouge. Le champ de vision relativement petit de NuSTAR signifie qu'il ne peut pas voir le Soleil en entier depuis sa position sur l'orbite terrestre, de sorte que la vue est en fait une mosaïque de 25 images, prises en juin 2022.*

*(NASA/JPL-Caltech/JAXA)*





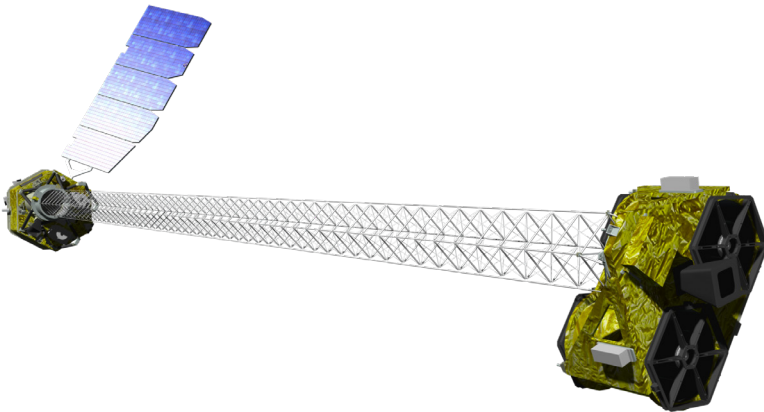
que la température moyenne de la couronne. Les éruptions régulières ne se produisent pas assez souvent pour maintenir la couronne aux températures élevées observées, mais les nano-éruptions peuvent se produire beaucoup plus fréquemment – peut-être assez souvent pour chauffer la couronne.

Bien que les nano-flares individuels soient trop faibles pour être observés dans l'intense lumière du Soleil, NuSTAR peut détecter la lumière du plasma très chaud que doit produire l'accumulation de nano-flares, ce qui permet aux physiciens d'étudier la fréquence à laquelle les nano-éruptions se produisent et comment elles libèrent de l'énergie.

Les observations utilisées dans ces images ont coïncidé avec le 12<sup>e</sup> passage de NuSTAR près du Soleil de la sonde solaire

*Le Soleil apparaît différemment selon qui regarde. De gauche à droite, NuSTAR de la NASA voit des rayons X à haute énergie ; la mission Hinode de l'Agence japonaise d'exploration aérospatiale voit des rayons X à faible énergie ; et le SDO (Solar Dynamics Observatory) de la NASA voit la lumière ultraviolette. (NASA/JPL-Caltech/JAXA)*

Parker de la NASA, qui vogue plus près de notre étoile que tout autre vaisseau spatial de l'histoire. La prise d'observations avec NuSTAR lors d'un des passages du périhélie de Parker permet aux scientifiques de relier l'activité observée à distance dans l'atmosphère du Soleil avec les échantillons directs de l'environnement solaire prélevés par la sonde.



*Vue d'artiste de NuSTAR. (NASA/JPL-Caltech)*

## **Quatre classes de systèmes planétaires**

*Basé sur un communiqué Université de Berne*

Les systèmes planétaires ne sont pas tous structurés comme le nôtre. Loin s'en faut. Des chercheurs viennent de montrer pour la première fois qu'il en existe de quatre types.

Dans le Système solaire, tout semble être en ordre : les plus petites planètes rocheuses, comme Vénus, la Terre ou Mars, orbitent relativement près de notre étoile. Les grandes géantes de gaz et de glace, telles que Jupiter, Saturne ou Neptune, par contre, tournent loin du Soleil. De nouvelles études montrent que notre système planétaire est assez unique à cet égard.

Il y a plus de dix ans, le télescope spatial Kepler avait permis de constater que les planètes d'autres systèmes ressemblent généralement à leurs voisines respectives en taille et en masse – comme des pois dans une cosse. Mais pendant longtemps, il était difficile de savoir si cette découverte était due aux limites des méthodes d'observation. Il n'avait pas été possible de déterminer si les planètes d'un système individuel étaient suffisamment similaires pour tomber dans cette classe des systèmes « pois dans une cosse », ou si elles étaient diverses comme dans le Système solaire.

En développant un cadre pour déterminer les différences et les similitudes entre les planètes des mêmes systèmes il est apparu qu'il n'y avait pas deux, mais quatre sortes d'architectures.

Les chercheurs qualifient ces quatre classes de similaires, ordonnées, anti-ordonnées et mixtes. Les systèmes planétaires similaires sont ceux dans lesquels les masses des planètes voisines sont à peu près les mêmes et qui ont une architecture similaire. Les systèmes planétaires ordonnés sont ceux dans lesquels la masse des planètes a tendance à augmenter avec la distance de l'étoile – tout comme dans le Système solaire.

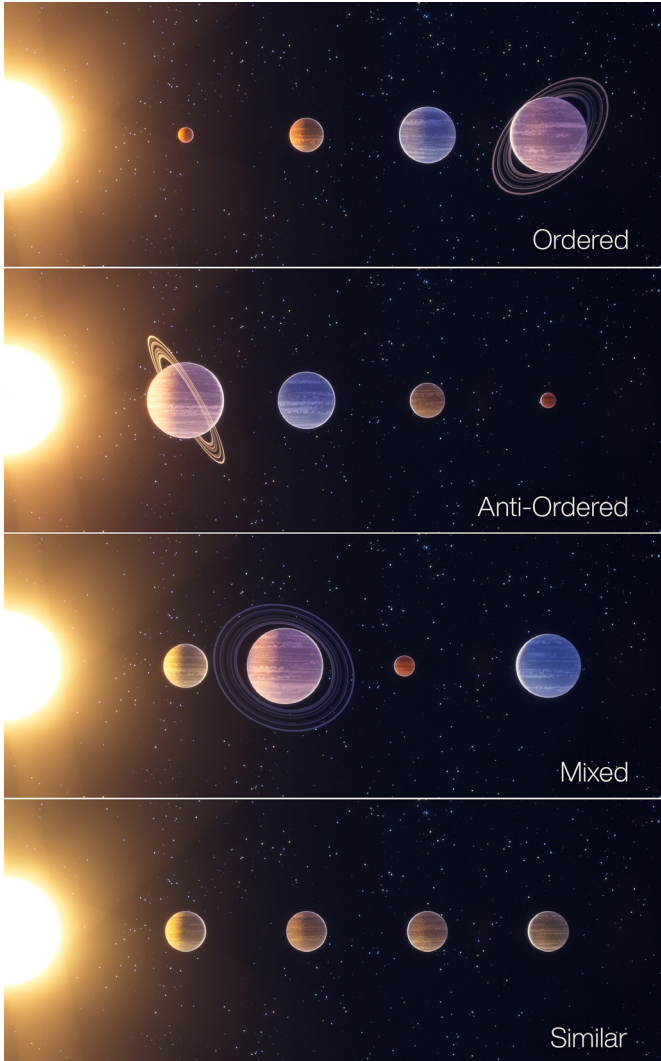
Si, en revanche, la masse des planètes diminue grossièrement avec l'éloignement de l'étoile, les chercheurs parlent d'une architecture anti-ordonnée du système. Et les architectures mixtes se produisent, lorsque les masses planétaires d'un système varient considérablement d'une planète à l'autre. Ce même cadre peut également être appliqué à toute autre mesure, telle que le rayon, la densité ou les fractions d'eau.

Les résultats soulèvent également des questions : quelle architecture est la plus courante ? Quels facteurs contrôlent l'émergence d'un type d'architecture ? Quels facteurs ne jouent pas de rôle ? Les chercheurs peuvent répondre à certaines de ces interrogations.

Les résultats montrent que les systèmes planétaires similaires sont le type d'architecture le plus courant. Environ huit systèmes planétaires sur dix autour d'étoiles visibles dans le ciel nocturne ont une architecture similaire. Cela explique également pourquoi des preuves de cette architecture ont été trouvées au cours des premiers mois de la mission Kepler. Ce qui est surprenant, c'est que l'architecture ordonnée – celle du Système solaire – semble être la classe la plus rare.

Il semble que la masse du disque de gaz et de poussière d'où émergent les planètes, ainsi que l'abondance d'éléments lourds dans l'étoile concernée jouent un rôle. À partir de disques plutôt petits et de faible masse et d'étoiles avec peu d'éléments lourds, des systèmes planétaires similaires émergent. De grands disques massifs avec de nombreux éléments lourds dans l'étoile donnent naissance à des systèmes plus ordonnés et anti-ordonnés. Les interactions dynamiques entre les planètes – telles que les collisions ou les éjections – influencent aussi l'architecture finale.

Un aspect remarquable de ces résultats est qu'ils relient les conditions initiales de la formation planétaire et stellaire à une propriété mesurable : l'architecture du système que l'on peut observer des milliards d'années plus tard.



*Vue d'artiste des quatre classes d'architecture du système planétaire. Un nouveau cadre d'architecture permet aux chercheurs d'étudier un système planétaire entier au niveau des systèmes. Si les petites planètes d'un système sont proches de l'étoile et les planètes massives plus éloignées, ces systèmes ont une architecture « ordonnée ». Inversement, si la masse des planètes d'un système tend à diminuer avec la distance à l'étoile, ces systèmes sont « anti-*

*ordonnés ». Si toutes les planètes d'un système ont des masses similaires, alors l'architecture de ce système est « similaire ». Les systèmes planétaires « mixtes » sont ceux dans lesquels les masses planétaires présentent de grandes variations. La recherche suggère que les systèmes planétaires qui ont la même classe d'architecture ont des voies de formation communes.  
(PRN PlanetS, Tobias Stierli)*