



# Astronomie dans le monde

NASA, ESA, JPL, SSI, Cassini

## ***Encelade***

*Basé sur un communiqué AGU*

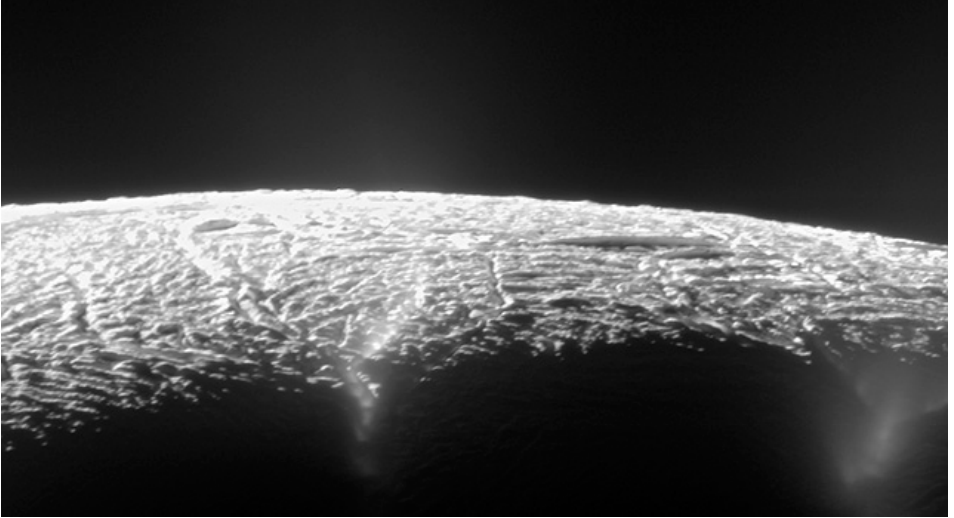
En 2006, la sonde Cassini avait découvert les geysers jaillissant de fissures – les « rayures de tigre » – près du pôle sud d'Encelade, et produisant jusqu'à 200 kilogrammes d'eau par seconde. Une nouvelle étude suggère que l'expansion de la glace au cours de longs cycles de refroidissement pourrait parfois fracturer la croûte glacée de la lune de Saturne, exposant ainsi son océan intérieur, ce qui pourrait expliquer les geysers.

Encelade a un diamètre d'environ 500 kilomètres. Elle est recouverte d'une couche de glace de 20 à 30 kilomètres d'épaisseur, et la température de surface est d'environ

***Le « bassin des geysers ». En 2014 Cassini avait révélé une centaine de sources au pôle sud d'Encelade. (NASA/JPL-Caltech/SSI)***

–200 degrés Celsius. Dix ans d'observations par la mission Cassini-Huygens de la NASA ont fourni des preuves de l'existence d'un océan liquide très profond et d'un « cryovolcanisme » continu. La façon dont un monde aussi petit et froid peut soutenir une telle activité géologique est une énigme scientifique persistante.

Les chercheurs ont modélisé les conditions qui pourraient permettre aux fissures de la surface d'atteindre l'océan et de provoquer les éruptions. Le modèle tient compte des cycles de réchauffement et de refroidisse-



*Des fractures de dilatation permettent à l'eau de l'océan intérieur d'Encelade de s'échapper dans l'espace.  
(NASA/ESA/JPL/SSI/Cassini Imaging Team)*

ment à l'échelle d'une centaine de millions d'années, associés aux changements de l'orbite d'Encelade autour de Saturne. Au cours de chaque cycle, la coquille de glace subit une période d'amincissement et une période d'épaississement. L'épaississement traduit la congélation qui progresse au bas de la couche de glace, comme pour un lac gelé.

La pression exercée par la glace qui enserme l'océan est l'un des mécanismes que les chercheurs ont proposés pour expliquer les geysers d'Encelade. Lorsque l'enveloppe externe de glace se refroidit et s'épaissit, la pression augmente sur l'océan puisque la glace a plus de volume que l'eau. L'augmentation de la pression génère également des tensions dans la glace, qui pourraient ouvrir des passages pour l'eau jusqu'à la surface, 20 ou 30 kilomètres plus haut.

Selon la nouvelle étude, la pression de l'océan serait probablement suffisante pour créer les fissures en forme de rayures de tigre observées à la surface d'Encelade. Mais la

pression ne serait jamais assez forte pour faire remonter l'eau à la surface, si l'on tient compte à la fois de la pressurisation de l'océan et de la contraction thermique, écartant ainsi cette explication pour les geysers.

Un mécanisme proposé dès 2016 pourrait expliquer les éruptions. En s'introduisant dans les fissures, l'eau est exposée au vide de l'espace – Encelade est dépourvue d'atmosphère – et elle entre spontanément en ébullition. Ce mécanisme est cohérent avec l'apparence de la surface d'Encelade, qui ne montre aucune preuve de coulées de « cryolave » s'échappant des fissures.

Certains indices montrent qu'Europe, la lune de Jupiter, un autre monde glacé de la taille de la Lune, pourrait également connaître des éruptions similaires, bien que l'on en sache moins sur l'activité qui s'y déroule.

Ce mécanisme de pression océanique et d'éruption spontanée ne peut pas expliquer le cryovolcanisme qui pourrait se produire sur Europe. De nouvelles observations de cette lune sont nécessaires pour déterminer les causes potentielles de ces éruptions. On attend avec impatience la mission Europa Clipper de la NASA pour en apprendre davantage sur les processus géologiques sur Europe.

## ***L'astéroïde Ryugu, une comète éteinte ?***

*Basé sur un communiqué université de Nagoya*

Les astéroïdes recèlent de nombreux indices sur la formation et l'évolution des planètes et de leurs satellites. Comprendre leur histoire peut donc révéler beaucoup de choses sur le Système solaire. Si les observations effectuées à distance à l'aide de télescopes sont utiles, l'analyse d'échantillons prélevés sur des astéroïdes peut apporter beaucoup plus de détails sur leurs caractéristiques et la façon dont ils ont pu se former. Une tentative dans ce sens a été la mission Hayabusa, qui, en 2010, est revenue sur Terre après 7 ans avec des échantillons de l'astéroïde Itokawa.

La mission suivante, Hayabusa 2, s'est achevée à la fin de 2020, avec le retour sur Terre d'échantillons de l'astéroïde 162173 Ryugu, et la prise de nombreuses images et données recueillies *in situ*. Alors que ces échantillons sont encore en cours d'analyse, les informations obtenues à distance ont révélé trois caractéristiques importantes sur Ryugu. Premièrement, Ryugu est un tas de cailloux maintenus ensemble par la gravité. Deuxièmement, Ryugu a la forme d'une toupie, probablement due à une déformation

induite par une rotation rapide. Troisièmement, Ryugu a une teneur en matière organique remarquablement élevée.

Parmi ces caractéristiques, la troisième soulève une question concernant l'origine de cet astéroïde. Le consensus scientifique veut que Ryugu provienne des débris laissés par la collision de deux astéroïdes plus grands. Cependant, cela semble impossible si l'astéroïde a une forte teneur en matière organique (ce qui sera confirmé par l'analyse des échantillons recueillis). Quelle pourrait donc être la véritable origine de Ryugu ?

Les chercheurs ont proposé une explication alternative étayée par un modèle physique relativement simple. Ils suggèrent que Ryugu, ainsi que d'autres astéroïdes semblables, pourraient en fait être des restes de comètes éteintes.

Les comètes sont de petits corps formés dans les régions extérieures et froides du Système solaire. Elles sont principalement composées de glace d'eau, avec quelques composants rocheux (débris) mélangés. Si une comète entre dans le Système solaire interne – l'espace délimité par la ceinture principale des astéroïdes en deçà de Jupiter – la chaleur du rayonnement solaire provoque la sublimation de la glace, laissant des débris rocheux qui se compactent sous l'effet de la gravité et forment un astéroïde en tas de gravats.


Ce processus correspond à toutes les caractéristiques observées de Ryugu. La sublimation de la glace fait perdre de la masse au noyau de la comète et le fait rétrécir, ce qui augmente sa vitesse de rotation. À la suite de cette rotation, le noyau cométaire peut acquérir la vitesse de rotation nécessaire à la création d'une forme en toupie. De plus, on pense que les composants glacés des comètes contiennent de la matière organique générée dans le milieu interstellaire. Ces matières organiques se déposeraient sur



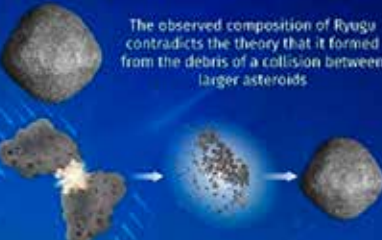
***162173 Ryugu vu par Hayabusa 2 en 2018. (JAXA Hayabusa 2)***

### Is the Ryugu Asteroid an Extinct Comet?

In late 2020, the Hayabusa2 mission retrieved samples and gathered data from Asteroid 162173 Ryugu



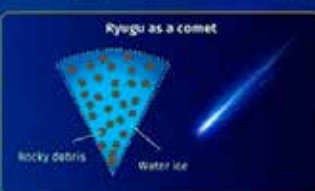
The observed composition of Ryugu contradicts the theory that it formed from the debris of a collision between larger asteroids



Did Ryugu originate from a comet instead?

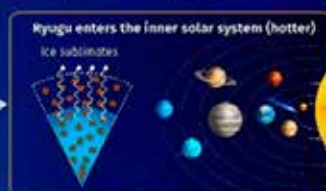
#### Investigating the possible cometary origin of Ryugu with a simple physical model

Ryugu as a comet




Ryugu enters the inner solar system (hotter)

Ice sublimates

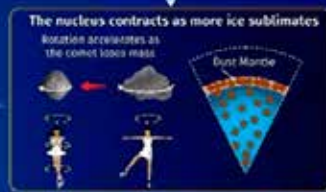


Conversion into rubble-pile asteroid is complete



The nucleus contracts as more ice sublimates

Rotation accelerates as the comet loses mass



Spinning-top shaped asteroids with a rubble-pile structure and high organic content, such as Ryugu, are inherited from extinct comets

les débris rocheux laissés sur place lors de la sublimation de la glace.

Pour vérifier leur hypothèse, les chercheurs ont effectué des simulations numériques à l'aide d'un modèle physique simple afin de calculer le temps nécessaire à la sublimation de la glace et l'augmentation de la vitesse de rotation de l'astéroïde résultant de cette sublimation. Les résultats de leur analyse suggèrent que Ryugu a probablement été pendant quelques dizaines de milliers d'années une comète active avant de se déplacer dans la ceinture interne d'astéroïdes, où les températures élevées ont vaporisé sa glace.

Dans l'ensemble, cette étude indique que les objets « tas de gravier » en forme de toupie et à forte teneur organique, tels que Ryugu et Bennu (la cible de la mission OSIRIS-Rex), sont des objets de transition comète-astéroïde et devraient fournir de nouvelles informations sur le Système solaire.

*Les données de la mission Hayabusa 2 suggèrent que l'astéroïde Ryugu est en fait une comète éteinte qui a perdu sa glace en raison de la chaleur due à l'augmentation du rayonnement solaire après s'être rapprochée de la ceinture principale des astéroïdes.*  
(Hiotoshi Miura / NCU)

## ***L'abondance d'oxygène de la comète 67P, une illusion ?***

*Basé sur un communiqué APL Johns Hopkins*

Lorsque la sonde Rosetta de l'Agence spatiale européenne a découvert une abondance anormalement élevée d'oxygène moléculaire jaillissant de la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko en 2015, cela a laissé les scientifiques perplexes. Ils n'avaient jamais vu une comète émettre de l'oxygène, et encore moins dans une telle abondance. Mais ce qui était le plus alarmant, c'était les implications plus profondes : les chercheurs devaient rendre compte d'une telle quantité d'oxygène, ce qui impliquait de reconsidérer tout ce qu'ils pensaient déjà savoir sur la chimie du Système solaire primitif et sur sa formation.

Une nouvelle analyse montre toutefois que la découverte de Rosetta n'est peut-être pas aussi étrange que les scientifiques l'avaient d'abord imaginé. Elle suggère plutôt que la comète possède deux réservoirs internes qui donnent l'impression qu'il y a plus d'oxygène qu'il n'y en a réellement.

En réalité, la comète n'a pas globalement cette grande abondance d'oxygène. L'oxygène s'est accumulé dans les couches supérieures du noyau, et il s'est ensuite libéré en une seule fois.

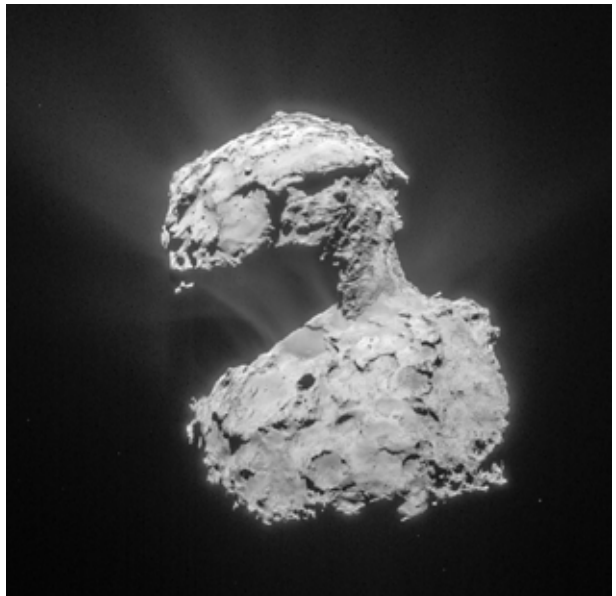
L'oxygène moléculaire est peu commun dans l'Univers. Il se lie rapidement à d'autres atomes et molécules, en particulier aux atomes universellement

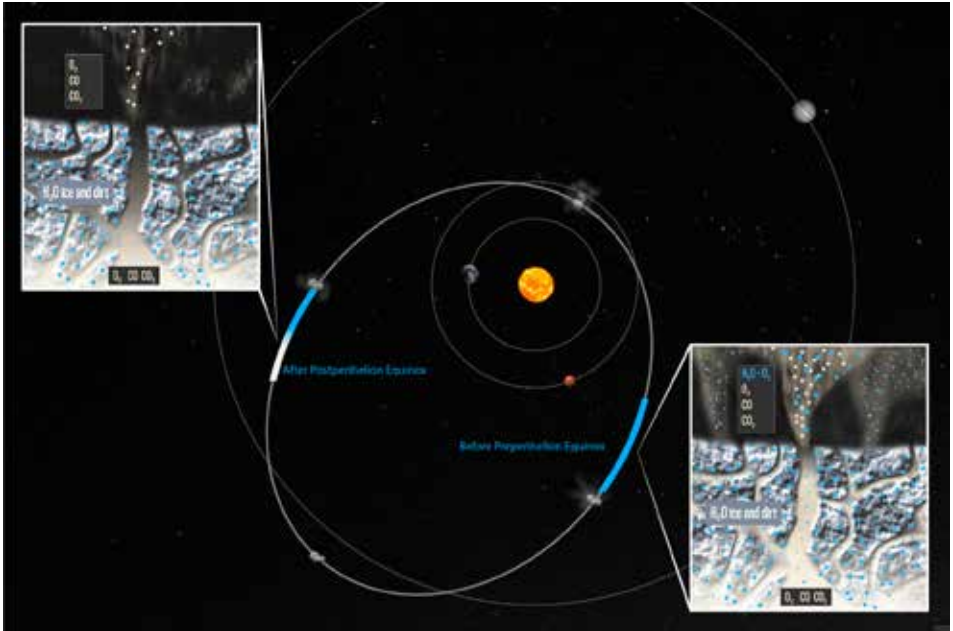
abondants que sont l'hydrogène et le carbone, de sorte que l'oxygène n'apparaît qu'en petites quantités dans quelques nuages moléculaires seulement. Ce fait a conduit de nombreux chercheurs à conclure que tout oxygène présent dans la nébuleuse protosolaire qui a formé le Système solaire s'était probablement combiné de la même manière.

Cependant, lorsque Rosetta a trouvé ce gaz s'échappant de la comète 67P, tout a basculé. Personne n'en avait encore vu dans une comète et, comme il s'agit de la quatrième molécule la plus abondante dans la coma de la comète (après l'eau, le dioxyde de carbone et le monoxyde de carbone), il fallait une explication. L'oxygène semblait jaillir en même temps que l'eau, ce qui a amené de nombreux chercheurs à soupçonner que l'oxygène était soit primordial – ce qui signifie qu'il s'est retrouvé lié à l'eau à la naissance du Système solaire et s'est accumulé dans la comète lors de sa formation –, soit formé à partir de l'eau après la formation de la comète.

Certains astronomes étaient sceptiques. Comme la forme en haltère de la comète tourne progressivement, chaque lobe fait face

***La comète 67P/Churyumov-Gerasimenko vue par la sonde Rosetta de l'ESA en mars 2015. 67P est la première comète connue pour émettre de l'oxygène moléculaire, une molécule peu présente dans l'Univers en raison de sa réactivité chimique, et difficile à détecter. (ESA/Rosetta/NAVCAM)***





au Soleil à différents moments, ce qui signifie que la comète a des « saisons » et que le lien entre l'oxygène et l'eau pourrait ne pas être présent tout le temps. Sur de courtes périodes, les substances volatiles pourraient s'activer et se désactiver, car elles dégèlent et regèlent au fil des saisons.

Profitant de ces saisons, l'équipe a examiné les données moléculaires sur des périodes courtes et longues juste avant que l'hémisphère sud de la comète n'entre en été, puis à nouveau juste à la fin de cet été. En fait, lorsque l'hémisphère sud s'est détourné et s'est trouvé suffisamment éloigné du Soleil, le lien entre l'oxygène et l'eau a disparu. La quantité d'eau se dégageant de la comète a chuté brusquement, de sorte qu'à la place, l'oxygène semblait fortement lié au dioxyde de carbone et au monoxyde de carbone que la comète émettait encore.

Cela est impossible dans le cadre des explications suggérées précédemment. Si l'oxygène était primordial et lié à l'eau lors de sa formation, il ne devrait pas y avoir de

**Illustration de la libération d'oxygène moléculaire et d'autres molécules volatiles de deux réservoirs à l'intérieur de la comète 67P. Les deux encarts montrent un réservoir profond de dioxyde de carbone, de monoxyde de carbone et d'oxygène moléculaire (les points de couleur crème) qui libère constamment son contenu.**

**Les points bleus représentent l'oxygène moléculaire qui a été piégé dans la glace d'eau lors de son ascension vers la surface (en bleu), formant un réservoir moins profond qui ne libère son contenu que lorsque la surface est réchauffée et que la comète est suffisamment proche du Soleil. Les segments colorés de l'orbite correspondent aux périodes analysées par la nouvelle étude. Le changement du bleu au crème dans le segment suivant l'équinoxe post-périhélie marque le moment où l'oxygène moléculaire émis avait cessé de s'associer à l'eau et s'était corrélé aux oxydes de carbone.**

**(Johns Hopkins APL/Jon Emmerich)**

moment où l'oxygène est fortement corrélé au monoxyde de carbone et au dioxyde de carbone, mais pas à l'eau.

L'équipe a au contraire proposé que l'oxygène de la comète ne provient pas de l'eau mais de deux réservoirs : l'un composé d'oxygène, de monoxyde de carbone et de dioxyde de carbone en profondeur dans le noyau rocheux de la comète, et une poche moins profonde plus proche de la surface où l'oxygène se combine chimiquement avec les molécules de glace d'eau.

L'idée est la suivante : un réservoir profond de glace d'oxygène et d'oxydes de carbone émet constamment des gaz car l'oxygène et les oxydes de carbone se vaporisent tous à très basse température. Cependant, lorsque l'oxygène se déplace de l'intérieur de la comète vers la surface, une partie s'insère chimiquement dans la glace d'eau (un constituant majeur du noyau de la comète) pour former un second réservoir d'oxygène, moins profond. Mais la glace d'eau se vaporise à une température beaucoup plus élevée que l'oxygène. L'oxygène y est donc bloqué jusqu'à ce que le Soleil chauffe suffisamment la surface et vaporise la glace d'eau.

La conséquence est que l'oxygène peut s'accumuler dans ce réservoir peu profond

pendant de longues périodes jusqu'à ce que la surface de la comète soit suffisamment réchauffée pour que la glace d'eau se vaporise, libérant ainsi un panache beaucoup plus riche en oxygène que ce qui était réellement présent dans la comète.

En d'autres termes, l'abondance de l'oxygène mesurée dans la coma de la comète ne reflète pas nécessairement son abondance dans le noyau de la comète.

La comète oscillerait ainsi au fil des saisons entre une forte association avec l'eau (lorsque le Soleil chauffe la surface) et une forte association avec le dioxyde de carbone et le monoxyde de carbone (lorsque cette surface est opposée au Soleil et que la comète est suffisamment éloignée) – exactement ce que Rosetta a observé.

Les scientifiques aimeraient approfondir le sujet en examinant les espèces moléculaires mineures de la comète, telles que le méthane et l'éthane, et leur corrélation avec l'oxygène moléculaire et d'autres espèces majeures. Cela devrait aider à déterminer le type de glace dans lequel l'oxygène a été incorporé et à comprendre pourquoi la quantité d'oxygène est encore supérieure à celle observée dans la plupart des nuages moléculaires.



*Représentation artistique de la sonde Rosetta s'approchant de sa cible, la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko. (ESA/Rosetta/NAVCAM)*

## ***Collisions autour de HD 166191***

*Basé sur un communiqué NASA/JPL-Caltech*

Des collisions majeures entre des corps rocheux ont façonné le Système solaire. L'observation d'une collision similaire donne des indices sur la fréquence de ces événements autour d'autres étoiles.

La plupart des planètes telluriques et des satellites ont été façonnés par des collisions massives au début de l'histoire du Système solaire. En se fracassant l'un contre l'autre, les corps rocheux peuvent accumuler plus de matière et grossir, mais ils peuvent aussi se briser en plusieurs corps plus petits.

Les astronomes utilisant le télescope spatial Spitzer de la NASA, aujourd'hui à la retraite, avaient trouvé des preuves de ce type de collisions autour d'étoiles jeunes, mais les observations ne fournissaient pas beaucoup de détails sur ces collisions, notamment la dimension des objets impliqués.

De nouvelles observations viennent combler cette lacune, celles du transit devant HD 166191 d'un nuage de débris de l'une de ces collisions. Couplées aux connaissances sur la taille et la luminosité de l'étoile, ces observations ont permis aux chercheurs de déterminer directement la taille du nuage peu après l'impact, d'estimer la taille des objets qui sont entrés en collision et d'observer la vitesse à laquelle le nuage s'est dispersé.

Âgée de 10 millions d'années, HD 166191 est déjà entourée de nombreux planétésimaux agglomérés à partir des poussières du nuage primordial. Les collisions catastrophiques sont devenues courantes dans cet environnement.

Anticipant qu'ils pourraient voir des preuves de ces collisions autour de

***Illustration d'une collision entre deux corps de la taille d'un astéroïde, comme celle qui a eu lieu près de HD 166191.  
(NASA/JPL-Caltech)***





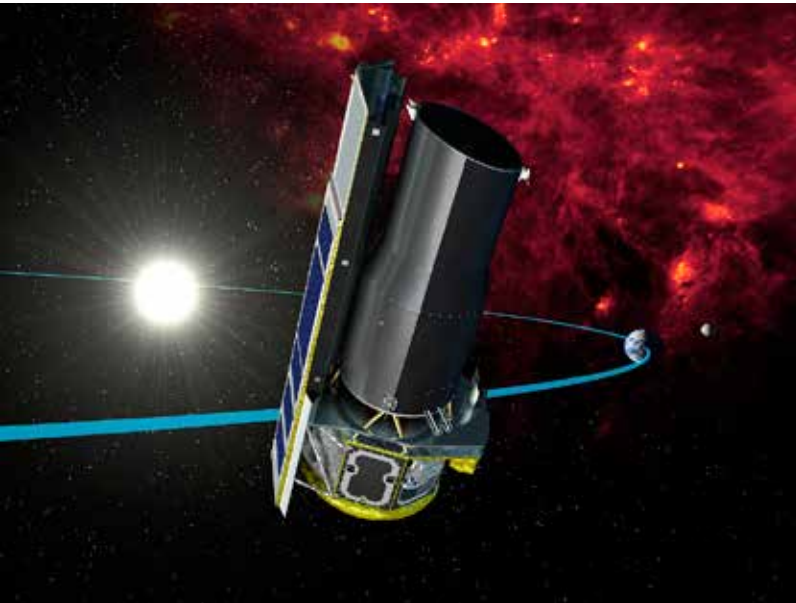
HD 166191, les astronomes ont utilisé Spitzer pour effectuer plus de 100 observations du système entre 2015 et 2019. Si les planétésimaux sont trop petits et trop éloignés pour être résolus par le télescope, leurs impacts produisent de grandes quantités de poussière que Spitzer, travaillant en infrarouge, peut détecter.

À la mi-2018, la luminosité infrarouge de HD 166191 a nettement augmenté, ce qui suggère une augmentation de la production de débris. À la même période Spitzer a également détecté le passage d'un nuage de débris. En combinant l'observation de ce transit par Spitzer avec les observations de télescopes au sol, l'équipe a pu déduire la taille et la forme du nuage de débris.

Les données suggèrent que le nuage était très allongé, avec une taille d'au moins trois fois celle de l'étoile. L'augmentation du flux infrarouge observée par Spitzer suggère que seule une petite partie du nuage est passée devant l'étoile et que les débris de la collision s'étendaient sur une surface apparente des centaines de fois supérieure à celle de l'étoile.

Pour produire un nuage de cette taille, les objets impliqués dans la collision principale devaient avoir la taille de petites planètes, comme Vesta (530 kilomètres). Le choc initial a généré suffisamment d'énergie pour vaporiser une partie du matériau. Il a également déclenché une réaction en chaîne d'impacts entre les fragments de la première collision et d'autres petits corps du système, ce qui a probablement créé une quantité importante de la poussière observée par Spitzer.

Au cours des mois suivants, le nuage de poussière a grossi tout en devenant plus transparent, ce qui indique que la poussière et les autres débris se sont rapidement dispersés dans le jeune système stellaire. En 2019, les passages du nuage devant l'étoile n'étaient plus visible, mais le système contenait deux fois plus de poussière qu'avant que Spitzer ne repère le nuage. Ces informations devraient aider les scientifiques à tester des théories sur la formation et la croissance des planètes terrestres, et à avoir une meilleure idée de la fréquence à laquelle les planètes rocheuses se forment autour d'autres étoiles.



*Lancé en 2003, le télescope Spitzer fonctionnait à pleine capacité jusqu'en 2009 grâce à sa réserve d'hélium liquide qui assurait le refroidissement et permettait d'observer dans l'infrarouge lointain. À partir de 2009, ayant épuisé son hélium, Spitzer devait se contenter de l'infrarouge proche. Le télescope a été mis hors service au début de 2020. (NASA).*

## ***Cryovolcanisme sur Pluton***

Les images de Sputnik Planitia prises par New Horizons montre que la région a connu assez récemment de multiples périodes d'activité volcanique glaciaire. L'intérieur de Pluton pourrait être plus chaud ou retiendrait mieux la chaleur qu'on ne le pensait.

Pour arriver à cette conclusion, les scientifiques ont analysé la topographie et la composition chimique de ce paysage accidenté, qui comprend des dômes presque aussi hauts que le mont Everest. Pluton et sa lune Charon, ainsi que tous ces corps du Système solaire externe, ne sont pas des astres morts mais ils sont actifs géologiquement.

On pense que le volcanisme glaciaire (« cryovolcanisme ») se produit sur des corps tels que Charon, Europe, Triton ou encore Cérès. Si les volcans terrestres crachent de la roche en fusion, un phénomène similaire se produit sur ces mondes gelés lorsque la glace de la croûte est chauffée et devient suffisamment fluide pour s'échapper par des fissures.

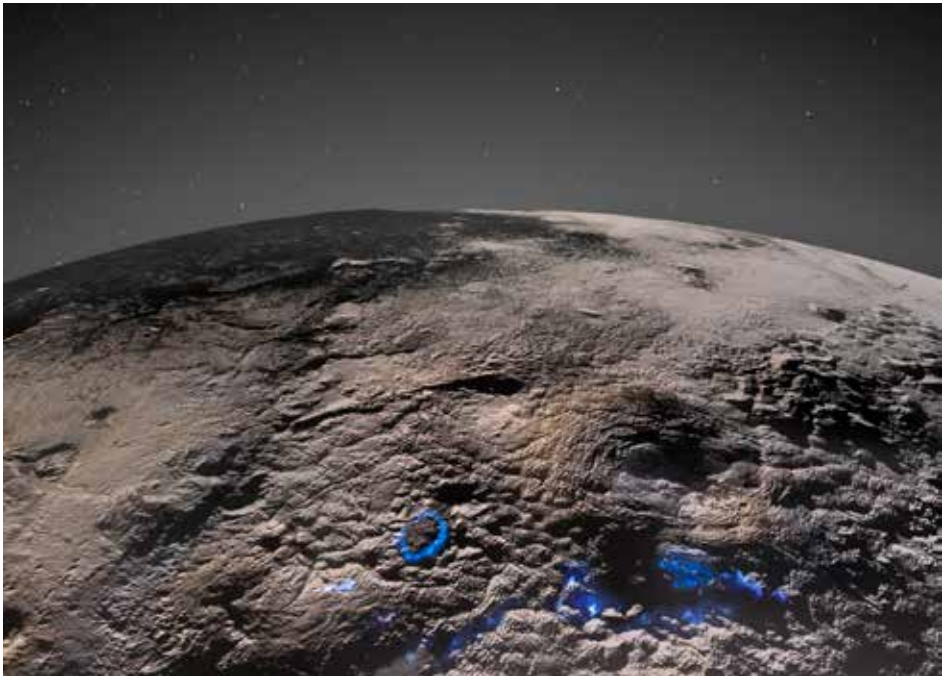
La glace qui parvient ainsi sur la surface froide durcit et peut s'accumuler en monticules ou former des plaines.

Les scientifiques soupçonnent qu'une région située au sud-ouest de Sputnik Planitia a pu être un foyer d'activité cryovolcanique. Aujourd'hui, elle est couverte d'énormes dômes hérissés de petites bosses.

Pour déterminer si ces étranges formations sont des preuves de cryovolcanisme, les chercheurs ont établi une carte topographique de la région à l'aide d'images prises sous différents angles. Ils ont ainsi pu estimer en détail la forme et la taille des dômes, dont le plus grand atteint environ 7 kilomètres de hauteur et a un volume comparable à celui du Mauna Loa d'Hawaii.

*Vue en perspective de la zone volcanique de Pluton. On a figuré en bleu des régions qui ont pu connaître de l'activité.*

*(NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute/Isaac Herrera/Kelsi Singer)*





L'équipe s'est rendu compte que la région était parsemée de monticules provenant de nombreuses sources distinctes, dont certaines avaient fusionné au fil du temps. Certaines bosses semblent superposées sur des reliefs plus vieux, ce qui témoigne d'épisodes volcaniques multiples. L'absence de cratères d'impact prouve que la majorité de l'activité cryovolcanique s'est produite – géologiquement parlant – assez récemment, peut-être au cours des 100 à 200 derniers millions d'années. Peut-être n'est-elle pas encore éteinte. Les volcans terrestres peuvent rester en sommeil pendant de nombreuses années entre deux éruptions.

Pendant son survol, New Horizons a également recueilli des données sur la composition chimique du terrain. Les chercheurs ont déterminé que les monticules cryovolcaniques étaient principalement constitués de glace d'eau à laquelle se mêlaient de plus petites quantités d'azote gelé et d'autres composés. Les différents types de glace ont leur propre point de fusion et des propriétés distinctes, ce qui a pu influencer la formation des structures.

La modélisation du cryovolcanisme suggère que le processus n'est pas explosif mais pourrait plutôt ressembler à la formation lente des laves dites en coussins de nos volcans sous-marins.

***Pluton vue par la sonde New Horizons. Les couleurs ont été intensifiées numériquement. La zone volcanique étudiée se trouve au sud-ouest de la vaste étendue d'azote gelé de Sputnik Planitia. (NASA/JHUAPL/SwRI)***

Pour pouvoir fluer aux températures extrêmes de Pluton la lave des cryovolcans contenait probablement des sels qui agissaient comme des antigels. Malgré cela, la matière était probablement presque solide et s'écoulait comme un glacier. Les résultats sont des arguments en faveur de l'hypothèse d'un intérieur de Pluton suffisamment chaud pour contenir de l'eau liquide. Les scientifiques ont émis l'hypothèse qu'un océan pourrait se trouver à plus de 100 kilomètres sous la surface, là où l'enveloppe glacée rencontre le noyau rocheux. Cependant, pour alimenter l'activité cryovolcanique observée, Pluton pourrait aussi avoir de petites poches d'eau plus chaude plus près de la surface.

Et si Pluton a du liquide sous la surface, il est probable que beaucoup d'objets de la ceinture de Kuiper en ont aussi.

## **Tremblements de terre martiens**

*Basé sur un communiqué  
Australian National University*

Les chercheurs ont identifié 47 tremblements de terre martiens, jusqu'ici passés inaperçus, dans la région de Cerberus Fossae – une zone sismiquement active vieille de moins de 20 millions d'années. Ils supposent que l'activité du magma dans le manteau martien – la couche située entre la croûte et le noyau – est responsable de ces tremblements de terre.

Les résultats suggèrent que le magma du manteau martien est toujours actif et qu'il est responsable des séismes, contrairement à l'idée conventionnelle des scientifiques selon laquelle ces événements sont causés par les forces tectoniques.

La nature répétitive de ces tremblements de terre et le fait qu'ils aient tous été détectés dans la même zone suggèrent que Mars est plus active sur le plan sismique qu'on ne pensait. Ces séismes se sont produits de manière répétée à toutes les heures de la journée martienne, alors que les tremblements détectés par la NASA dans le passé semblaient s'être produits uniquement au cœur de la nuit, lorsque la planète est plus calme. Il faut donc supposer que ce sont les mouvements de la roche en fusion dans le manteau qui ont déclenché ces 47 séismes.

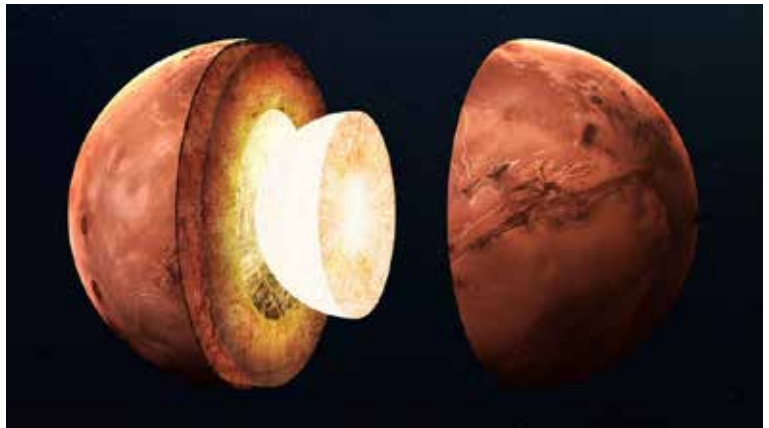
Savoir que le manteau martien est toujours actif est crucial pour comprendre comment Mars a évolué. Cela peut aider les scientifiques à répondre à des questions fondamentales sur le Système solaire et l'état du noyau de Mars, de son manteau et de

l'évolution de son champ magnétique – actuellement inexistant.

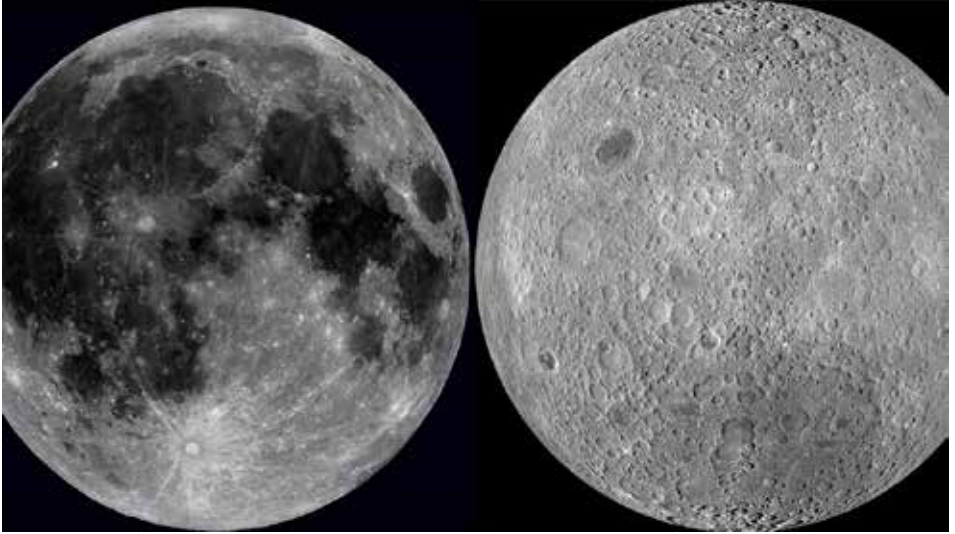
Les résultats pourraient aider les scientifiques à comprendre pourquoi la Planète rouge n'a plus de champ magnétique. Si la convection se produit à l'intérieur de la planète, ce que semblent indiquer les nouveaux résultats, il doit y avoir un autre mécanisme en jeu qui empêche le développement d'un champ magnétique.

La vie sur notre planète est possible grâce au champ magnétique terrestre et à sa capacité à nous protéger des radiations cosmiques. Par conséquent, comprendre le champ magnétique de Mars, comment il a évolué et à quel stade de l'histoire de la planète il s'est arrêté est important pour les missions futures et est essentiel si on compte un jour établir la vie humaine sur Mars.

Pour identifier les tremblements, les chercheurs ont appliqué un algorithme spécifique aux données recueillies par un sismomètre fixé à l'atterrisseur InSight de la NASA, qui collecte des données sur les tremblements de terre, la météo martienne et l'intérieur de la planète depuis son atterrissage sur Mars en 2018. Les tremblements de terre ont été détectés sur une période d'environ 350 sols – soit 359 jours terrestres. S'ils avaient eu lieu sur Terre ils auraient été à peine ressentis.



*(ANU / Shutterstock / Vadim Sadovski)*



## ***Les deux faces de la Lune***

*Basé sur un communiqué Brown University*

Une nouvelle étude montre comment l'impact qui a créé le bassin lunaire Aitken est lié au contraste frappant de composition et d'apparence entre les deux faces de notre satellite.

Le visage que nous offre la Lune est très différent de celui qu'elle nous cache perpétuellement. La face proche est dominée par les « mers », de vastes étendues sombres de lave. En revanche, la face cachée, criblée de cratères, en est pratiquement dépourvue. La raison de cette dichotomie est l'un des grands mystères de la Lune, révélé pour la première fois dans les années 1960 par les missions soviétiques Luna puis par le programme américain Apollo.

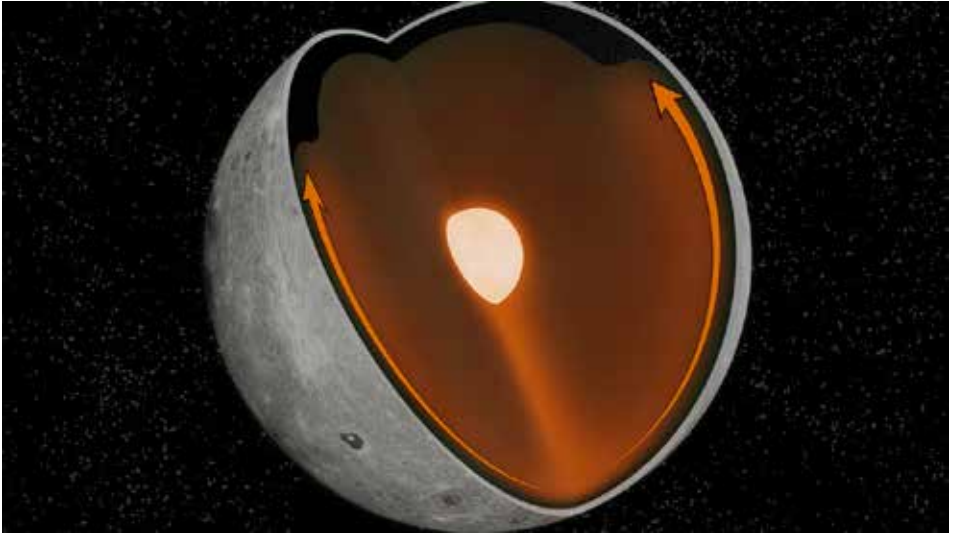
Une nouvelle étude montre que l'impact qui a formé le bassin géant South Pole-Aitken (SPA) aurait créé une énorme vague de chaleur qui se serait propagée à l'intérieur de la Lune, entraînant certains matériaux – terres rares et éléments radioactifs, dégageant de la chaleur – vers le côté proche de la Lune. Cette concentration d'éléments aurait contribué au

***Le côté proche de la Lune (à gauche) est dominé par de vastes dépôts volcaniques, tandis que le côté éloigné en compte beaucoup moins. La raison pour laquelle les deux faces sont si différentes est longtemps restée mystérieuse.***

volcanisme qui a créé les plaines volcaniques de la face visible.

La question est de savoir comment cette chaleur affecte la dynamique intérieure de la Lune. L'étude montre que, dans toutes les conditions plausibles au moment où le SPA s'est formé, elle finit par concentrer ces éléments producteurs de chaleur sur le côté le plus proche. Cela a dû contribuer à la fusion du manteau qui a produit les coulées de lave que l'on observe.

Si les différences dans les dépôts volcaniques sont évidentes, les futures missions lunaires devraient également révéler des différences dans la composition géochimique. Le côté proche abrite une anomalie de composition connue sous le nom de terrane Procellarum KREEP (PKT) – une concentration de potassium (K), d'éléments de terres rares (REE), de phosphore (P), ainsi que d'éléments producteurs de chaleur comme le thorium. Le KREEP semble être concentré dans et



autour de Oceanus Procellarum, la plus grande des plaines volcaniques proches, mais est peu abondant ailleurs sur la Lune.

Certains scientifiques ont soupçonné l'existence d'un lien entre le KREEP et les coulées de lave du côté proche, mais la question de savoir pourquoi cette suite d'éléments était concentrée sur le côté proche restait posée. La nouvelle étude fournit une explication qui est liée au bassin du pôle sud Aitken, le deuxième plus grand cratère d'impact connu dans le Système solaire.

Pour cette étude, les chercheurs ont réalisé des simulations informatiques sur la façon dont la chaleur générée par un impact géant modifierait les schémas de convection à l'intérieur de la Lune, et comment cela pourrait redistribuer le matériau KREEP dans le manteau lunaire. On pense que le KREEP représente la dernière partie du manteau à se solidifier après la formation de la Lune. En tant que tel, il a probablement formé la couche la plus externe du manteau, juste en dessous de la croûte lunaire. Les modèles de l'intérieur de la Lune suggèrent qu'il aurait dû être réparti plus ou moins uniformément sous la surface. Mais ce nouveau modèle montre que la distribution

***Une nouvelle étude révèle qu'un impact au pôle sud de la Lune a modifié les schémas de convection dans le manteau lunaire, concentrant une série d'éléments producteurs de chaleur sur la face proche. Ces éléments ont joué un rôle dans la création de la vaste plaine lunaire visible depuis la Terre.***

***(Matt Jones)***

uniforme serait perturbée par l'onde de chaleur de l'impact SPA.

Selon le modèle, le matériau KREEP aurait chevauché la vague de chaleur émanant de la zone d'impact SPA comme un surfeur. À mesure que la chaleur s'est propagée sous la croûte lunaire, ce matériau a fini par être acheminé en masse vers le côté proche. Les chercheurs ont effectué des simulations pour un certain nombre de scénarios d'impact différents, allant d'un impact direct à un coup oblique. Si chacun d'entre eux a produit des modèles de chaleur différents et mobilisé le KREEP à des degrés divers, tous ont créé des concentrations de KREEP sur le côté proche, ce qui correspond à l'anomalie PKT.

## ***Source de FRB dans M81***

*Basé sur un communiqué Chalmers  
University of Technology*

Les astronomes ont été surpris par la source la plus proche des mystérieux flashes dans le ciel connus sous le nom de sursauts radio rapides (FRB, Fast Radio Bursts). Des mesures précises effectuées à l'aide de radiotélescopes révèlent que les sursauts sont produits par de vieilles étoiles, d'une manière à laquelle personne ne s'attendait. La source de ces sursauts, située dans la galaxie spirale voisine M 81, est la plus proche de la Terre.

Les sursauts radio rapides sont des éclairs de lumière extrêmement brefs et imprévisibles que les astronomes tentent de comprendre depuis leur découverte en 2007. Jusqu'à présent, ils n'ont été observés que par des radiotélescopes. Chaque éclair ne dure que quelques millièmes de seconde. Pourtant, chacun d'entre eux émet autant d'énergie que le Soleil en une journée. Plusieurs centaines d'éclairs se produisent chaque jour dans tout le ciel. La plupart se trouvent dans des galaxies situées à des milliards d'années-lumière.

Les astronomes présentent de nouvelles observations qui répondent à certaines questions tout en soulevant de nouvelles énigmes. Ils ont procédé à des mesures de haute précision d'une source FRB répétitive découverte en janvier 2020 dans la Grande Ourse.

Pour étudier la source avec la résolution et la sensibilité les plus élevées possibles, les scientifiques ont combiné les mesures des télescopes du réseau européen VLBI (EVN). En réunissant les données de 12 antennes paraboliques réparties sur la moitié du globe, en Suède, en Lettonie, aux Pays-Bas, en Russie, en Allemagne, en Pologne, en Italie et en Chine, ils ont pu déterminer exactement d'où provenait la source dans le ciel.

Les mesures de l'EVN ont été complétées par des données provenant de plusieurs autres télescopes, dont le Karl G. Jansky Very

***La source de mystérieux signaux radio se cache dans un amas d'étoiles vieilles au bord de la spirale Messier 81.  
(Vue d'artiste, STRON/Daniëlle Futselaar, artsources.nl)***



Large Array (VLA) au Nouveau-Mexique, aux États-Unis.

En analysant leurs mesures, les astronomes ont découvert que les flashes radio répétés provenaient d'un endroit auquel personne ne s'attendait. Ils les ont localisés au bord de la galaxie spirale Messier 81, distante d'environ 12 millions d'années-lumière. Il s'agit de la détection la plus proche jamais réalisée d'une source de sursauts radio rapides. Autre surprise, l'emplacement correspondait exactement à un amas dense d'étoiles très vieilles, un amas globulaire tandis que les FRB identifiés jusqu'alors se trouvaient dans des amas d'étoiles jeunes massives. Dans ces endroits, les explosions d'étoiles sont fréquentes et laissent derrière elles des vestiges fortement magnétisés. Les scientifiques pensaient que les FRB pouvaient être créés par des magnétars, c'est-à-dire les restes extrêmement denses d'étoiles qui ont explosé et qui sont les aimants les plus puissants connus de l'Univers.

Si la source FRB de M81 est un magnétar, alors il ne peut pas avoir été formé par l'explosion d'une étoile jeune. Il se serait formé lorsqu'une naine blanche est devenue suffisamment massive pour s'effondrer sous son propre poids, un phénomène prédit théoriquement mais pas encore identifié.

Les étoiles ordinaires comme le Soleil finissent par devenir des naines blanches. Dans un amas de dizaines de milliers d'étoiles, il y a

de nombreuses binaires et des étoiles peuvent se rapprocher suffisamment pour que l'une d'elles recueille de la matière d'une autre. Si une naine blanche capte suffisamment de masse de cette façon, elle peut s'effondrer en une étoile à neutrons, beaucoup plus dense. C'est un phénomène rare, mais dans un amas d'étoiles anciennes, c'est le moyen le plus simple de produire un émetteur de sursauts radio rapides.

En analysant leurs données, les astronomes ont eu une autre surprise. Certains des flashes étaient encore plus courts que prévu. Les flashes pouvaient varier énormément de luminosité en quelques dizaines de nanosecondes seulement. Cela signifie qu'ils doivent provenir d'un minuscule endroit de l'espace, peut-être de quelques dizaines de mètres seulement.

Des signaux aussi rapides ont été observés dans l'un des objets les plus célèbres du ciel, le pulsar du Crabe, vestige minuscule de la supernova observée en l'an 1054 dans la constellation du Taureau. Les magnétars et les pulsars sont deux types d'étoiles à neutrons : des objets superdenses ayant la masse du Soleil dans un volume de la taille d'une ville, et dotés de champs magnétiques puissants.

Les observations futures de ce système et d'autres permettront de déterminer si la source est vraiment un magnétar inhabituel ou autre chose, comme un pulsar atypique ou un trou noir intimement associé à une étoile dense.

**Magnétar.**  
*Vue d'artiste*  
(ESO/L. Calçada)





## Pulsars et positrons

*Basé sur des communiqués Chandra*

L'observatoire spatial X Chandra a montré qu'un étroit faisceau de particules, un filament, issu du pulsar PSR J2030+4415, et découvert en 2020 est environ trois fois plus long que ce qui avait été vu initialement. Il s'étend sur environ le rayon de la pleine Lune sur le ciel, ce qui en fait la plus longue structure de ce genre vue depuis la Terre.

Les astronomes ne connaissent pas la longueur totale du filament car il s'étendait en dehors du détecteur de Chandra. Il est étonnant qu'un pulsar de seulement 15 km de diamètre puisse créer une structure si grande que nous pouvons la voir à des milliers d'années-lumière de distance.

Le pulsar PSR J2030+4415 est situé à environ 1 600 années-lumière de la Terre. Cet objet de la taille d'une grande ville tourne sur lui-même environ trois fois par seconde, soit plus vite que des ventilateurs de plafond.

Ce résultat pourrait permettre de mieux comprendre la source de l'antimatière dans la Voie lactée.

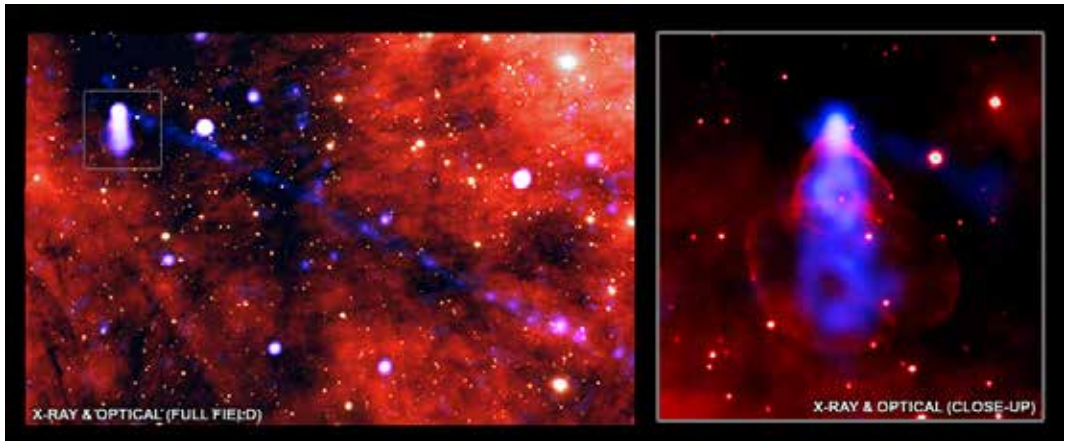
La matière ordinaire est beaucoup plus abondante que l'antimatière dans l'Univers, mais les scientifiques trouvent de plus en plus d'indices prouvant la présence d'un grand nombre de positrons, c'est-à-dire d'anti-électrons. Cela conduit à poser la question de

savoir quelles sont les sources possibles de cette antimatière ?

Les pulsars comme PSR J2030+4415 pourraient être une réponse. La combinaison de deux extrêmes – la rotation rapide et les très forts champs magnétiques des pulsars – entraîne une accélération des particules et un rayonnement de haute énergie qui crée des paires d'électrons et de positrons. Le processus habituel de conversion de la masse en énergie, déterminé de façon célèbre par l'équation  $E = mc^2$  d'Albert Einstein, est inversé, et l'énergie est convertie en masse.

Les pulsars génèrent des vents de particules chargées qui sont généralement confinés

*Le panneau de gauche montre environ un tiers de la longueur du faisceau provenant du pulsar PSR J2030+4415. Une vue rapprochée du pulsar dans le panneau de droite montre les rayons X créés par les particules autour du pulsar lui-même. Lorsque le pulsar se déplace dans l'espace à environ un million de kilomètres par heure, certaines de ces particules s'échappent et créent le long filament. Des données dans le domaine optique provenant du télescope Gemini à Hawaï ont été utilisées et apparaissent en rouge et en noir.*  
(NASA/CXC/Stanford Univ./M. de Vries ; NSF/AURA/Gemini Consortium)

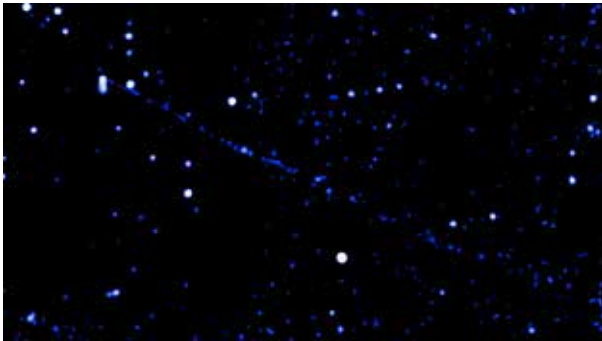


dans leurs puissants champs magnétiques, mais le cas de PSR J2030+4415 indique qu'ils peuvent laisser échapper des positrons dans la Galaxie.

PSR J2030+4415 se déplace dans l'espace interstellaire à environ un million de kilomètres par heure. Un choc d'étrave le précède, comme la vague qui se forme à la proue d'un navire. Cependant, il y a environ 20 à 30 ans, ce choc semble s'être figé sur place et il a été rattrapé par le pulsar, ce qui a entraîné une interaction avec le champ magnétique interstellaire. Celui-ci s'est combiné au champ magnétique des vents du pulsar, et les électrons et positrons de haute énergie ont pu jaillir par une buse formée par la connexion.

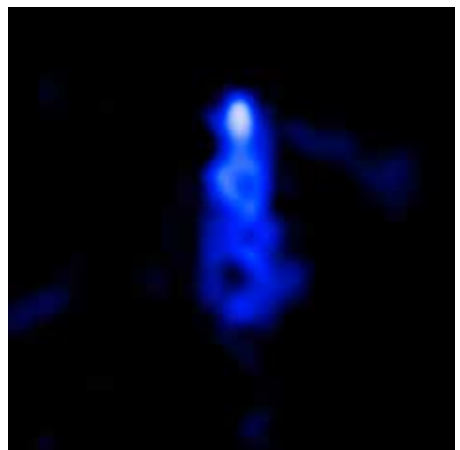
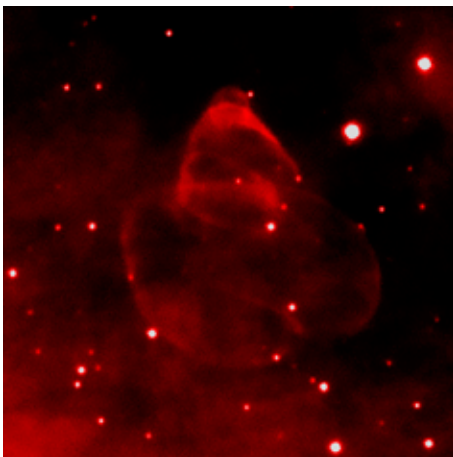
Les particules se sont ensuite déplacées le long des lignes du champ magnétique interstellaire à environ un tiers de la vitesse de la lumière, provoquant une émission X. C'est ainsi qu'est apparu le long filament vu par Chandra.

Les astronomes avaient observé par le passé de grands halos d'émission gamma autour de pulsars proches, ce qui implique que les positrons énergétiques ont généralement du mal à s'échapper dans la galaxie. Cette constatation tempère l'idée que les pulsars expliquent l'excès de positrons. Cependant, les filaments de pulsars comme PSR J2030+4415 montrent que ces particules peuvent effectivement s'échapper dans l'espace interstellaire.



*Le pulsar PSR J2030+4415 vu en rayons X par Chandra et en optique par le télescope Gemini d'Hawaii. L'image du haut montre le long filament X, en bleu. Les images du bas montrent l'environnement du pulsar en X (bleu) et en visible (rouge), là où les rayons X sont produits par les particules proches du pulsar.*

*(NASA/CXC/Stanford Univ./M. de Vries; NSF/AURA/Gemini Consortium)*





## **ORC**

*Basé sur un communiqué CSIRO*

Révélés pour la première fois par le radiotélescope ASKAP de l'agence scientifique nationale australienne CSIRO, les ORC (odd radio circles) sont rapidement devenus des objets de fascination. À ce jour on ne connaît que cinq de ces étranges cercles radio.

Les théories sur leur origine allaient des ondes de choc galactiques aux trous de ver. Une nouvelle image détaillée, capturée par le radiotélescope MeerKAT de l'observatoire sud-africain de radioastronomie, fournit aux chercheurs davantage d'informations pour les aider à expliquer l'origine des ORC :

ils pourraient être les vestiges d'une violente explosion au centre de leur galaxie hôte – par exemple la fusion de deux trous noirs supermassifs.

il pourrait s'agir de puissants jets de particules énergétiques s'échappant du centre de la galaxie.

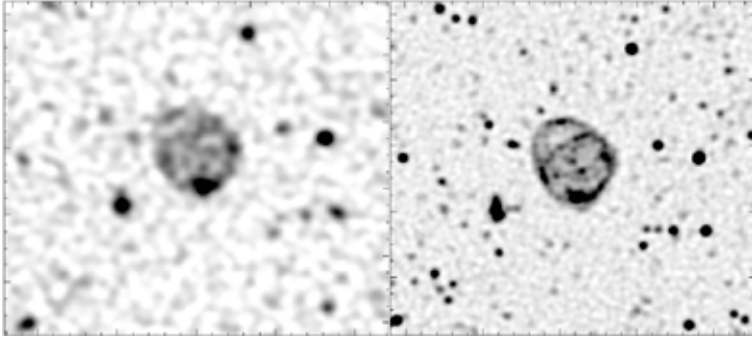
ils pourraient être le résultat d'un choc accompagnant l'arrêt de la production d'étoiles dans la galaxie.

Jusqu'à présent, les ORC n'ont été détectés qu'en ondes radio, et aucun signe n'a été décelé lorsque les chercheurs les

*15 des 64 antennes du réseau MeerKAT sous le ciel du Karoo (Afrique du Sud) (SARAO)*

*Les données radio de MeerKAT (en vert) montrent les cercles étranges superposés à des images prises dans le visible et l'infrarouge par le Dark Energy Survey. (English/U. Manitoba/EMU/MeerKAT/DES/CTIO)*





*Cliché de découverte du premier ORC par ASKAP (à gauche) et observations de suivi par MeerKAT (à droite). (The EMU team)*

ont cherchés à l'aide de télescopes optiques, infrarouges ou à rayons X.

Les anneaux sont énormes – environ un million d'années-lumière de diamètre, ce qui est 16 fois plus grand que notre propre galaxie. Malgré cela, ces étranges cercles sont difficiles à voir.

Nous savons que les ORC sont des anneaux d'émissions radio faibles entourant une galaxie avec un trou noir très actif en son centre, mais nous ne savons pas encore ce qui les provoque, ni pourquoi ils sont si rares.

Pour vraiment comprendre les cercles radio bizarres, les scientifiques devront avoir accès à des radiotélescopes encore

plus sensibles. Les observatoires ASKAP et MeerKAT se sont unis pour trouver et décrire ces objets rapidement et efficacement. Tous deux sont des précurseurs du projet international SKA.

Les télescopes SKA trouveront beaucoup plus d'ORC et seront en mesure de nous en dire plus sur le cycle de vie des galaxies. En attendant que le SKA devienne opérationnel, ASKAP et MeerKAT sont prêts à révolutionner notre compréhension de l'Univers plus rapidement que jamais.

***Le radio télescope ASKAP de l'observatoire radio Murchison.***

*ASKAP est situé dans le pays de Wajarri Yamatji en Australie Occidentale, tandis que MeerKAT est situé dans la province du Cap Nord en Afrique du Sud.*

*(Alex Cherney/CSIRO)*



## ***HD 166620 et le minimum de Maunder***

*Basé sur un communiqué PSU*

Le nombre de taches solaires varie généralement selon un cycle prévisible d'environ 11 ans mais, il y a plusieurs siècles, ce cycle a marqué un arrêt pendant 70 ans, le « minimum de Maunder ». Cette interruption pendant laquelle les taches solaires étaient très rares a longtemps intrigué les scientifiques.

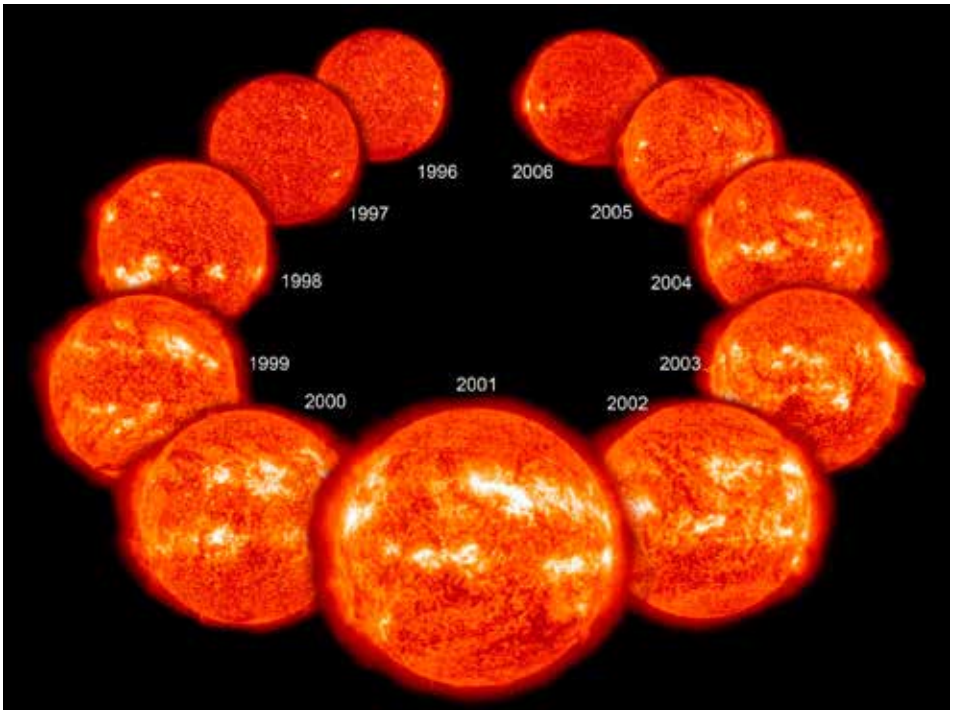
L'étoile HD 166620, semblable au Soleil, semble avoir interrompu son propre cycle et être entrée à son tour dans une période sans taches. La poursuite des observations de cette étoile pourrait permettre d'expliquer ce qui est arrivé au Soleil pendant le minimum de Maunder et de mieux comprendre son activité magnétique, qui peut interférer avec les satellites et les communications mondiales, voire affecter le climat de la Terre.

Les changements de fréquence des taches solaires ont été documentés depuis qu'elles ont été observées pour la première fois par Galilée et d'autres astronomes dans les années 1600, de sorte qu'il existe un bon dossier sur son cycle de 11 ans. L'exception est le minimum de Maunder, qui a duré du milieu des années 1600 au début des années 1700.

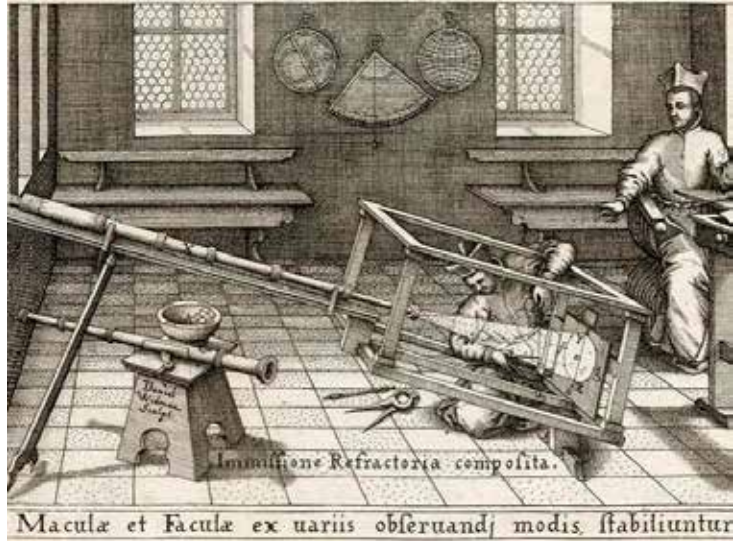
Les astronomes ont maintenant compilé plus d'un demi-siècle de données provenant de plusieurs sources sur les taches de 59 étoiles. Il s'agit notamment des données du projet HK de l'observatoire du Mont Wilson, qui a été conçu pour étudier l'activité de surface des étoiles et qui s'est déroulé de 1966 à 1996, et des données issues de la recherche d'exoplanètes à l'observatoire Keck de 1996 à 2020.

Les chercheurs ont compilé une base de données sur les étoiles qui apparaissaient

***Illustration d'un cycle solaire de 11 ans  
(NASA)***



*Les taches solaires ont été observées pour la première fois dans les années 1600 en utilisant un télescope modifié appelé hélioscope. L'instrument projette une image du Soleil sur une surface, où l'on peut observer des taches solaires sombres. Cette illustration a été réalisée par Christoph Scheiner dans les années 1600 pour son livre Rosa Ursina sive Sol. (Christoph Scheiner, Wikimedia Commons).*



dans les deux sources et qui disposaient d'autres informations facilement accessibles pouvant contribuer à expliquer l'activité des taches stellaires. Ils ont également

déployé des efforts considérables pour normaliser les mesures des différents télescopes afin de pouvoir les comparer directement.

Il apparaît que 29 de ces étoiles ont des cycles de taches dont la période est généralement de plus d'une décennie. Certaines étoiles ne semblaient pas avoir de cycles du tout, ce qui pourrait être dû au fait qu'elles tournent trop lentement pour avoir une dynamo et sont magnétiquement mortes ou parce qu'elles sont proches de la fin de leur vie. Plusieurs de ces étoiles doivent faire l'objet d'une étude plus approfondie afin de confirmer si elles ont un cycle.

Cette série chronologique continue de plus de 50 ans a permis de trouver une étoile, HD 166620, qui présentait un cycle de 17 ans puis semble s'être arrêtée.

Les chercheurs espèrent poursuivre l'étude de cette étoile tout au long de sa période minimale et potentiellement lorsqu'elle sortira de son minimum et recommencera son cycle. Cette observation continue pourrait fournir des informations importantes sur la façon dont le Soleil et les étoiles semblables génèrent leurs dynamos magnétiques.

Il y a un grand débat sur ce qu'était le minimum de Maunder. Le champ magné-

tique du Soleil s'est-il éteint? A-t-il perdu sa dynamo? Ou bien était-il toujours actif, mais à un niveau très bas qui ne produisait pas beaucoup de taches solaires? Nous ne pouvons pas remonter dans le temps, mais si nous pouvons caractériser la structure magnétique et l'intensité du champ magnétique de HD 166620, nous pourrions commencer à obtenir des réponses.

Une meilleure compréhension de l'activité de surface et du champ magnétique du Soleil pourrait avoir plusieurs implications importantes. Par exemple, une forte activité peut mettre hors service des satellites et des communications mondiales. Une tempête solaire particulièrement forte a mis hors service un réseau électrique au Québec en 1989. Il a également été suggéré que les cycles de taches solaires pourraient avoir un lien avec le climat sur Terre.

Les taches solaires et les autres formes d'activité magnétique de surface des étoiles interfèrent aussi avec notre capacité à détecter les planètes qui les entourent en produisant des signaux ressemblant à des transits. Améliorer notre compréhension de l'activité magnétique d'une étoile pourrait nous aider à améliorer nos efforts de détection.

## ***Le disque épais de la Galaxie***

*Basé sur un communiqué ESA*

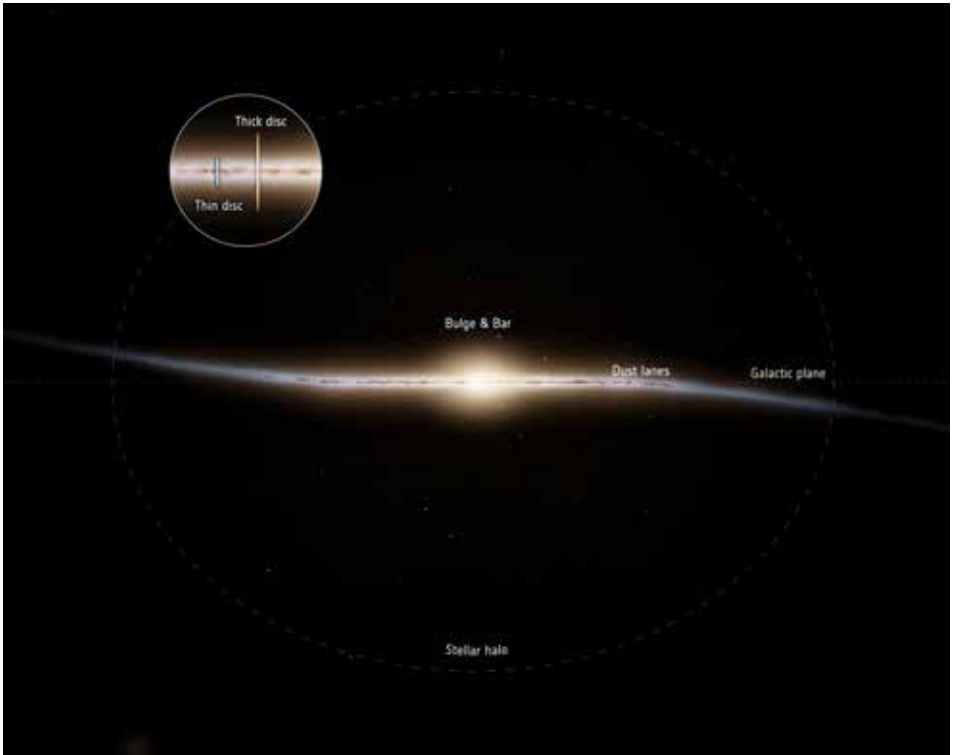
En utilisant les données de la mission Gaia de l'ESA, les astronomes ont montré que le « disque épais » de la Voie lactée a commencé à se former il y a 13 milliards d'années, soit environ 2 milliards d'années plus tôt qu'on ne le pensait, et seulement 0,8 milliard d'années après le Big Bang.

Pour arriver à ce résultat, les astronomes ont combiné les données EDR3 (Early Data Release 3) de Gaia avec les mesures de la composition chimique des étoiles fournies par le télescope LAMOST (Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope) pour environ 250 000 étoiles.

Ils ont choisi d'étudier les étoiles sous-géantes. Dans ces étoiles, l'énergie a cessé d'être générée dans le noyau et provient de sa périphérie. L'étoile elle-même se transforme en une géante rouge. La phase sous-géante étant une phase d'évolution relativement brève dans la vie d'une étoile, elle permet de déterminer son âge avec une grande précision, mais il s'agit toujours d'un calcul délicat.

***Structure de base de notre galaxie. Les nouveaux résultats de la mission Gaia de l'ESA permettent de reconstituer l'histoire de la Voie lactée, en particulier l'évolution du disque épais.***

***(Stefan Payne-Wardenaar / MPIA)***



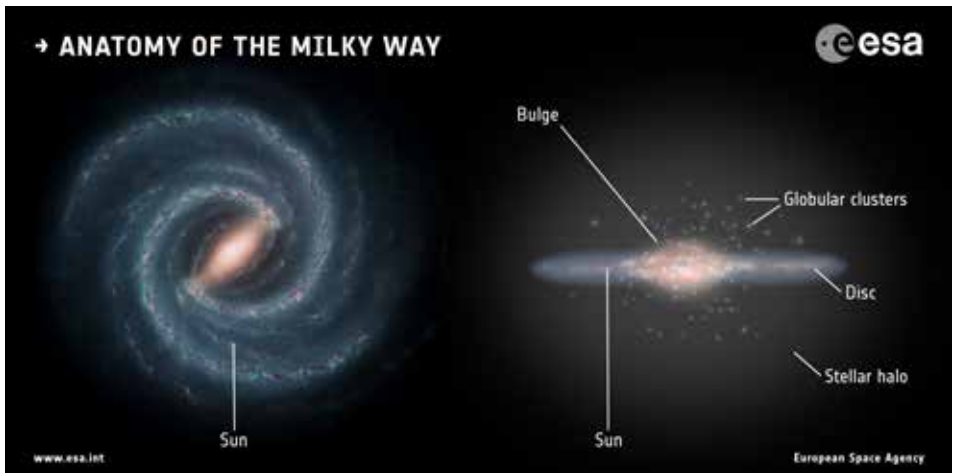
L'âge d'une étoile est l'un des paramètres les plus difficiles à déterminer. Il ne peut pas être mesuré directement mais doit être déduit en comparant les caractéristiques d'une étoile avec des modèles informatiques d'évolution stellaire. Les données de composition y contribuent. L'Univers est né avec presque exclusivement de l'hydrogène et de l'hélium. Les autres éléments chimiques, que les astro-

nomes appellent collectivement « métaux », sont fabriqués à l'intérieur des étoiles et expulsés dans l'espace à la fin de leur vie. Ils peuvent alors être incorporés dans la prochaine génération d'étoiles. Ainsi, les étoiles les plus anciennes ont une métallicité plus faible.

Les données LAMOST donnent la métallicité, ce qui, avec la luminosité, permet aux astronomes d'estimer l'âge de l'étoile.

*Vue d'artiste de la Voie lactée, une spirale barrée vieille d'environ 13 milliards d'années, qui abrite quelques centaines de milliards d'étoiles. À gauche, une vue de face montre la structure en spirale du disque galactique, où se trouvent la majorité des étoiles, ainsi que du gaz et des poussières. Le disque mesure environ 100 000 années-lumière de diamètre, et le Soleil se trouve à mi-chemin entre son centre et sa périphérie. À droite, une vue de côté révèle la forme aplatie du disque. Les observations révèlent une sous-structure : un disque mince d'environ 700 années-lumière d'épaisseur, enchâssé dans un disque épais d'environ 3 000 années-lumière, peuplé d'étoiles plus vieilles.*

*Le bulbe central abrite environ 10 milliards d'étoiles, principalement vieilles et rouges. Sa forme générale allongée fait de la Voie lactée une galaxie spirale barrée. Au-delà du disque et du bulbe se trouve le halo stellaire, une structure grossièrement sphérique d'un rayon d'environ 100 000 années-lumière, contenant des étoiles isolées ainsi que de nombreux amas globulaires regroupant certaines des étoiles les plus anciennes de la Galaxie. À une plus grande échelle, la Voie lactée est encadrée dans un halo encore plus grand de matière noire invisible. (NASA/JPL-Caltech, ESA, ATG medialab)*





Avant Gaia, les astronomes travaillaient couramment avec des incertitudes de 20 à 40 %, ce qui pouvait entraîner une imprécision sur l'âge d'un milliard d'années ou plus.

Notre galaxie est constituée de différents composants. En gros, on peut les diviser en deux : le halo et le disque. Le halo est la région sphérique qui entoure le disque, et on pense traditionnellement qu'il s'agit du composant le plus ancien de la Galaxie. Le disque est composé de deux parties, dites mince et épaisse. Le disque mince contient la plupart des étoiles que nous voyons sous la forme d'une bande de lumière brumeuse dans le ciel nocturne – la Voie lactée. Le disque épais est plus de deux fois plus gros que le disque mince, mais son rayon est plus petit. Seules quelques pour cent des étoiles du voisinage du Soleil en font partie.

En identifiant les étoiles sous-géantes dans ces différentes régions, les chercheurs ont pu établir une chronologie de la formation de la Voie lactée – et c'est là qu'ils ont eu une surprise. Les âges stellaires ont clairement révélé que la formation de la Voie lactée s'est déroulée en deux phases distinctes. Au cours de la première phase, qui a débuté 0,8 milliard d'années seulement après le Big Bang, le disque épais a commencé à former des étoiles. Les parties internes du halo ont peut-être aussi commencé à se former à ce stade, mais le processus s'est rapidement accéléré pour s'achever environ deux milliards d'années plus tard, lorsque la galaxie naine Gaia-Sausage-Enceladus a fusionné avec la Voie lactée. Elle a rempli le halo d'étoiles et, comme le révèlent clairement les nouveaux travaux, a déclenché la formation de la majorité des étoiles du disque épais naissant. Le disque mince d'étoiles, qui contient le Soleil, s'est formé au cours de la deuxième phase de formation de la Galaxie.

L'analyse montre également qu'après l'explosion de la formation d'étoiles déclenchée par la fusion avec Gaia-Sausage-

Enceladus, le disque épais a continué à former des étoiles jusqu'à ce que le gaz soit épuisé, environ 6 milliards d'années après le Big Bang. Pendant cette période, la métallicité du disque épais a augmenté de plus d'un facteur 10. Mais, fait remarquable, les chercheurs observent une relation très étroite entre âge et métallicité, ce qui indique que pendant toute cette période, le gaz formant les étoiles était bien mélangé dans l'ensemble du disque. Cela implique que les premières régions du disque de la Voie lactée ont dû être formées à partir d'un gaz hautement turbulent.

Une formation aussi précoce du disque épais pointe vers une image différente de l'histoire de la Galaxie. Dès 2018, avec la découverte de la fusion avec Gaia-Sausage-Enceladus, les astronomes soupçonnaient que la Voie lactée était déjà là avant la formation du halo, mais ils n'avaient pas d'image claire de ce à quoi elle ressemblait. Les nouveaux résultats fournissent des détails précis sur cette partie de la Voie lactée, son âge, son taux de formation d'étoiles et son histoire d'enrichissement en métaux. La mise en commun de ces découvertes à l'aide des données Gaia révolutionne notre vision du moment et de la manière dont notre galaxie s'est formée.

Et nous ne regardons peut-être pas encore assez loin dans l'Univers pour voir des disques galactiques similaires se former. Un âge de 13 milliards d'années correspond à un décalage vers le rouge de 7, le décalage vers le rouge étant une mesure de la distance à laquelle se trouve un objet céleste, et donc du temps que sa lumière a mis pour traverser l'espace et nous atteindre.

De nouvelles avancées pourraient avoir lieu dans un avenir proche, avec le télescope spatial James Webb qui est optimisé pour voir les plus anciennes galaxies de l'Univers semblables à la Voie lactée. En outre, un troisième catalogue complet de données (Gaia DR3) permettra des études plus détaillées.

## ***L'étoile la plus lointaine***

*Basé sur un communiqué NASA*

Le télescope spatial Hubble a détecté une étoile qui existait au cours du premier milliard d'années suivant le Big Bang – l'étoile la plus éloignée jamais vue à ce jour<sup>1</sup>. La découverte a été faite à partir des données recueillies dans le cadre du programme RELICS (Reionization Lensing Cluster Survey) de Hubble.

Cette découverte constitue un énorme bond vers le passé par rapport à la précédente détentrice du record, détectée par Hubble en 2018. Cette étoile, surnommée Icare, existait

<sup>1</sup> Il ne faut pas la confondre avec la plus vieille étoile connue, surnommée « Mathusalem », découverte par Hubble en 2013.

Hubble détient également le record de distance cosmique pour une galaxie. Sa lumière a mis 13,4 milliards d'années pour atteindre la Terre.

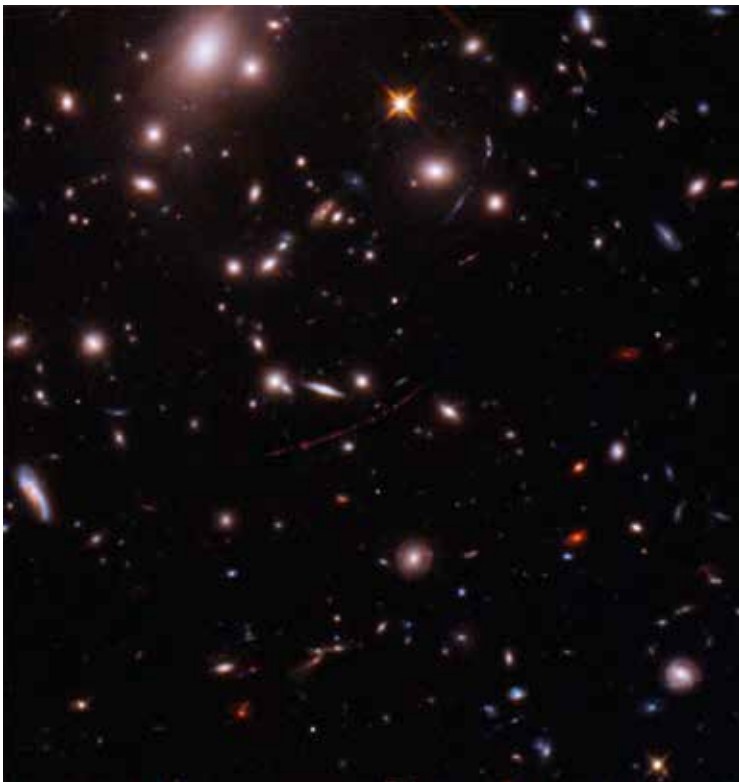
lorsque l'Univers était âgé d'environ 4 milliards d'années, soit 30 % de son âge actuel, ce qui correspond à un décalage vers le rouge du spectre (redshift) de 1,5.

Quant à la nouvelle championne de distance, elle est si éloignée que sa lumière a mis 12,9 milliards d'années pour atteindre la Terre. Elle nous apparaît lorsque l'Univers n'avait que 7 % de son âge actuel, à un décalage vers le rouge de 6,2. Les autres objets que l'on observe individuellement à une si grande distance sont des amas d'étoiles, enchâssés dans les premières galaxies.

Normalement, à ces distances, les galaxies entières ressemblent à de petites taches, la lumière de millions d'étoiles se mélangeant. La galaxie qui abrite cette étoile a été grossie et déformée par la lentille gravitationnelle en un long croissant que les astronomes ont nommé Sunrise Arc, l'Arc du

Lever du Soleil. L'examen de la galaxie a montré qu'un point brillant était une étoile dont l'éclat est extrêmement amplifié par la lentille. Les astronomes l'ont surnommée Earendel, ce qui signifie « étoile du matin » en vieil anglais. Cette découverte est d'un grand intérêt pour étudier la formation des étoiles dans l'Univers jeune.

***L'amas de galaxies en haut à gauche crée une lentille gravitationnelle. Un fin arc rouge divise l'image en deux (du haut à droite au bas à gauche). On distingue 3 points brillants dans l'arc; celui du centre est Earendel. Les points de chaque côté sont des images réfléchies d'un amas d'étoiles.***  
*(NASA, ESA, Brian Welch/JHU, Dan Coe/STScI, Alyssa Pagan/STScI).*



Earendel existait il y a si longtemps qu'elle ne contenait pas exactement les mêmes matières premières que les étoiles qui nous entourent aujourd'hui. L'étude d'Earendel ouvre une fenêtre sur une époque de l'Univers que nous ne connaissons pas.

Les chercheurs estiment qu'Earendel a au moins 50 fois la masse du Soleil et est des millions de fois plus brillante, rivalisant avec les étoiles les plus massives connues. Mais, même une étoile aussi brillante et de très grande masse serait impossible à voir à une si grande distance sans l'aide de l'amplification naturelle offerte par un énorme amas de galaxies, WHL0137-08, situé sur la ligne de visée. La masse de l'amas de galaxies déforme le tissu de l'espace, créant une puissante loupe naturelle qui déforme et amplifie considérablement la lumière des objets distants situés derrière elle.

Grâce à l'alignement parfait, l'étoile Earendel bénéficie d'un phénomène de caustique analogue à celui qui crée des motifs lumineux au fond d'une piscine par une journée ensoleillée. Cet effet de caustique fait ressortir l'étoile Earendel de la galaxie. Sa luminosité est multipliée par mille ou plus.

La plupart des étoiles massives ont au moins une petite compagne, mais les astro-

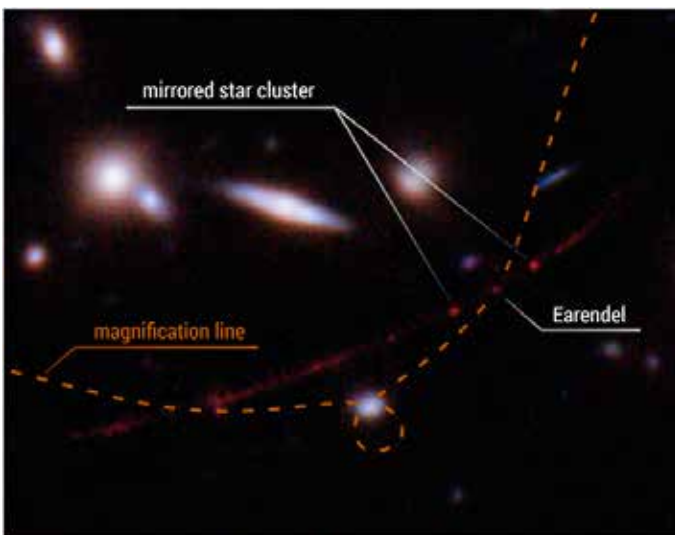
nomes ne sont pas en mesure de déterminer si Earendel est simple ou binaire.

Les astronomes s'attendent à ce que l'amplification gravitationnelle d'Earendel persiste pendant les années à venir. Elle sera observée par le télescope spatial James Webb de la NASA. La grande sensibilité de Webb à la lumière infrarouge est nécessaire pour en savoir plus sur Earendel, vu son grand redshift.

Webb pourra confirmer si Earendel est bien une étoile, et mesurer sa luminosité et sa température. Ces détails permettront de préciser son type et son stade dans le cycle de vie stellaire. On devrait pouvoir déterminer si la galaxie Sunrise Arc est pauvre en éléments lourds.

La composition d'Earendel sera d'un grand intérêt pour les astronomes, car elle s'est formée avant que l'Univers ne soit rempli des éléments lourds produits par les générations successives d'étoiles massives. Si les études de suivi révèlent qu'Earendel n'est composée que d'hydrogène et d'hélium primordiaux, il s'agirait de la première preuve de la présence des étoiles de population III, qui sont censées être les toutes premières étoiles nées après le Big Bang.

Et Webb devrait permettre de voir des étoiles encore plus lointaines qu'Earendel.



*Earendel se trouve le long d'une ondulation de l'espace-temps (ligne pointillée) qui l'agrandit et permet de détecter l'étoile à grande distance – près de 13 milliards d'années-lumière. Un amas d'étoiles est également indiqué, qui se reflète de part et d'autre de la ligne d'agrandissement. La distorsion et le grossissement sont créés par la masse d'un énorme amas de galaxies situé entre Hubble et Earendel.*

*(NASA, ESA, Brian Welch/JHU, Dan Coe/STScI, Alyssa Pagan/STScI).*

## ***Micronovæ***

*Basé sur un communiqué ESO*

Les astronomes ont découvert trois mystérieux flashs lumineux de quelques heures – des micronovæ – en analysant les données du satellite TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite). Deux flashs provenaient de naines blanches connues, mais le troisième a nécessité des observations supplémentaires avec l'instrument X-shooter sur le VLT de l'ESO pour confirmer son statut de naine blanche.

Le phénomène remet en question notre compréhension de la manière dont se produisent les explosions thermonucléaires dans les étoiles.

Les micronovæ sont des événements extrêmement puissants, mais petits à l'échelle astronomique ; elles sont beaucoup moins énergétiques que les explosions stellaires de novæ, que les astronomes connaissent depuis des siècles. Les deux types d'explosions se produisent sur des naines blanches, des étoiles mortes dont la masse est à peu près celle de notre Soleil, mais qui sont aussi petites que la Terre.

Une naine blanche dans un système à deux étoiles peut voler de la matière, principalement de l'hydrogène, à son étoile compagne si elles sont suffisamment proches.

Lorsque ce gaz tombe sur la surface très chaude de la naine blanche, il déclenche la fusion explosive des atomes d'hydrogène en hélium. Dans les novæ, ces explosions thermonucléaires se produisent sur toute la surface stellaire. De telles détonations font brûler et briller toute la surface de la naine blanche pendant plusieurs semaines.

Les micronovæ sont des explosions similaires, mais à plus petite échelle et plus rapides, ne durant que quelques heures. Elles se produisent sur certaines naines blanches dotées de champs magnétiques puissants, qui canalisent la matière vers les pôles magnétiques de l'étoile. La fusion de l'hydrogène peut ainsi se produire de manière localisée, aux pôles magnétiques. L'explosion résultante est environ un million de fois moins violente que celle d'une nova, d'où le nom de micronova.

Ces nouvelles micronovæ remettent en question la compréhension qu'ont les astronomes des explosions stellaires qui pourraient être plus abondantes qu'on ne le pensait.

***Vue d'artiste d'une micronova. Le disque bleu qui entoure la naine blanche est constitué de matière volée à sa compagne. Le champ magnétique de la naine blanche canalise le gaz vers ses pôles, où il finit par exploser.***

***(ESO/M. Kornmesser, L. Calçada)***

