



# Astronomie dans le monde

## ***Kraken Mare***

*Basé sur un communiqué Cornell University*

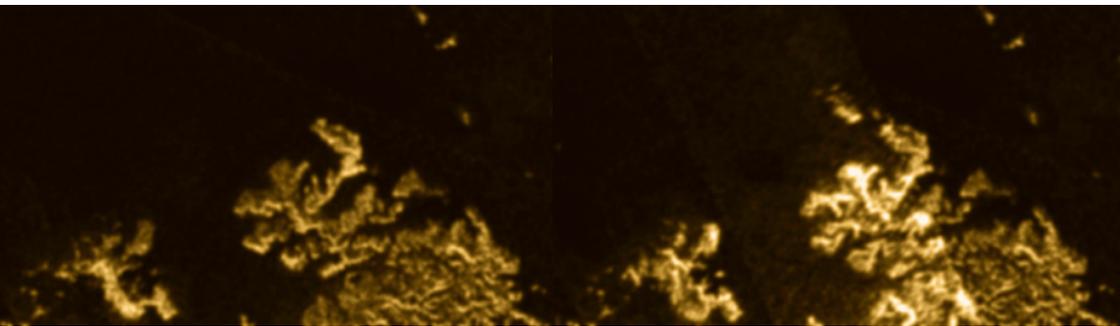
À un milliard de kilomètres de la Terre, Titan, la lune géante de Saturne, est recouverte d'une épaisse couche de brume. Lorsque l'on parvient à la percer, on découvre un paysage ayant une certaine apparence terrestre, avec des rivières, des lacs et des mers de méthane et d'éthane.

Lors du survol de Titan par la sonde Cassini le 21 août 2014, le radar de l'engin spatial avait exploré Ligeia Mare – une mer située dans la région polaire nord de la lune – à la recherche de l'« île magique », une forma-

***Kraken Mare. Vue d'artiste.  
(NASA/John Glenn Research Center)***

tion qui avait mystérieusement disparu et réapparu. Alors que la sonde croisait à 13 000 km/h à près de 1 000 kilomètres au-dessus de la surface de Titan, son altimètre radar a mesuré la profondeur d'une autre mer, Kraken Mare, et de Moray Sinus, un estuaire situé à son extrémité nord. Kraken Mare est la plus grande mer de Titan. Elle contient environ 80% des liquides de surface du satellite et atteint prati-

***L'« Île Magique ». Une île mystérieuse apparaît sur l'image de droite.  
(NASA/JPL-Caltech/Cornell)***



quement la taille des cinq Grands Lacs américains réunis. Son nom a été choisi parce qu'il désigne un monstre marin des mythologies scandinaves.

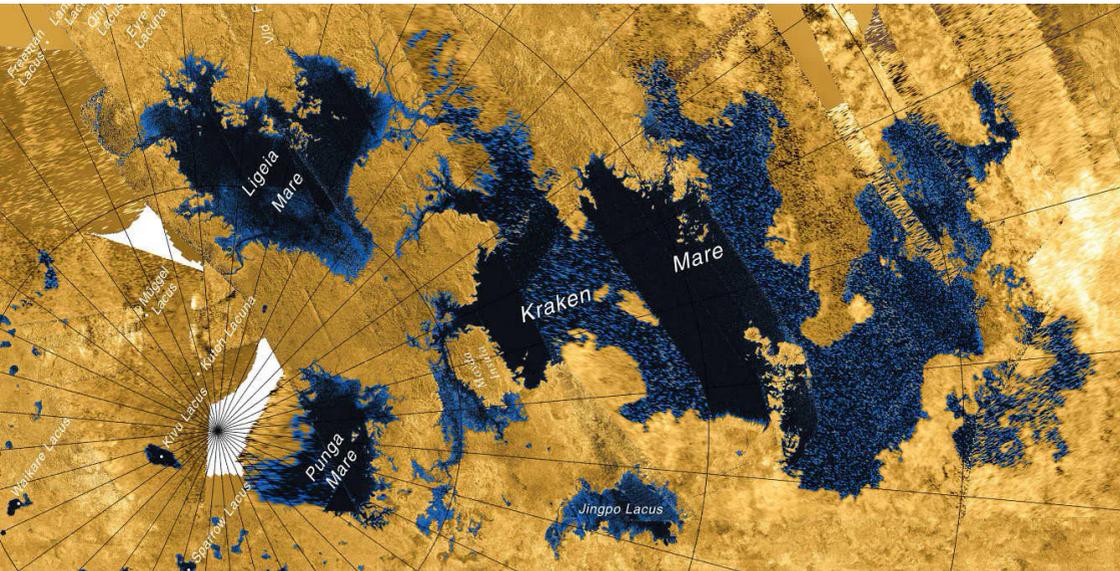
Les scientifiques avaient découvert comment estimer la bathymétrie des lacs et des mers en notant les différences de temps des échos radar sur la surface du liquide et le fond de la mer. Ils savaient aussi déduire la composition du liquide en mesurant la quantité d'énergie radar absorbée. Les astronomes n'ont cependant pas pu mesurer la profondeur de Kraken Mare. Ils ont simplement pu conclure qu'elle avait au moins 900 mètres près de son centre.

La profondeur et la composition des mers de Titan avaient déjà été mesurées, à l'exception de la plus grande, Kraken. Il s'avère que Moray Sinus est profond d'environ 800 mètres, soit moins qu'au milieu de Kraken Mare. Étonnamment, la composition du liquide, principalement un mélange d'éthane et de méthane, était dominée par le méthane et semblable à la composition de Ligeia Mare toute proche, la deuxième plus grande mer de Titan. Les scientifiques avaient spéculé

que Kraken Mare pourrait être plus riche en éthane, à la fois en raison de sa taille et de sa situation aux basses latitudes de la lune.

Le fait que la composition ne soit pas très différente de celle des autres mers du nord est une découverte importante qui devrait aider à élaborer de meilleurs modèles hydrologiques de Titan. Titan présente un environnement qui pourrait ressembler à celui de la Terre primitive. Il est donc important de comprendre la profondeur et la composition du Kraken Mare et de Moray Sinus, car cela permet une évaluation plus précise de l'hydrologie du méthane. Il reste de nombreux mystères. L'une des énigmes est l'origine du méthane liquide. La lumière solaire arrivant sur Titan – environ 100 fois moins intense que sur Terre – convertit le méthane atmosphérique en éthane. En 10 millions d'années, ce processus épuiserait complètement les réserves de surface de Titan. Il doit donc exister un mécanisme de renouvellement.

*Les grands lacs de Titan.  
(NASA/JPL)*



## **TRAPPIST-1**

*Basé sur un communiqué NASA*

La naine rouge TRAPPIST-1, distante d'une quarantaine d'années-lumière, abrite le plus grand groupe connu de planètes de dimensions terrestres dans un système stellaire. Une nouvelle étude impliquant les chercheurs liégeois révèle que ces planètes rocheuses ont des densités remarquablement similaires. Cela pourrait signifier qu'elles contiennent toutes à peu près la même proportion de matériaux qui composent la plupart des planètes rocheuses, comme le fer, l'oxygène, le magnésium et le silicium. Si c'est le cas, ce rapport est sensiblement différent de celui de la Terre : les planètes TRAPPIST-1 sont environ 8% moins denses que si elles avaient la même composition que notre planète.

Ce système est connu depuis 2016, lorsque les scientifiques liégeois ont annoncé qu'ils avaient trouvé trois planètes autour d'une naine rouge ultra-froide du Verseau en utilisant leur petit télescope TRAPPIST (Transiting Planets and Planetesimals Small Telescope) au Chili. Des observations ultérieures effectuées par le télescope spatial Spitzer (aujourd'hui déclassé) en collaboration avec des télescopes terrestres, ont confirmé la présence de deux de ces planètes et en ont découvert cinq autres. Les télescopes spatiaux Hubble et Kepler (maintenant retraité) ont également étudié le système.

Une analyse fine des transits a permis aux astronomes d'estimer les masses et les diamètres des planètes, et donc leurs densités. On a pu déterminer que les planètes ont à peu près la taille et la masse de la Terre et qu'elles doivent donc être rocheuses, ou « terrestres » ou encore « telluriques », par opposition à celles qui sont dominées par le gaz, comme Jupiter et Saturne.

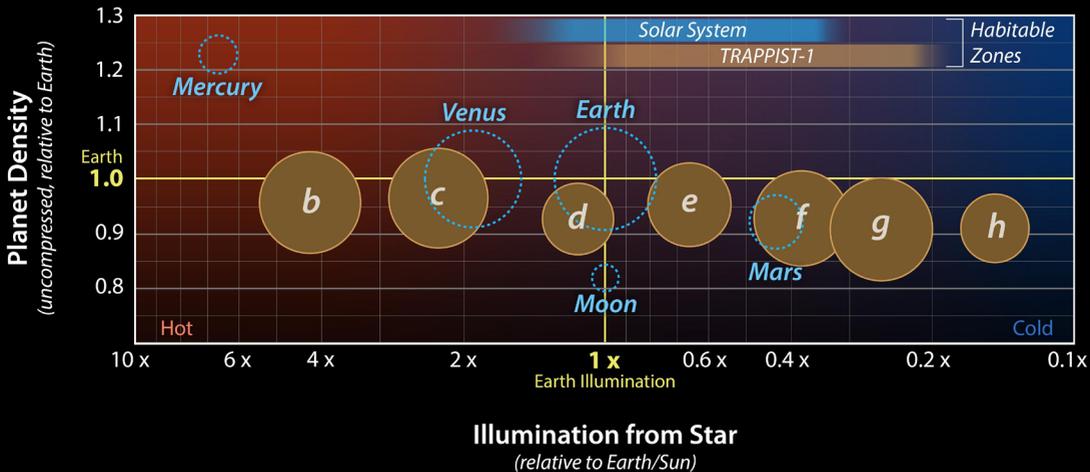
Les densités des huit planètes du Système solaire sont très différentes. Les géantes gazeuses composées principalement d'hydrogène et d'hélium – Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune – sont plus grandes mais beaucoup moins denses que les quatre mondes

telluriques. Ces derniers présentent aussi une certaine variété dans leurs densités qui sont déterminées à la fois par la composition chimique et par la gravité. En éliminant l'effet de la gravité, les scientifiques peuvent calculer ce que l'on appelle la densité non comprimée d'une planète et potentiellement en apprendre davantage sur sa composition.

Les sept planètes TRAPPIST-1 possèdent des densités similaires – les valeurs ne diffèrent pas de plus de 3%. Cela rend le système très différent du nôtre. La différence de densité entre les planètes TRAPPIST-1 et la Terre et Vénus peut sembler faible, environ 8%, mais elle est significative. Par exemple, on peut expliquer la densité des planètes de TRAPPIST-1 par une composition analogue à celle de la Terre, mais avec un pourcentage de fer plus faible – environ 21% contre 32% pour la Terre. Le fer des planètes de TRAPPIST-1 pourrait être oxydé, diminuant leur densité. La surface de Mars tire sa teinte rouge de l'oxyde de fer, mais comme ses trois soeurs terrestres, elle possède un noyau composé de fer non oxydé. En revanche, les planètes TRAPPIST-1 pourraient être entièrement rouillées et ne pas avoir de noyau de fer solide. On peut aussi combiner les deux scénarios, un peu moins de fer et un peu d'oxydation.

L'équipe a également cherché à savoir si la surface de chaque planète pouvait être recouverte d'eau, qui est encore plus légère que la rouille et qui changerait la densité globale de la planète. Si c'était le cas, l'eau devrait représenter environ 5% de la masse totale des quatre planètes extérieures. En comparaison, l'eau représente moins d'un millième de la masse de la Terre. Comme elles sont trop proches de leur étoile pour que l'eau reste liquide dans la plupart des circonstances, les trois planètes intérieures de TRAPPIST-1 auraient besoin d'atmosphères chaudes et denses comme celle de Vénus, de sorte que l'eau pourrait rester liée à la planète sous forme de vapeur. Cette explication semble moins probable car il est peu vraisemblable que les sept planètes aient juste assez d'eau pour donner des densités aussi comparables.

## TRAPPIST-1/Solar System Comparison



Propriétés des planètes rocheuses de TRAPPIST-1 comparées à celles du Système solaire. La taille relative des planètes est indiquée par des cercles. Toutes les planètes connues de TRAPPIST-1 sont plus grandes que Mars, cinq d'entre elles diffèrent de la Terre par moins de 15 %.

L'axe des ordonnées donne la densité non comprimée des planètes, tenant compte du fait que, plus une planète est grosse, plus sa propre gravité va la comprimer.

On voit que les densités non comprimées des planètes TRAPPIST-1 sont assez proches, ce qui suggère qu'elles peuvent toutes avoir une composition similaire. Les quatre planètes rocheuses du Système solaire présentent une plus grande diversité. Ainsi Mercure contient un pourcentage de fer beaucoup plus élevé que les trois autres planètes rocheuses et a donc une densité non comprimée beaucoup plus élevée.

L'axe horizontal montre le niveau de rayonnement reçu de l'étoile hôte. L'étoile TRAPPIST-1 n'a que 9 % de la masse du Soleil, et sa température est beaucoup plus basse. Mais parce que les planètes TRAPPIST-1 orbitent près de leur étoile, elles reçoivent des niveaux de lumière et de chaleur comparables à ceux de la Terre et de ses voisines.

Les zones habitables correspondantes – régions où une planète pourrait avoir de l'eau liquide en surface – sont indiquées en haut du graphique. Les deux zones ne sont pas exactement alignées car l'étoile TRAPPIST-1, plus froide, émet une plus grande partie de sa lumière sous forme de rayonnement infrarouge qui est plus efficacement absorbé par une atmosphère semblable à celle de la Terre. Comme il faut moins d'éclairage pour atteindre les mêmes températures, la zone habitable est plus éloignée de l'étoile. (NASA/JPL-Caltech)

## **Trou noir de M87**

*Basé sur un communiqué UChicago*

En 2019, la collaboration EHT (Event Horizon Telescope) a publié la première image d'un trou noir, M87\*, l'objet supermassif situé au centre de la galaxie M87. Les scientifiques ont maintenant analysé l'ensemble des données d'archives de 2009-2013 révélant le comportement de l'image du trou noir sur plusieurs années. Ils ont remarqué la persistance d'une ombre en forme de croissant, mais aussi la variation de son orientation.

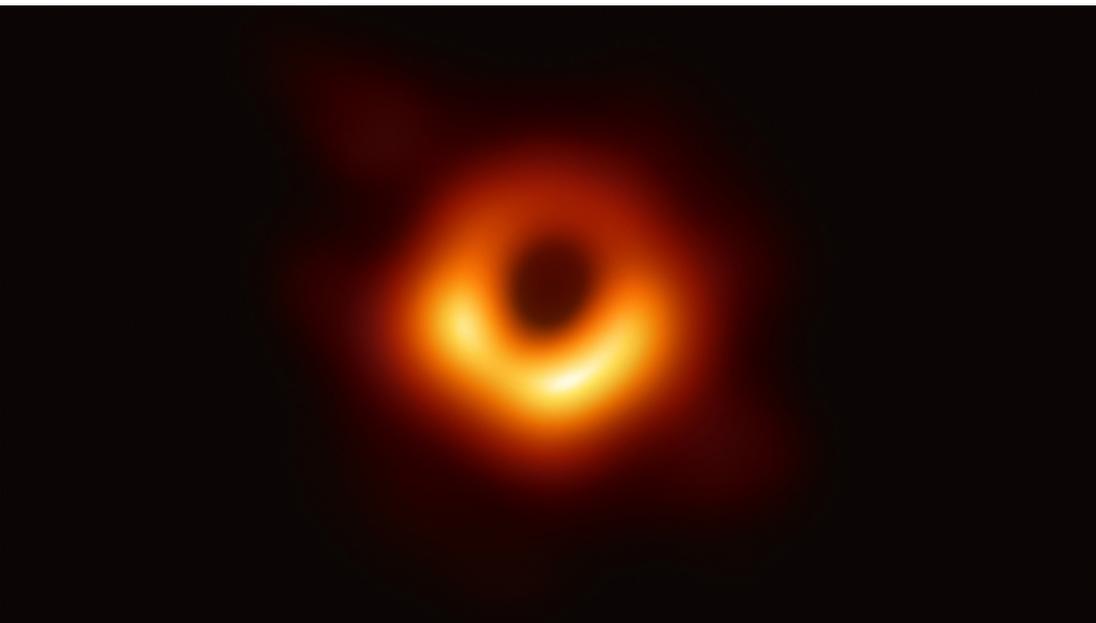
Le EHT n'est pas un télescope unique, mais un partenariat mondial de télescopes, dont un télescope au pôle Sud qui effectue des observations synchronisées en utilisant la technique de l'interférométrie à très longue base. Ensemble, ils forment une antenne virtuelle de la taille de la Terre, offrant une résolution spatiale inédite et permettant d'étudier les trous noirs et la gravité d'une manière qui n'avait jamais été possible auparavant. La participa-

tion d'un télescope au pôle Sud (le SPT) offre la promesse de pouvoir étudier en particulier Sgr A\*, le trou noir au centre de la Voie lactée.

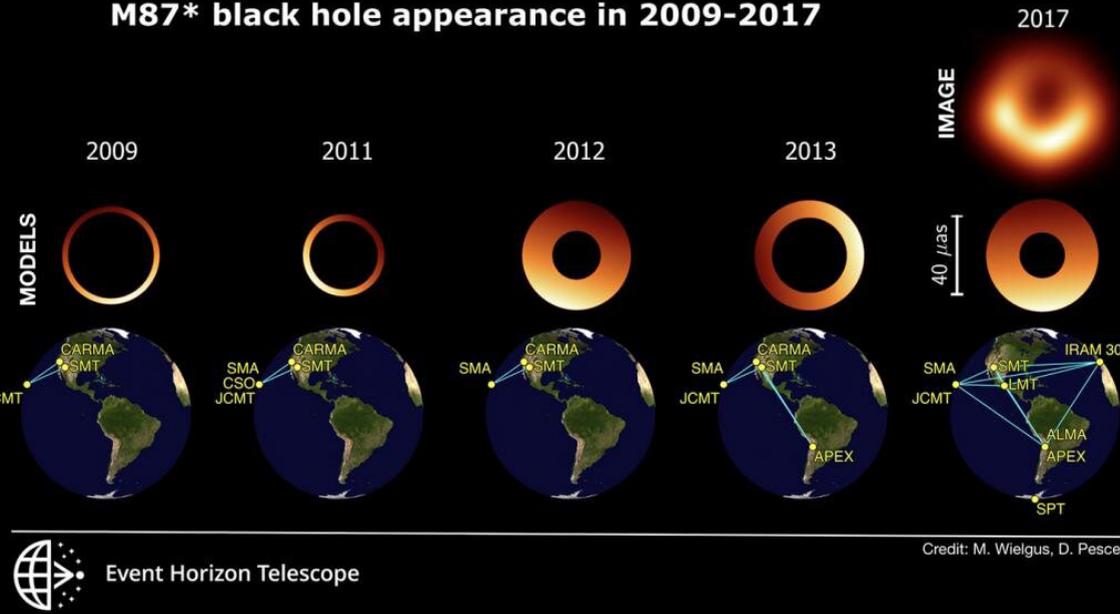
Les résultats concernant M87\* étaient basés uniquement sur des observations effectuées pendant une semaine en avril 2017, ce qui est beaucoup trop court pour voir beaucoup de changements. Mais de 2009 à 2013, les chercheurs avaient pris des données de M87\* avec les premiers instruments avant que l'ensemble des télescopes ne les rejoignent. Ils ont pu exploiter ces données pour savoir si la taille et l'orientation du croissant avaient changé.

Les observations de 2009-2013 comportent beaucoup moins de données que celles effectuées en 2017, ce qui rend impossible la création d'une image. L'équipe EHT a utilisé une modélisation statistique pour examiner les changements d'apparence de M87\* au fil du temps. Les scientifiques ont ainsi pu montrer que M87\* est conforme aux attentes théo-

***Première image d'un trou noir, M87\*.  
(EHT Collaboration)***



## M87\* black hole appearance in 2009-2017



Event Horizon Telescope

Credit: M. Wielgus, D. Pesce

riques. Le diamètre de l'ombre du trou noir est resté conforme à la prédiction de la théorie de la relativité générale d'Einstein pour un trou noir de 6,5 milliards de masses solaires.

Cependant, alors que le diamètre du croissant était resté cohérent, l'équipe a fait une découverte surprenante : l'anneau vacille. Pour la première fois, on a un aperçu de la structure dynamique du flux d'accrétion proche de l'horizon des événements du trou noir, dans des conditions de gravité extrême. L'étude de cette région détient la clé de la compréhension de phénomènes tels que l'émission de jets relativistes, et permettra de nouveaux tests de la théorie de la relativité générale.

Le gaz qui tombe sur un trou noir se réchauffe jusqu'à des milliards de degrés, s'ionise et devient turbulent en présence de champs magnétiques. La turbulence du flux de matière fait que le croissant semble osciller.

*Le trou noir M87\* vu par le réseau EHT de 2009 à 2017. Le diamètre de l'anneau reste constant mais la surbrillance se déplace.  
(M. Wielgus, D. Pesce, EHT Collaboration)*

Comme tous les modèles théoriques d'accrétion ne permettent pas une telle oscillation, il sera possible d'en écarter certains sur base de la dynamique observée de la source.

La surveillance de M87\* avec un réseau EHT étendu fournira de nouvelles images et des ensembles de données beaucoup plus riches pour étudier la dynamique des turbulences. Les données de 2018 faisaient déjà appel à un télescope supplémentaire situé au Groenland. En 2021, viendront s'ajouter deux autres sites, ce qui permettra d'obtenir des images d'une qualité extraordinaire.

## ***Courant stellaire de M92***

*Basé sur un communiqué CFH*

Une équipe d'astronomes utilisant le télescope Canada-France-Hawaii a découvert un nouveau courant d'étoiles émanant de l'amas globulaire M92. Ils y voient un effet des forces de marée causées par notre galaxie.

Les données de haute qualité utilisées pour aboutir à ce résultat ont été obtenues à Hawaii dans le cadre de deux surveys, d'une part le CFIS (Canada-France-Imaging-Survey) effectué avec la caméra géante MegaCam du TCFH (Télescope Canada France Hawaii) sur le volcan Mauna Kea de la Grande Île, et d'autre part le PS1 (Pan-STARRS 1) également réalisé avec une caméra gigantesque depuis

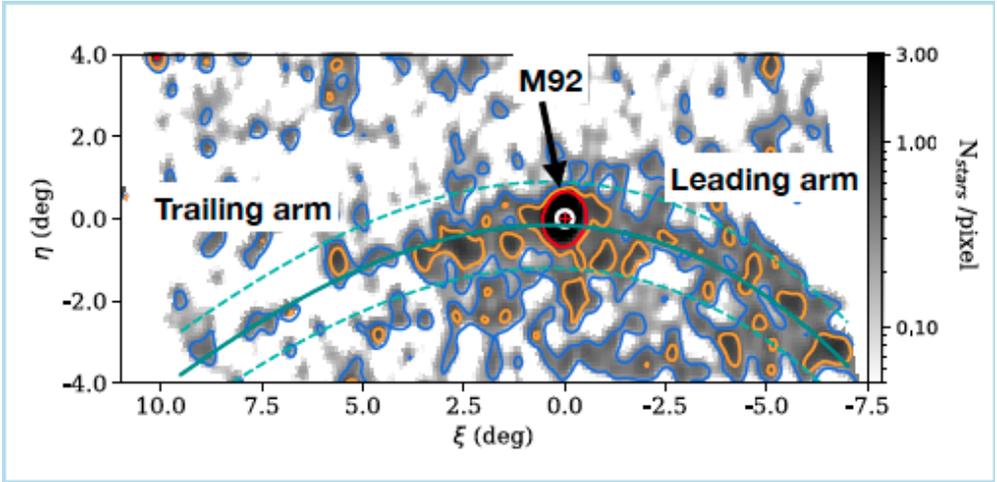
le sommet du volcan Haleakalā, sur l'île de Maui.

La découverte d'un flux stellaire autour de M92 soulève la question de l'origine de l'amas et pourrait être utilisée à l'avenir pour sonder les régions internes de la Voie lactée. L'équipe estime que le courant possède une masse équivalente à ~10% de la masse de l'amas lui-même.

Les courants stellaires sont des groupements stellaires très allongés – celui de M92 s'étire sur pas moins de 17 degrés – qui résultent de la dislocation d'amas globulaires

***L'amas globulaire M92 vu par le télescope spatial Hubble.  
(NASA/ESA)***





*Carte résiduelle du nombre d'étoiles par pixel le long du courant de M92 après application d'une technique de filtrage sélectif sur les données CFIS/PSI. La ligne cyan continue représente le centre de la trajectoire des étoiles du courant. (CFIS Team)*

ou de galaxies naines sous l'effet des forces de marée de la Voie lactée. Ces structures sont stables sur des échelles de temps de plusieurs milliards d'années. Leur longévité permet aux astronomes de les utiliser pour mieux comprendre la formation de galaxies comme la nôtre et pour déterminer le rôle du cannibalisme galactique dans la formation des galaxies. Les courants stellaires sont d'excellents outils pour sonder le potentiel gravitationnel de la Galaxie et estimer la distribution de la matière noire autour d'elle.

Les simulations du courant stellaire de M92 indiquent qu'il s'est probablement formé récemment, au cours des 500 derniers millions d'années. L'âge de l'amas est d'environ 11 milliards d'années, ce qui indique que l'amas n'a pas toujours été sur son orbite galactique actuelle. La question se pose donc de savoir où se trouvait M92 à l'origine.

L'équipe a identifié le courant de l'amas globulaire M92 en utilisant une méthode améliorée de filtrage. Cette méthode vise à mettre en évidence un signal spécifique dans un ensemble de données bruitées et s'avère être un outil extrêmement efficace pour détecter les flux stellaires autour de la Voie lactée.

Les observations antérieures de cette région n'avaient pas permis de détecter ce courant en raison du nombre élevé d'étoiles de premier plan du disque de la Voie lactée. Il a été découvert, non seulement grâce à la combinaison d'images de haute qualité du CFIS et du Pan-STARRS, mais aussi grâce aux mesures de mouvements propres obtenues par la mission spatiale européenne Gaia qui ont permis de confirmer l'existence du flux.

L'étude d'imagerie Canada-France est un vaste programme en cours au TCFH utilisant la MegaCam. Avec un temps alloué de 271 nuits, le CFIS vise à répondre à certaines des questions les plus fondamentales en astronomie, notamment l'assemblage de la Voie lactée, les propriétés de la matière noire et de l'énergie sombre, et la croissance de la structure de l'Univers, des galaxies aux amas.

## ***Des halos autour des amas ouverts***

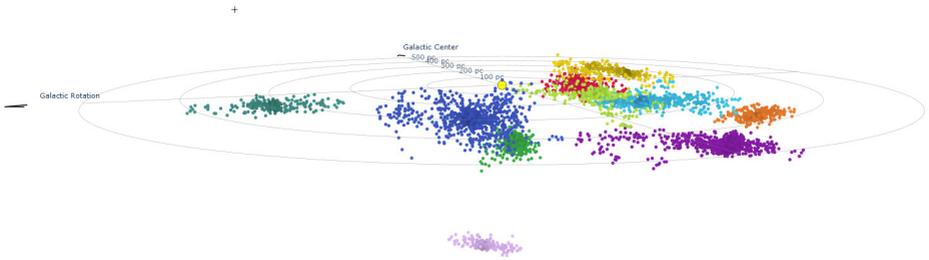
*Basé sur un communiqué Universität Wien*

Les amas d'étoiles font partie de l'imaginaire de la civilisation humaine depuis des millénaires, comme le montrent leurs innombrables représentations dans les arts et les sciences à travers les cultures et les continents. Les amas d'étoiles les plus proches et les plus brillants de la Terre, comme les Pléiades, sont facilement visibles à l'œil nu et sont des membres importants du ciel nocturne, où ils

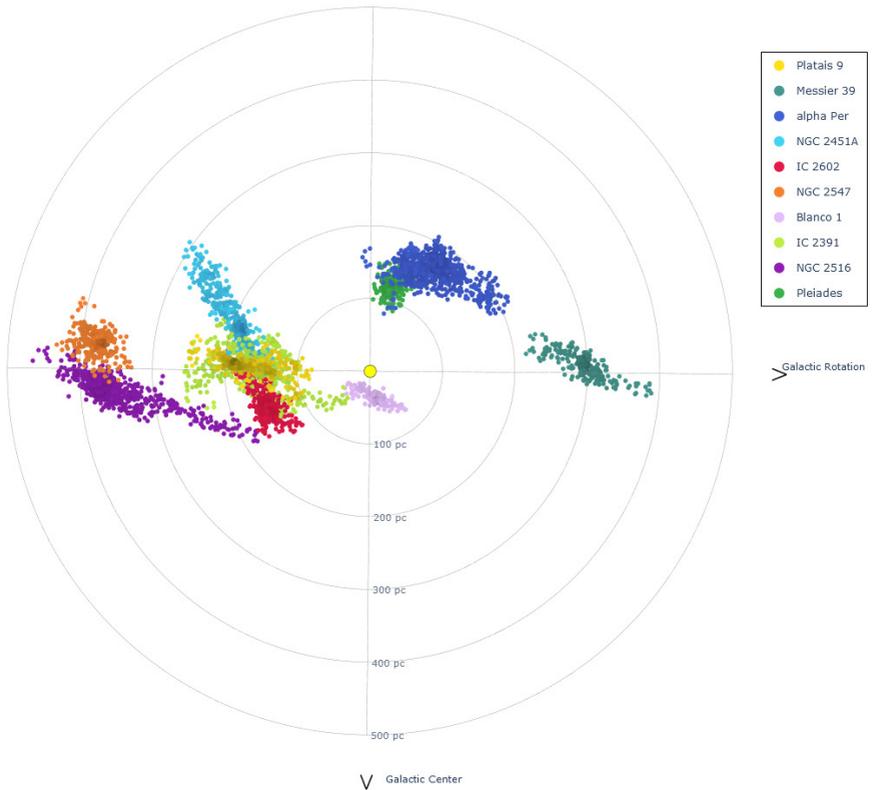
apparaissent sous forme de concentrations serrées d'étoiles. Une équipe de recherche a maintenant révélé l'existence de halos stellaires massifs, des « coronae », entourant les amas proches.

***L'amas NGC 2516. Seul le cœur compact est bien visible, alors qu'il est en fait bien plus étendu. (DSS colored - Digitized Sky Survey - STScI/NASA, Colored & Healpixed by CDS)***





*Visualisation des coronae, de profil par rapport au plan galactique, et de face. (Stefan Meingast)*

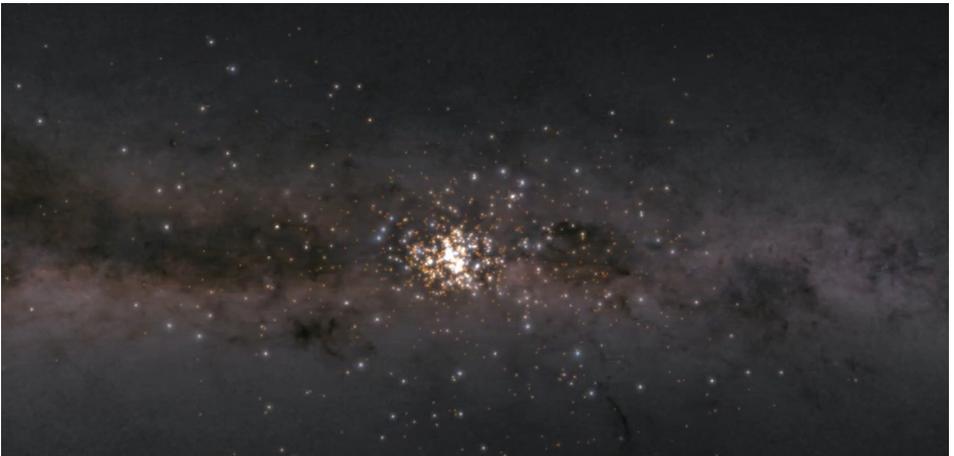


Les amas forment de grandes familles d'étoiles qui peuvent rester ensemble pendant une grande partie de leur vie. Aujourd'hui, nous connaissons quelques milliers d'amas d'étoiles dans la Voie lactée, mais nous ne les reconnaissons qu'en raison de leur apparence comme des groupes serrés d'étoiles. Si on leur laisse suffisamment de temps, les étoiles ont tendance à quitter leur berceau et à se retrouver entourées d'innombrables étrangers, devenant indiscernables de leurs voisines et difficiles à identifier. On pense ainsi que notre étoile est née dans un amas et a laissé ses sœurs derrière elle depuis longtemps.

Les mesures précises du télescope spatial astrométrique Gaia ont permis de montrer que ce que nous appelons un amas d'étoiles n'est que la pointe de l'iceberg d'une distribution d'étoiles beaucoup plus grande et souvent très étirée. Il semble que les amas sont enfermés dans des halos plus de 10 fois plus grands qu'eux, ce qui va bien au-delà de nos suppositions antérieures. Il reste beaucoup à faire pour réviser ce que nous pensions être les propriétés de base des amas d'étoiles et pour essayer de comprendre l'origine de ces coronae.

Pour trouver ces étoiles perdues, les chercheurs ont mis au point une méthode d'apprentissage automatique (machine learning) pour identifier des groupements d'étoiles qui sont nées ensemble et se déplacent conjointement dans le ciel. L'équipe a analysé 10 amas d'étoiles et a identifié des milliers de ces étoiles situées loin des amas compacts, mais appartenant clairement à la même famille. L'explication de l'origine des coronae est incertaine, mais cette découverte devrait aider à comprendre leur histoire et leur évolution. Elle aura des implications importantes pour notre compréhension de la façon dont la Voie lactée a été construite, amas par amas, mais aussi des implications sur le taux de survie des protoplanètes loin des radiations stérilisantes des étoiles massives au centre des amas. Les amas stellaires denses avec leurs couronnes massives mais moins denses pourraient ne pas être de mauvais endroits pour de jeunes planètes.

*Vue panoramique de l'amas d'alpha Persei et de sa corona. Les étoiles de celle-ci sont révélées grâce aux mesures précises de Gaia et à des outils de machine learning. (Stefan Meingast, Gaia Sky)*





## Rayons cosmiques

Basé sur un Communiqué University of Delaware

L'analyse de centaines de milliers de rayons cosmiques détectés à l'observatoire Pierre Auger a permis d'en préciser le spectre et de révéler un « coude » aux très hautes énergies qui pourrait trahir les origines de ces messagers subatomiques.

Ces résultats proviennent de l'analyse de 215 030 événements de rayons cosmiques d'une énergie supérieure à 2,5 quintillions d'électron-volts ( $2,5 \cdot 10^{18}$  eV), enregistrés au cours de la dernière décennie par l'observatoire Pierre Auger en Argentine – le plus grand observatoire au monde pour l'étude des rayons cosmiques.

Depuis leur découverte il y a un siècle, la question se pose de savoir ce qui accélère ces particules. On savait que cela ne se trouvait pas dans la Galaxie. La nouvelle étude conforte l'idée selon laquelle les rayons cosmiques d'ultra-haute énergie ne sont pas seulement des protons, mais aussi des noyaux d'éléments plus lourds, certains plus lourds que l'oxygène ou l'hélium, comme le silicium

*En plus des réservoirs de détecteurs Cherenkov remplis d'eau, l'observatoire Pierre Auger en Argentine dispose d'un second type de capteurs de rayons cosmiques : les détecteurs de fluorescence. Un rayon cosmique produit dans l'atmosphère une avalanche de particules. Leur interaction avec l'azote atmosphérique entraîne l'émission de lumière ultraviolette par un processus de fluorescence, invisible à l'œil, mais pas pour ces détecteurs optiques. (University of Delaware)*

et le fer – une composition qui change avec leur énergie.

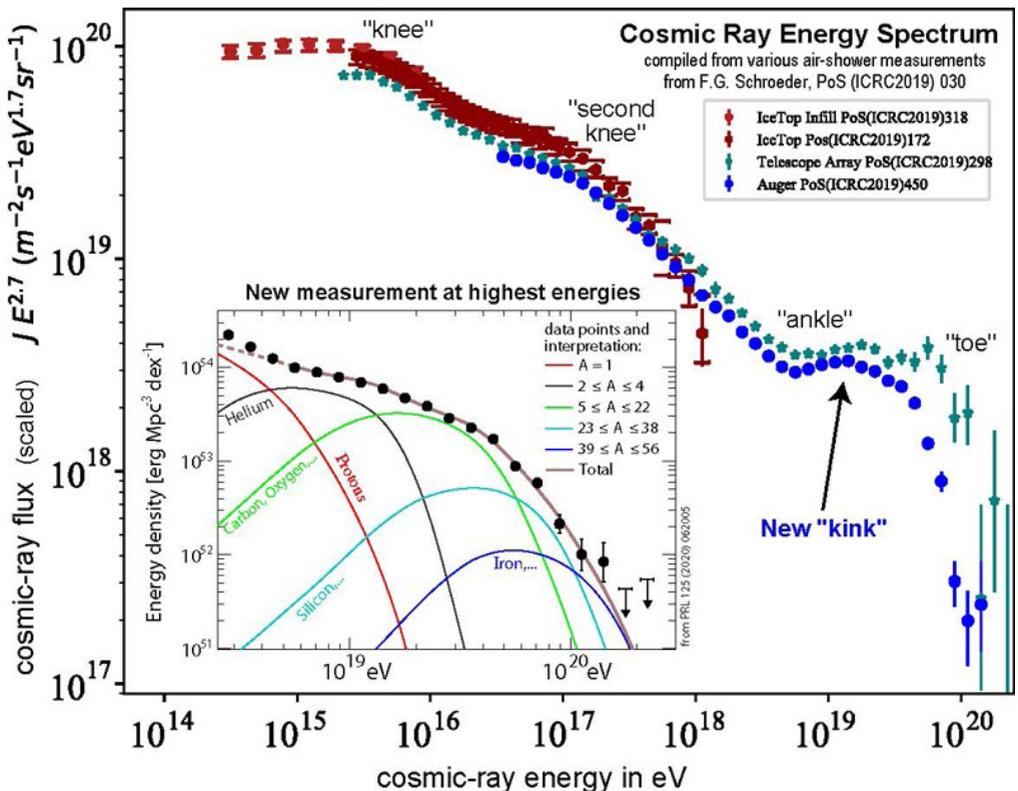
La collaboration qui gère l'observatoire Pierre Auger comprend plus de 400 scientifiques de 17 pays. L'observatoire compte plus de 1 600 détecteurs (des stations « Water-Cherenkov ») répartis dans les hautes plaines de la Pampa Amarilla, et 27 télescopes à fluorescence. Ces instruments mesurent l'énergie libérée dans l'atmosphère par les rayons cosmiques de très haute énergie et fournissent une évaluation indirecte de leur masse. Ces données, associées à leur direction, fournissent des indices importants sur leur origine.

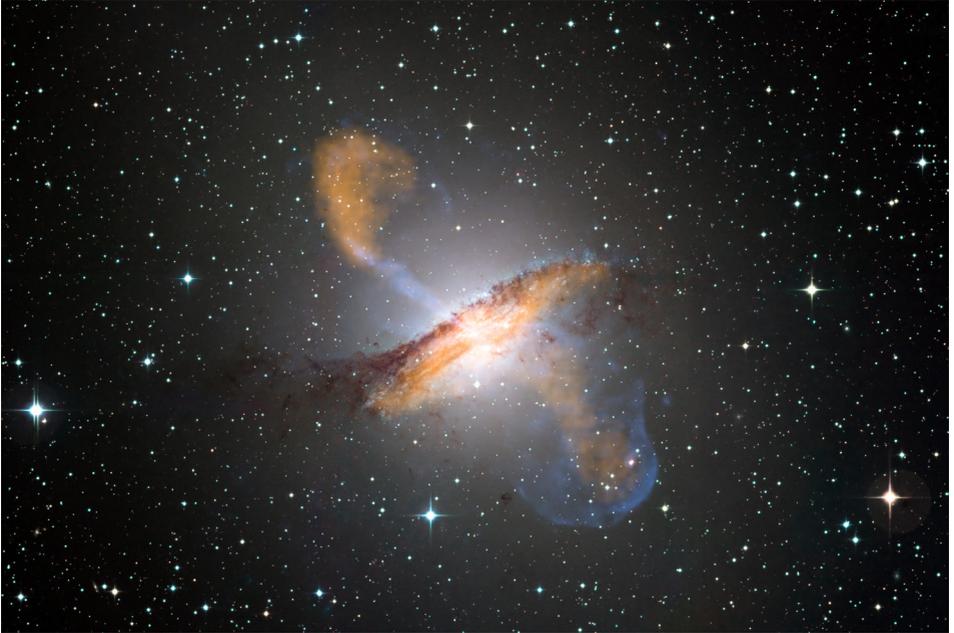
Sur la courbe représentant le spectre d'énergie des rayons cosmiques, on distingue plusieurs « coudes », ou « genoux » (knees). Le dernier coude pose un autre problème d'anatomie car il se situe entre ce que les scientifiques appellent « la cheville » et le point de départ de la courbe, « l'orteil ».

Les noyaux galactiques actifs (AGN) et les galaxies à haut taux de formation d'étoiles sont des sources potentielles. Certaines candidates se trouvent à moins de 20 millions d'années-lumière.

Les recherches en cours visent à accroître encore la précision de la mesure des rayons cosmiques de très haute énergie mais aussi à étendre la mesure de leur spectre jusqu'à des énergies plus faibles. Cela créerait un meilleur chevauchement avec d'autres expériences, telles que celles réalisées avec IceCube au pôle Sud – un autre observatoire unique d'astroparticules.

*Spectre des rayons cosmiques. Plus leur énergie est élevée, plus les rayons cosmiques sont rares. Cette relation n'est pas linéaire. Quelque chose se passe à différentes énergies, appelées de manière informelle « genou », « cheville » ou « orteil », ainsi que le « nouveau coude », mesuré par la collaboration de l'observatoire Pierre Auger. L'encadré montre cette nouvelle mesure en détail. Chaque caractéristique peut être interprétée comme un changement dans la composition des rayons cosmiques aux énergies respectives. (University of Delaware)*





▲ *Centaurus A est un exemple de galaxie à noyau actif située à moins de 20 millions d'années-lumière et une source potentielle de rayons cosmiques énergétiques.*  
(ESO/WFI - NASA/CXC/CfA)

▼ *Un ensemble de stations de détection des rayons cosmiques de l'observatoire Pierre Auger près de Malargüe, en Argentine.*  
(University of Delaware)



## ***Bulbe galactique***

*Basé sur un communiqué NASA*

Le « bulbe » central de la Voie lactée est une caractéristique commune à une myriade de galaxies spirales. Depuis longtemps, les astronomes se demandent comment et quand ce renflement central a pu se former. Les étoiles qui le composent sont-elles nées au début de l'histoire de notre galaxie, il y a 10 à 12 milliards d'années ? Ou le bulbe s'est-il formé au fil du temps, au cours de multiples épisodes de formation d'étoiles ?

Des études antérieures avaient trouvé des preuves d'au moins deux épisodes de formation d'étoiles, conduisant à des populations stellaires aussi vieilles que 10 milliards ou aussi jeunes que 3 milliards d'années. Aujourd'hui, une nouvelle étude exhaustive de millions d'étoiles révèle que la plupart des étoiles situées au cœur de la Voie lactée, à moins de 1 000 années-lumière de son centre, se sont formées il y a plus de 10 milliards d'années par accrétion du gaz primordial, ou par quelque chose de plus spectaculaire comme la fusion avec une autre jeune galaxie.

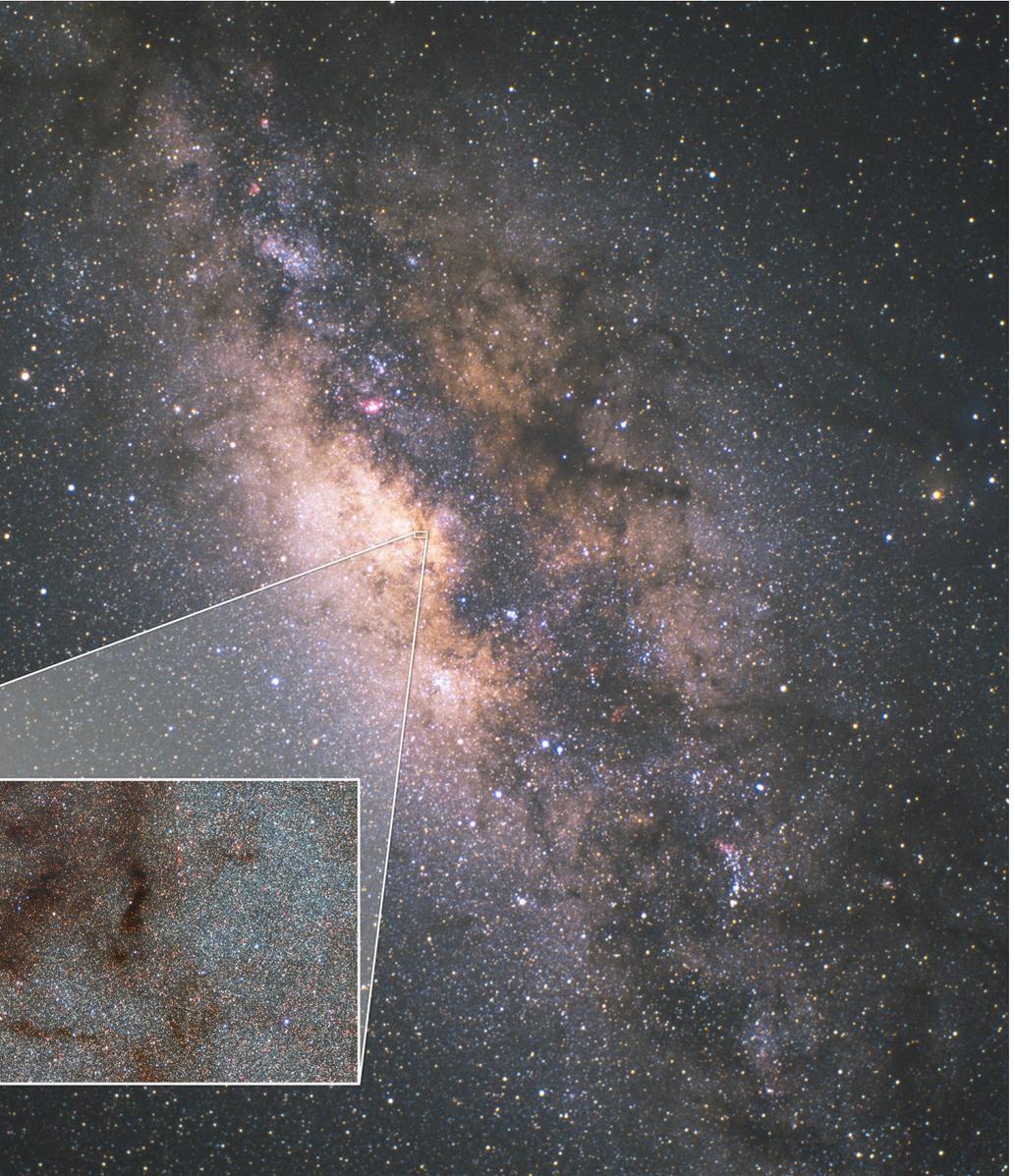
Beaucoup de galaxies spirales ressemblent à la Voie lactée et ont des renflements similaires. Comprendre comment la Voie lactée l'a acquis est donc important pour l'étude des galaxies en général.

L'analyse de la composition chimique des étoiles du bulbe a montré qu'elles paraissent plus jeunes qu'elles ne le sont. En effet, elles contiennent à peu près la même quantité d'éléments lourds (plus lourds que l'hydrogène et l'hélium) que le Soleil – ce que les astronomes appellent des métaux. C'est surprenant, car les métaux mettent du temps à s'accumuler. Ils doivent être créés par des générations d'étoiles plus anciennes, éjectés par des vents stellaires ou des supernovæ, puis incorporés aux générations suivantes.

Le Soleil, avec ses 4,5 milliards d'années, est relativement jeune. Il est donc logique qu'il soit riche en métaux. En revanche, la plupart des étoiles vieilles de la Galaxie sont dépourvues d'éléments lourds. Et pourtant, les étoiles peuplant le bulbe sont enrichies en métaux malgré leur âge avancé.

Quelle chose de spécial a dû se produire dans le bulbe. Les métaux s'y sont accumulés très rapidement, probablement au cours des 500 premiers millions d'années de son existence. L'équipe a étudié la luminosité des étoiles à différentes longueurs d'onde, en particulier dans l'ultraviolet, pour déterminer leur teneur en métaux. Les étoiles qui se forment à des moments différents devraient avoir des métallicités différentes en moyenne. Au lieu de cela, ils ont découvert que toutes les étoiles situées à moins de 1 000 années-lumière du centre galactique présentaient une distribution de métaux bien groupée





*Vue à grand champ du centre de la Voie lactée avec, en zoom, une image prise par la camera DECam à l'observatoire de Cerro-Tololo au Chili. Alors que la photo de la Voie lactée couvre 71 degrés du ciel, celle de la DECam*

*couvre 0,5 par 0,25 degrés (une zone environ deux fois plus large que la pleine lune). (CTIO/NOIRLab/NSF/AURA/STScI, W. Clarkson/UM-Dearborn, C. Johnson/STScI, M. Rich/UCLA)*

autour d'une seule moyenne. Cela suggère que ces étoiles se sont formées lors d'un seul et bref épisode.

Les observations couvraient plus de 200 degrés carrés – une surface équivalant approximativement à 1 000 pleines lunes. Elles ont été faites avec la caméra « à énergie noire » (DECAM) du télescope Victor M. Blanco de 4 mètres de l'observatoire interaméricain de Cerro Tololo au Chili. Cette caméra est capable de capturer 3 degrés carrés de ciel en une seule exposition. L'équipe a recueilli plus de 450 000 photos individuelles qui ont permis de déterminer avec précision la composition chimique de millions d'étoiles. Un sous-échantillon de 70 000 étoiles a été analysé pour cette étude.

Cette étude est unique car elle a balayé une section continue du renflement à des longueurs d'onde allant de l'ultraviolet au visible et au proche infrarouge, ce qui permet de bien comprendre les différentes composantes du renflement et comment elles s'imbriquent les unes dans les autres.

La richesse des données recueillies par cette enquête alimentera d'autres analyses

scientifiques. Par exemple, les chercheurs étudient la possibilité de mesurer les distances stellaires afin de dresser une carte 3D plus précise du renflement. Ils prévoient également de rechercher des corrélations entre leurs mesures de métallicité et les orbites stellaires. Cette enquête pourrait permettre de localiser des groupes d'étoiles ayant des orbites similaires, qui pourraient être les restes de galaxies naines perturbées, ou d'identifier des signes d'accrétion comme des étoiles orbitant en sens inverse de la rotation générale de la galaxie.

L'histoire du bulbe de la Voie lactée est-elle unique ou commune dans l'évolution des galaxies? Pour répondre à cette question, les astronomes devront étudier l'assemblage des galaxies dans l'Univers jeune et donc lointain – une tâche pour laquelle le télescope spatial James Webb de la NASA a été spécialement conçu. Avec Webb, on sera aux premières loges pour assister à la formation de galaxies comme la nôtre.

*Le bulbe de la Voie lactée tel qu'il  
serait vu de profil.  
(ESO/NASA/JPL-Caltech/  
M. Kornmesser/R. Hurt)*



## **La Blue Ring Nebula**

*Basé sur un communiqué Princeton University*

En 2004, les astronomes observant avec le télescope spatial GALEX (Galaxy Evolution Explorer) de la NASA ont repéré une nébuleuse étrange entourant l'étoile TYC 2597-735-1. Dans les longueurs d'onde ultra-violettes explorées par le satellite, la nébuleuse semblait très bleue – bien qu'elle n'émette pas vraiment de lumière visible à l'œil. Des observations minutieuses ont permis d'identifier deux anneaux épais à l'intérieur, si bien que l'équipe l'a surnommée la Blue Ring Nebula – Nébuleuse de l'Anneau bleu, ou la Nébuleuse annulaire bleue si l'on veut se référer à la célèbre planétaire de la Lyre, M57.

Au cours des années suivantes, les astronomes l'ont étudiée à l'aide de plusieurs télescopes terrestres et spatiaux, mais plus ils en apprenaient sur elle, plus elle semblait mystérieuse. Ils ont combiné des observations au sol avec une modélisation théorique détaillée pour en étudier les propriétés.

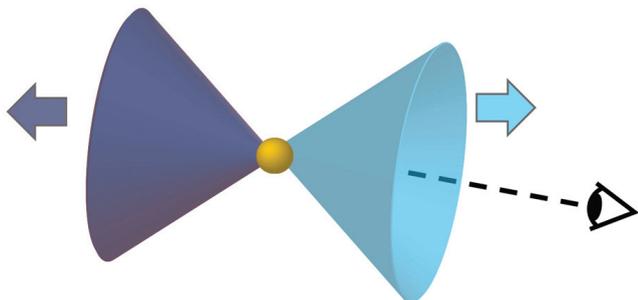
La plupart des étoiles de la Voie lactée se trouvent dans des systèmes binaires. Si les étoiles d'un couple sont suffisamment proches l'une de l'autre, l'une d'elles peut englober sa compagne. Celle-ci tombe en spirale vers l'autre jusqu'à la collision. L'énergie orbitale perdue peut se traduire par une éjection de matière à grande vitesse.

Des preuves à l'appui de cette hypothèse sont venues des observations effectuées avec deux grands télescopes au sol : le spectrographe HIRES sur le télescope Keck de 10 mètres au sommet du Maunakea à Hawaïi,

***La mystérieuse nébuleuse Blue Ring est composée d'hydrogène (bleu) en expansion à partir d'une étoile centrale qui est le noyau résiduel d'une fusion stellaire. Les filaments rouges sont des ondes de choc provenant de l'événement. (NASA/JPL-Caltech/M. Seibert/Carnegie Institution for Science/K. Hoadley Caltech/GALEX Team)***

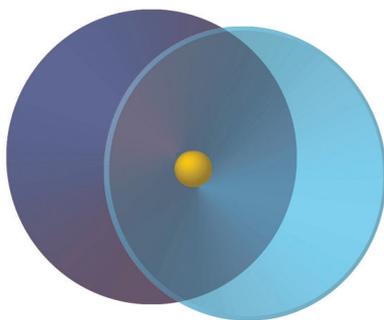


### Side View



*La nébuleuse de l'Anneau bleu est constituée de deux nuages de débris creux, en forme de cônes, qui se déplacent dans des directions opposées en s'éloignant de l'étoile centrale. La base de l'un des cônes se déplace presque directement vers la Terre. Par conséquent, les astronomes qui regardent la nébuleuse voient deux cercles qui se chevauchent partiellement.  
(Mark Seibert)*

### Earth View



et le « near-infrared Habitable-zone Planet Finder » sur le télescope Hobby-Eberly de 10 mètres à l'observatoire McDonald au Texas, un nouveau spectrographe dans l'infrarouge destiné à détecter les planètes autour des étoiles proches. Ces observations spectroscopiques ont été essentielles pour mieux comprendre l'objet. Elle indiquent que l'étoile centrale est enfée, et l'on voit des signes d'accrétion de matière, probablement à partir d'un disque de débris circumstellaires.

Les données spectroscopiques couplées à la modélisation théorique montrent effectivement que la nébuleuse Blue Ring peut s'interpréter par la chute d'une petite étoile sur une plus massive.

Bien que quelques vestiges d'événements de fusion de ce type aient été observés auparavant, tous ces objets étaient masqués par des nuages de poussières. Cette nébuleuse est le seul objet permettant une vue dégagée du reste stellaire central, offrant une fenêtre claire sur ses propriétés et fournissant des indices sur le processus de fusion.

## IC 5063

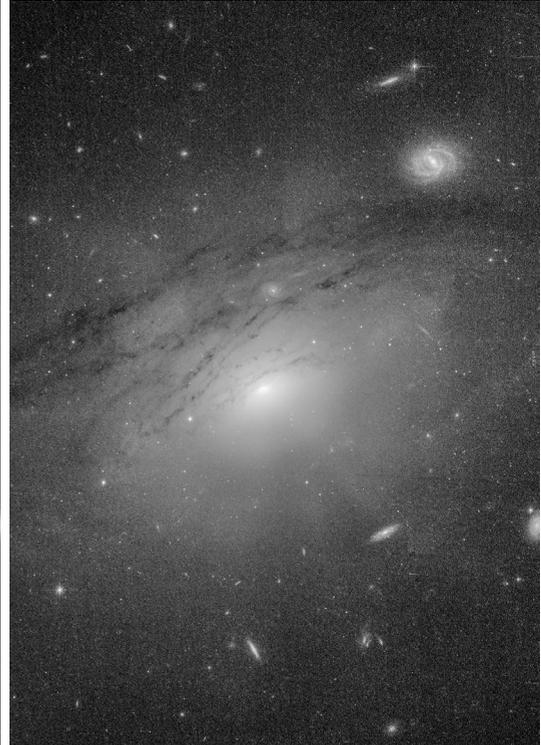
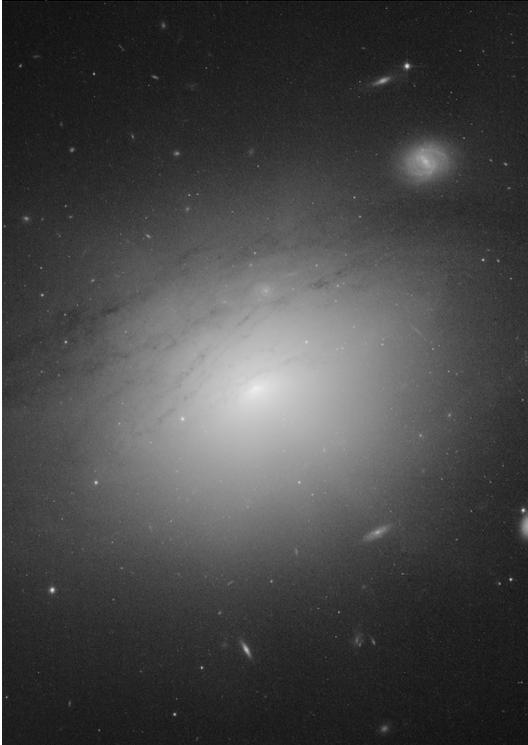
*Basé sur un communiqué Cfa*

En accréant la matière qui l'entoure, un trou noir supermassif dégage une lumière intense. Jusqu'à présent, les scientifiques pensaient que cette lumière n'illuminait que les parties d'une galaxie qui se trouvaient dans l'axe d'étroits cônes d'ionisation. Mais les images de IC 5063 – une galaxie de Seyfert à noyau galactique actif (AGN) – indiquent que la lumière peut illuminer presque toute la galaxie, en traversant des déchirures survenant dans le tore de poussière entourant le trou noir.

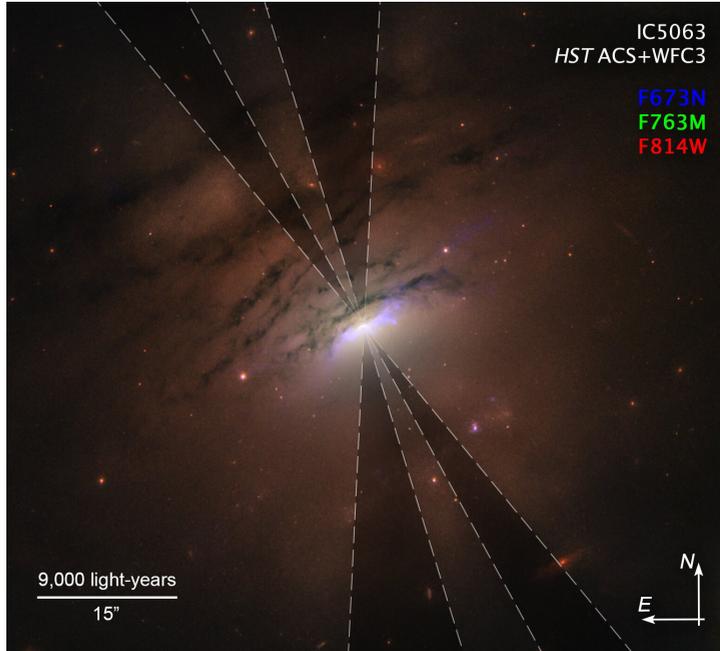
Cette galaxie a récemment fusionné avec une autre, ce qui a pu l'emplir de poussières. Il est également possible que les jets du trou noir créent des poussières à proximité du noyau. Ces poussières sont éclairées par les rayons s'échappant du trou noir.

Cette découverte montre que le tore pourrait être très mince, la lumière semblant s'échapper de presque partout. Si le tore est assez grand, il devient instable. La gravité et la rotation le maintiennent bien tout près du trou noir mais, plus loin, il est sujet aux influences extérieures et peut subir des déformations. Des espaces suffisamment grands peuvent apparaître qui laissent passer une partie de la lumière. Lorsque le tore tourne, des faisceaux de lumière balaient la galaxie et illuminent la poussière comme des phares dans un brouillard. Ce résultat pourrait avoir des implications pour comprendre le comportement des trous noirs supermassifs et leur environnement.

*En traitant l'image de gauche provenant du télescope spatial, Judy Schmidt a mis en évidence des ombres pointant vers le noyau de la galaxie de Seyfert IC 5063. (NASA/ESA/A. Barth/J. Schmidt)*



L'attention a été attirée sur IC 5063 par une « citoyenne scientifique », Judy Schmidt, qui a remarqué d'étranges cônes sombres lors du traitement d'une image prise par le télescope spatial Hubble. Ces ombres étaient-elles réelles, et que révélaient-elles ? Intrigués par cette découverte, des astronomes se sont intéressés à la question et ont imaginé le modèle du tore déstabilisé. Ces conclusions devront être confrontées à de nouvelles observations et modélisations. C'est un projet qui soulève plus de questions qu'il n'apporte de réponses, et IC 5063 sera observée dans d'autres domaines de longueurs d'onde, et avec d'autres instruments.



▲ *Image annotée de IC 5063.  
(NASA, ESA, STScI, W.P. Maksym/CfA)*

*Illustration du modèle  
de tore central laissant  
échapper de la lumière  
et créant des ombres.  
(NASA, ESA, Z. Levy/  
STScI)*



## Magnétar et FRB, SGR 1935

Basé sur un communiqué NASA/JPL

Les magnétars sont des étoiles à neutrons pourvues d'un champ magnétique intense. Ce champ peut être des milliards de fois plus fort que celui des aimants que l'on rencontre dans la vie de tous les jours, et jusqu'à mille fois plus fort que celui d'une étoile à neutrons typique. Cela représente une énorme réserve d'énergie que les astronomes soupçonnent d'alimenter les sursauts explosifs de ces objets.

Fin avril, l'observatoire Swift de la NASA a observé une nouvelle séquence d'activité provenant d'un magnétar appelé SGR 1935+2154 (SGR 1935 en abrégé) situé dans la constellation du Petit Renard. Il s'agissait de l'éruption la plus forte de l'objet à ce jour – une rafale de salves de rayons X, chacune durant moins d'une seconde. La tempête, qui a fait rage pendant des heures, a été captée à différents moments par les télescopes spatiaux Swift et Fermi ainsi que par NICER, un télescope à rayons X monté sur la Station spatiale internationale.

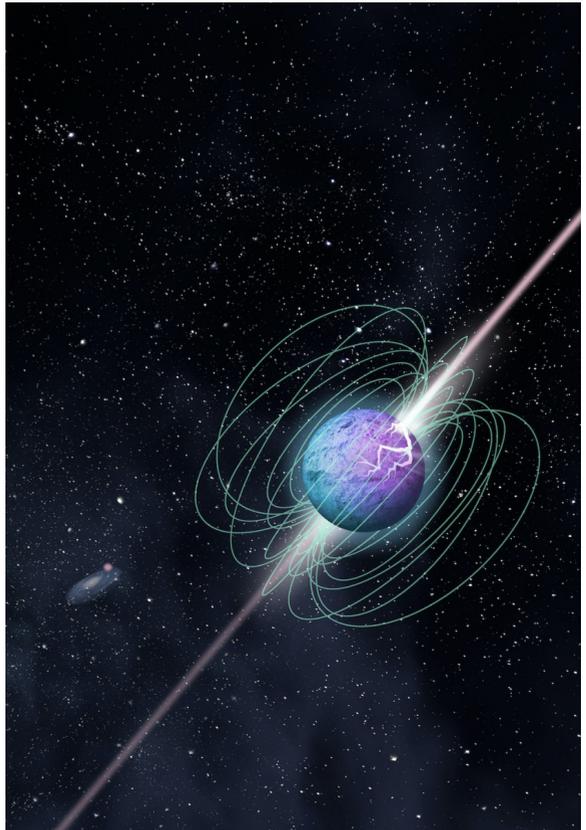
Environ 13 heures après la fin de la tempête, alors que le magnétar était hors de vue pour Swift, Fermi et NICER, une éruption X est survenue; elle a été vue par le télescope spatial INTEGRAL de l'ESA, le télescope X chinois Huiyan et l'instrument russe Konus à bord de la vénérable sonde Wind (lancée en 1994). Pendant ce bref sursaut de moins d'une seconde, les radiotélescopes CHIME et

STARE2<sup>1</sup> détectaient une éruption radio, qui n'a duré qu'un millième de seconde. Cette salve radio était bien plus brillante que tout ce qui avait été vu auparavant.

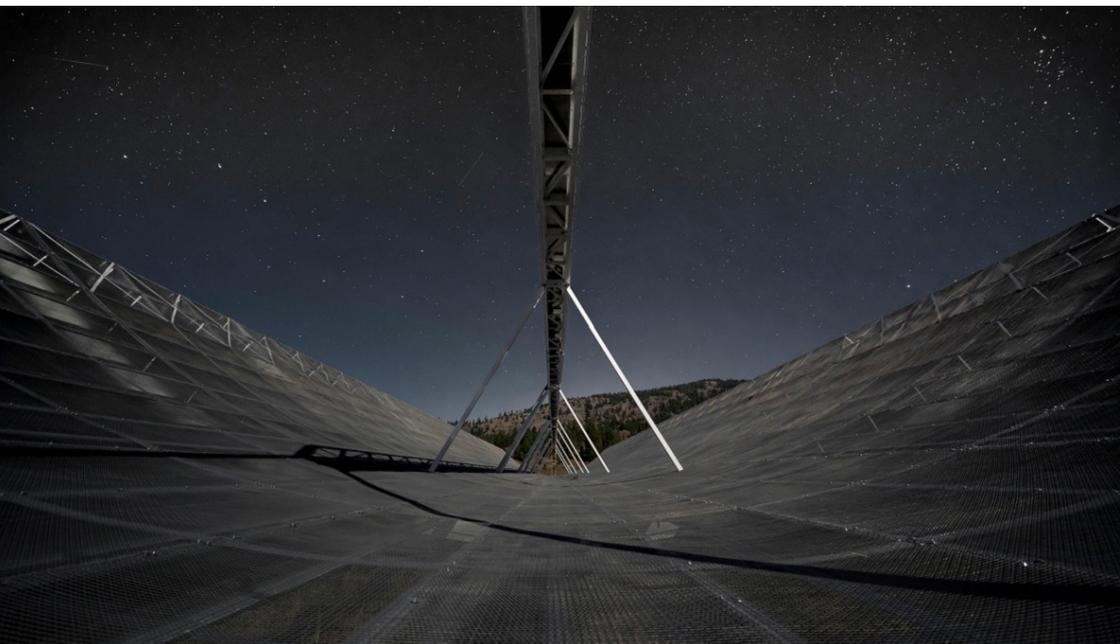
Les magnétars sont observés dans notre galaxie depuis des décennies, tandis que les FRB sont considérés comme des phénomènes extragalactiques aux origines mystérieuses. Cet événement montre que les deux phénomènes sont probablement liés.

La distance de SGR 1935 reste mal établie, avec des estimations allant de 14 000 à 41 000 années-lumière. En supposant qu'elle se situe à l'extrémité la plus basse de cette

<sup>1</sup> Le Survey for Transient Astronomical Radio Emission 2 (STARE2) est un programme de la NASA basé sur un trio de récepteurs situés en Californie et en Utah.



*Vue d'artiste d'un magnétar, montrant la structure complexe du champ magnétique et l'émission de jets après une fracture superficielle de l'étoile. (McGill University)*



fourchette, l'éruption X a transporté autant d'énergie que ce que le Soleil produit en un mois. Curieusement, elle n'était cependant pas aussi puissante que certaines des éruptions de la tempête du magnétar.

Les éclairs vus par NICER et Fermi sont nettement différents dans leurs caractéristiques spectrales de celui observé en radio. Cette différence pourrait être due à l'emplacement de l'éruption de rayons X à la surface de l'étoile, la rafale associée au FRB se produisant probablement au pôle magnétique ou à proximité. Cela peut être essentiel pour comprendre l'origine du signal radio exceptionnel.

La salve radio de SGR 1935 était des milliers de fois plus brillante que toutes les émissions radio des magnétars de notre galaxie. Si cet événement s'était produit dans une autre galaxie, il aurait été impossible de le distinguer de certains des FRB plus faibles observés.

L'impulsion radio est arrivée pendant une rafale de rayons X, ce qui n'avait jamais

***CHIME (Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment) est un radiotélescope situé au Dominion Radio Astrophysical Observatory en Colombie Britannique.***

*(André Renard / CHIME Collaboration)*

été observé auparavant en association avec les FRB. Prises ensemble, les observations suggèrent fortement que le SGR 1935 a produit l'équivalent d'un FRB dans la Voie lactée, ce qui signifie que les magnétars d'autres galaxies produisent probablement au moins certains de ces signaux.

Pour avoir une preuve irréfutable de la connexion des magnétars, les chercheurs aimeraient trouver une même coïncidence entre une rafale de rayons X et un FRB extragalactique, probablement dans une des galaxies les plus proches. En attendant, les satellites X et gamma ainsi que les radiotélescopes comme CHIME et STARE2 continueront à surveiller le ciel.

## Un magnétar exceptionnel

*Basé sur un communiqué NASA*

Les observations du télescope spatial X Chandra confirment que le magnétar J1818.0-1607 est également un pulsar, c'est-à-dire qu'il émet des impulsions lumineuses régulières.

J1818.0-1607 a été découvert le 12 mars 2020 avec le télescope spatial Swift. C'était seulement le 31<sup>e</sup> magnétar connu parmi les quelque 3 000 étoiles à neutrons répertoriées.

Après des observations de suivi, les chercheurs ont déterminé que cet objet était exceptionnel pour plusieurs raisons. Il tourne plus vite que tous les autres magnétars, avec 1,4 rotation par seconde. La décroissance progressive de sa vitesse de rotation indique un âge d'environ 500 ans. Ce serait le plus jeune magnétar connu à ce jour.

Les observations de Chandra, obtenues moins d'un mois après la découverte avec Swift, ont révélé une source ponctuelle, entourée d'une émission diffuse de rayons X, proba-

blement causée par la réflexion des rayons X sur la poussière située à proximité.

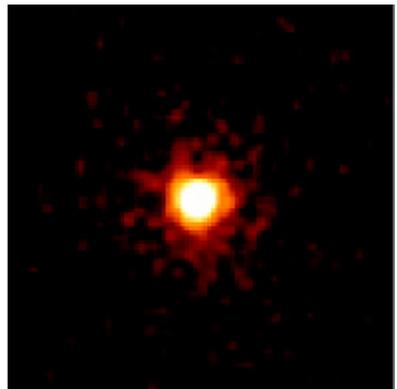
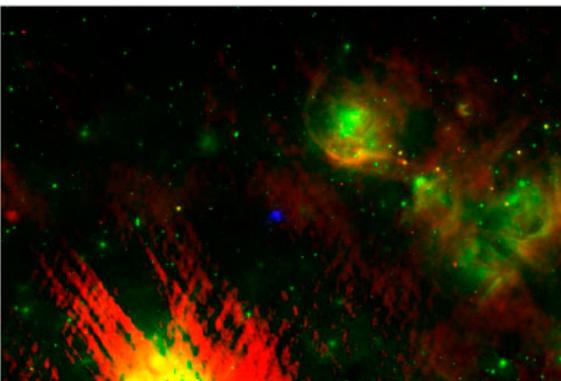
Le magnétar est situé près du plan de la Voie lactée, à une distance d'environ 21 000 années-lumière. D'autres observations de J1818.0-1607 avec des radiotélescopes, tels que le Karl Jansky Very Large Array (VLA), ont déterminé qu'il émet en radio. Cela implique qu'il a des propriétés similaires à celles d'un pulsar typique, un type d'étoile à neutrons qui émet des faisceaux de rayonnement qui sont détectés comme des impulsions d'émission répétées à chaque rotation. Seuls cinq magnétars, dont celui-ci, sont connus comme pulsars, ce qui constitue moins de 0,2 % de la population répertoriée des étoiles à neutrons.

L'efficacité avec laquelle J1818.0-1607 convertit son énergie de rotation en rayons X est en accord avec ce que l'on observe pour les autres pulsars.

L'explosion qui a créé un magnétar aussi jeune aurait dû laisser un champ de débris encore détectables. Pour déceler ce reste de supernova les astronomes ont examiné les données X de Chandra, celles de Spitzer en infrarouge et celles du VLA dans le domaine radio. En se basant sur les données du Spitzer

*Image composite de la région de J1818 avec les données radio à 20 cm en rouge, l'infrarouge à 24 μm en vert, et les rayons X à 0,5–7 keV en bleu. Le magnétar est au centre et le candidat rémanent de supernova, superposé à une région HII est au-dessus à droite, avec un arc caractéristique. Le champ de 1,5° effleure M17, la nébuleuse très brillante en bas à gauche. (H. Blumer & S. Safi-Harb, 2020)*

*Le magnétar J1818 et l'émission diffuse environnante dans la bande d'énergie allant de 0,5 à 7 keV. (H. Blumer & S. Safi-Harb, 2020)*





et du VLA, ils ont trouvé des preuves possibles de la présence d'un reste, mais à une distance relativement grande du magnétar. Afin de couvrir cette distance, le magnétar aurait dû se déplacer à des vitesses bien supérieures à celles des étoiles à neutrons connues les plus rapides. Même un âge beaucoup plus grand pour le magnétar ne permettrait pas de l'associer raisonnablement avec les vestiges de supernova.

*J1818, l'objet au centre de cette image de 28' de côté est le magnétar le plus jeune connu. On estime son âge à 500 ans. C'est aussi celui à la rotation la plus rapide, 1,4 tour par seconde. Il apparaît en pourpre, couleur assignée à l'image X superposée ici à des images infrarouges de WISE et Spitzer.*  
(NASA/CXC/Univ. of West Virginia/H. Blumer; JPL-CalTech/Spitzer)

## CK Vulpeculae

Basé sur des communiqué NOIRLab et ESO

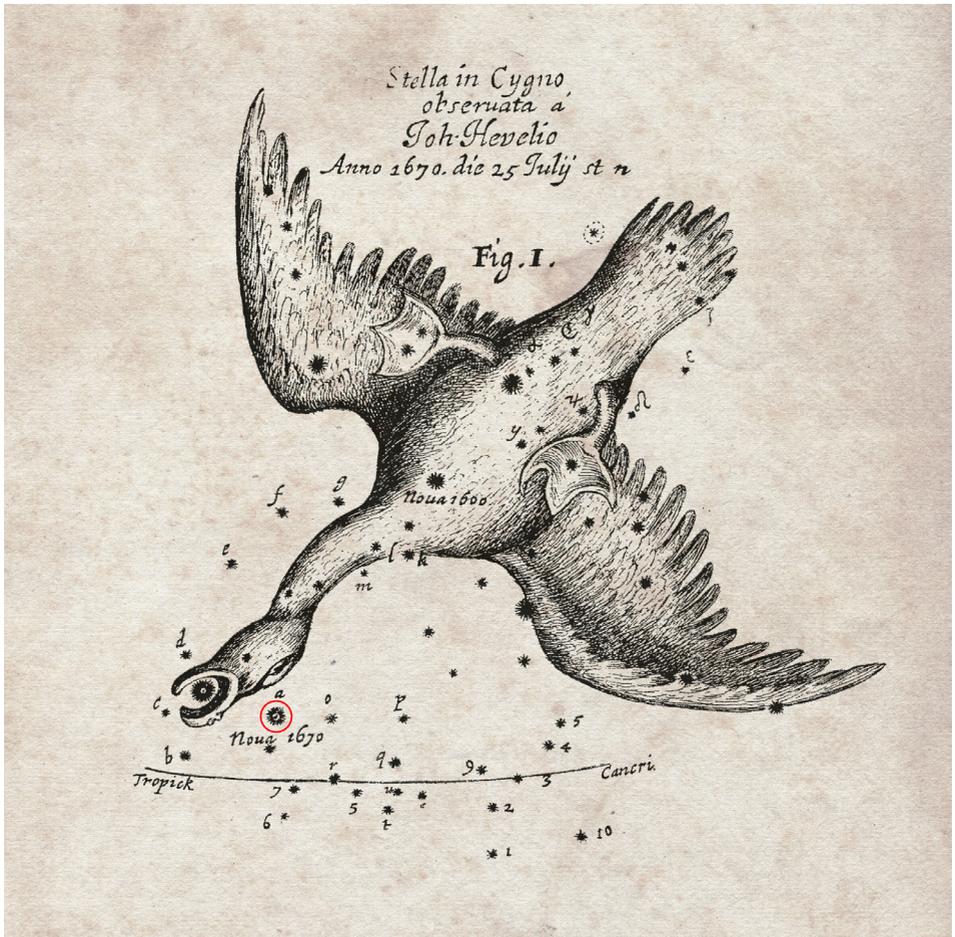
En 1670, le moine français Anthelme Voituret voyait une nouvelle étoile briller dans le Cygne<sup>1</sup> non loin d'Albireo. Au cours des mois suivants, l'étoile est devenue presque aussi brillante que l'Étoile polaire et a été suivie par certains des plus grands astronomes de l'époque avant de disparaître de la vue au bout d'un an. Parmi les astronomes du XVII<sup>e</sup> siècle qui l'ont observée, citons Johannes Hevelius et Giovanni

*La position de CK Vulpeculae est indiquée par un cercle rouge sur cette carte du Cygne. Elle a été relevée par le célèbre astronome Hevelius et publiée par la Royal Society d'Angleterre dans leurs Philosophical Transactions.*

*C'est également Hevelius qui a créé vers 1690 la constellation du « Petit Renard et de l'Oie », plus tard devenue simplement « Petit Renard ».*

*(Royal Society)*

<sup>1</sup> Dans la constellation actuelle du Petit Renard.



Domenico Cassini, l'inventeur de quatre lunes de Saturne.

Après sa disparition du ciel en 1671, de nombreuses tentatives d'identification ont échoué au cours des siècles suivants, dont certaines ont été menées par des astronomes renommés tels que Halley, Pickering et Humason.

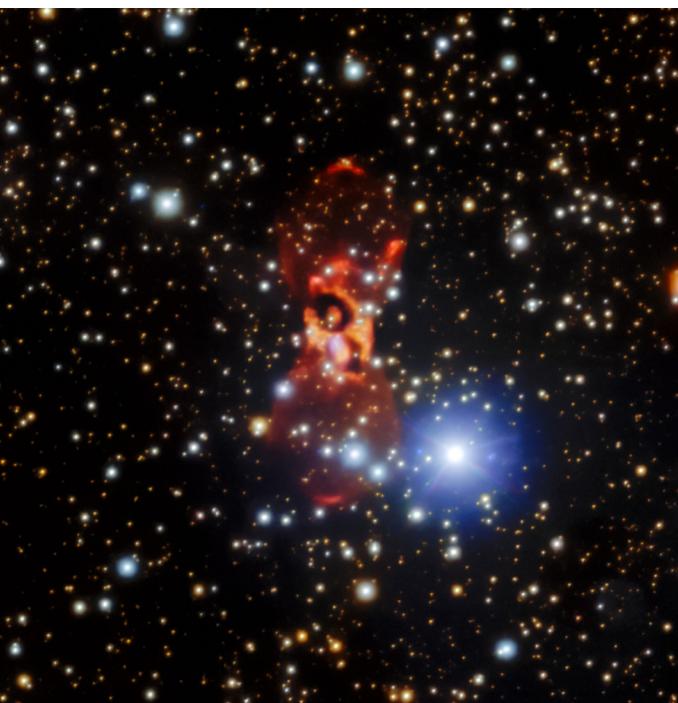
La nouvelle étoile a finalement pris le nom de CK Vulpeculae et a longtemps été considérée comme le premier exemple documenté de nova – une explosion dans une binaire serrée dont l'un des membres est une naine blanche.

Des résultats récents ont remis en question cette classification de CK Vulpeculae en tant que nova. En 2015, des astronomes ont suggéré que l'apparition de Vulpeculae CK en 1670 marquait la collision de deux étoiles normales (voir *Le Ciel*, mai 2015, 245). Un peu plus de trois ans plus tard, les mêmes astronomes ont proposé l'hypothèse qu'une des

étoiles était en fait une géante rouge dilatée, en se basant sur leur découverte d'un isotope radioactif de l'aluminium dans les environs immédiats du site de l'explosion de 1670. Pour compliquer le tableau, d'autres astronomes ont suggéré qu'il s'agissait de la fusion entre une naine brune et une naine blanche.

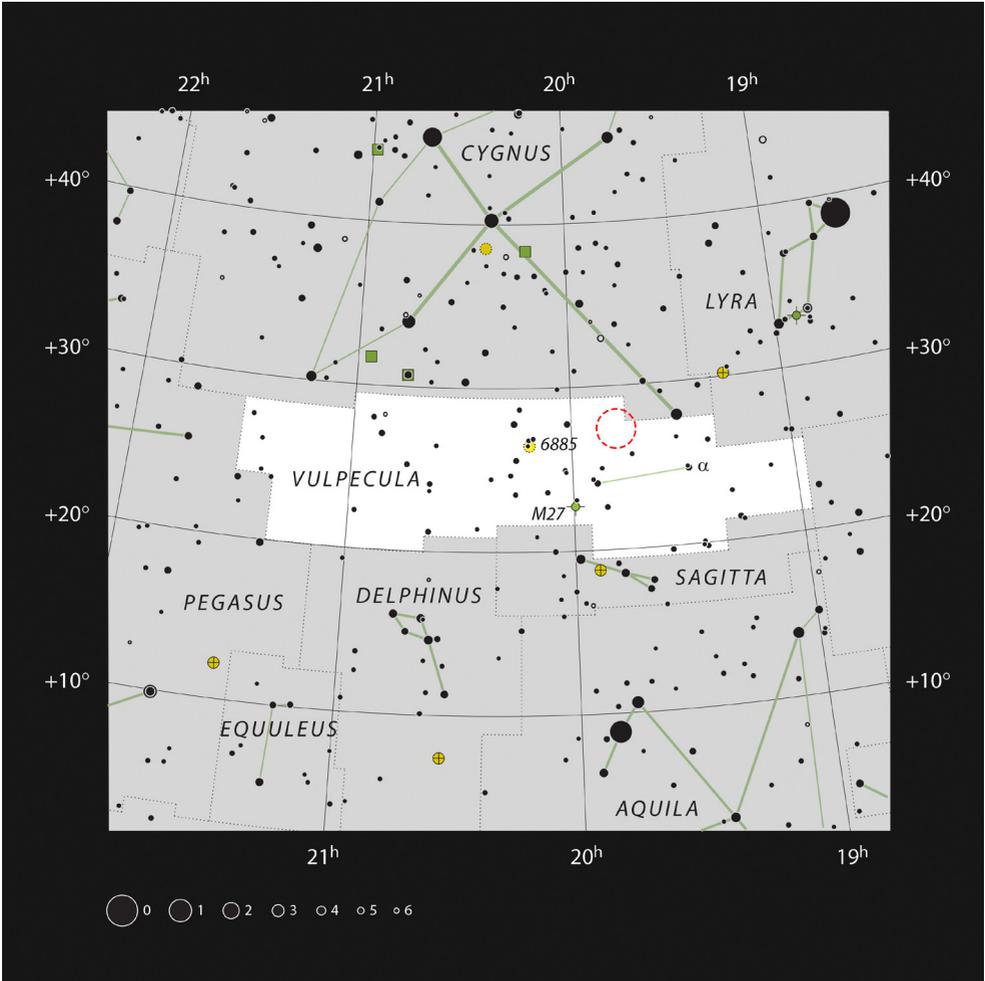
De nouvelles observations ont été faites en infrarouge avec le télescope Gemini et ont porté sur la nébuleuse entourant CK Vul. Elles révèlent que l'objet est beaucoup plus éloigné qu'on ne le pensait et a éjecté du gaz à des vitesses bien plus élevées que ce qui avait été signalé précédemment. La clé de cette découverte a été la mesure des décalages Doppler des raies du fer sur les bords extérieurs de la nébuleuse, montrant des vitesses allant jusqu'à 7 millions de kilomètres/heure. La nébuleuse se développe beaucoup plus rapidement que ce que les observations précédentes avaient suggéré. Cela a laissé entrevoir une histoire différente de celle qui avait été théorisée.

La comparaison d'images prises au cours des dix dernières années permet de mesurer l'amplitude de l'expansion. On a pu ainsi déterminer que CK Vulpeculae se trouve à environ 10 000 années-lumière de nous, soit environ cinq fois plus loin que ce que l'on pensait. Cela im-



*La nébuleuse entourant CK Vulpeculae. Les astronomes ont mesuré la vitesse et le déplacement des deux petits arcs rougeâtres aux 1/4 et 3/4 de la hauteur de l'image pour déterminer l'expansion de la nébuleuse. Elle est cinq fois plus rapide qu'on ne le pensait.*

*(International Gemini Observatory/NOIRLab/NSF/AURA; Travis Rector/University of Alaska Anchorage, Jen Miller/Gemini Observatory/NSF's NOIRLab, Mahdi Zamani & Davide de Martin)*



plique que l'explosion de 1670 était beaucoup plus brillante, libérant environ 25 fois plus d'énergie que ce qui avait été estimé précédemment. La quantité d'énergie libérée signifie que l'événement qui a causé l'apparition soudaine de CK Vulpeculae en 1670 était bien plus violent qu'une simple nova. Cette découverte place CK Vulpeculae à mi-chemin entre une nova et une supernova. C'est l'un des très rares objets de ce type dans la Voie lactée et la cause – ou les causes – des explosions de cette classe intermédiaire d'objets restent inconnues.

**Carte du Petit Renard montrant la localisation de CK Vul 1670 marquée d'un cercle rouge. (ESO, IAU, and Sky & Telescope)**

L'aspect visuel de la nébuleuse CK Vulpeculae et les vitesses élevées observées pourraient aider les astronomes à reconnaître les vestiges d'événements similaires – dans la Voie lactée ou dans des galaxies extérieures – qui se sont produits dans le passé.