

L'astronomie dans le monde

Une variable cataclysmique rapide

Basé sur un communiqué MIT

La moitié des étoiles sont doubles ou multiples. Certaines doubles sont plus rapprochées que la Terre et la Lune. Les astronomes en ont trouvé une, ZTF J1813+4251, si serrée que les composantes tournent l'une autour de l'autre en 51 minutes. Le système semble faire partie d'une classe rare de binaires connue sous le nom de « variable cataclysmique », dans laquelle une étoile semblable à notre Soleil tourne en orbite serrée autour d'une naine blanche – le noyau chaud et dense d'une étoile morte.

Une variable cataclysmique a lieu lorsqu'une étoile, devenue naine blanche, est si proche de sa compagne qu'elle peut en siphonner (accréter) l'enveloppe. Ce processus peut s'accompagner d'éruptions lumineuses, qui sont à l'origine de la dénomination.

Le système récemment découvert a l'orbite la plus courte détectée à ce jour. Contrairement à d'autres systèmes de ce type observés dans le passé, les astronomes ont capturé cette variable cataclysmique alors que les étoiles s'éclipsaient l'une l'autre à plusieurs reprises, ce qui a permis à l'équipe de mesurer précisément les propriétés de chaque étoile.

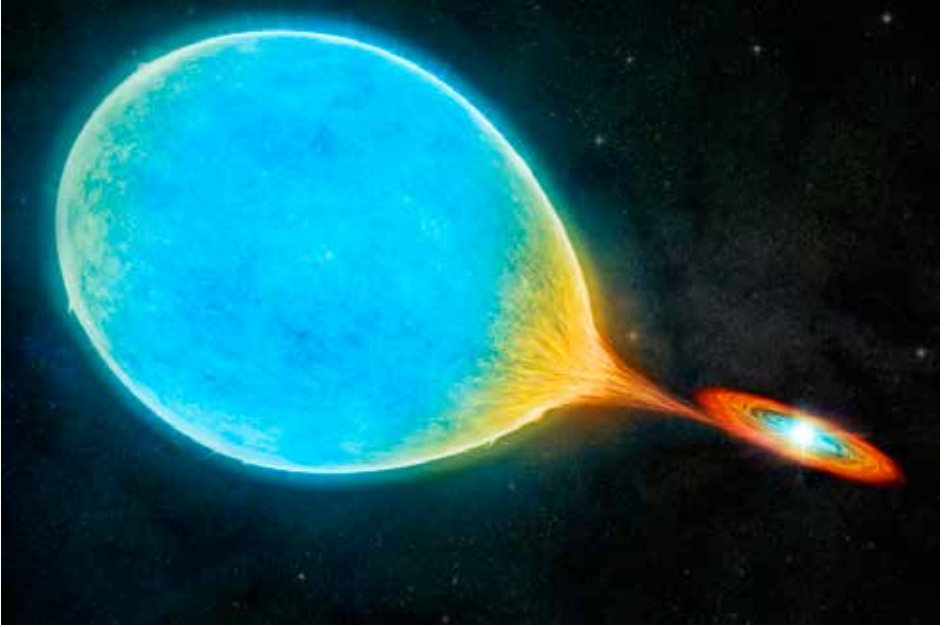
Grâce à ces mesures, les chercheurs ont effectué des simulations de l'évolution du système. Ils en concluent que les étoiles sont actuellement en transition et que la compagne a déjà donné à la naine blanche une grande partie de son atmosphère d'hydrogène. Elle sera finalement réduite à un noyau essentiellement dense et riche en hélium. Dans 70 millions d'années, les étoiles se rapprocheront

encore plus l'une de l'autre, avec une orbite ultracourte de seulement 18 minutes, avant de commencer à se dilater et à s'éloigner.

Il y a plusieurs dizaines d'années, des chercheurs ont prédit que de telles variables cataclysmiques devraient passer à des orbites ultracourtes. C'est la première fois qu'un tel système de transition a été observé directement.

Les astronomes ont découvert le nouveau système au sein d'un vaste catalogue d'étoiles observé par le Zwicky Transient Facility (ZTF), une étude qui utilise une caméra fixée à un télescope de l'observatoire Palomar en Californie pour prendre des photos haute résolution de larges pans du ciel. Un milliard d'étoiles ont été ainsi observées plus de mille fois au fil des jours, des mois et des années. Les astronomes ont passé le catalogue au peigne fin, à la recherche de signaux de systèmes aux orbites ultracourtes, et particulièrement des étoiles qui semblaient clignoter de manière répétée, avec une période de moins d'une heure – une fréquence qui signale généralement un système d'au moins deux objets en orbite étroite, l'un transitant périodiquement devant l'autre.

La recherche s'est concentrée sur ZTF J1813+4251, un système situé à environ 3 000 années-lumière de la Terre, dans la constellation d'Hercule. Les astronomes ont poursuivi l'étude du système en utilisant l'observatoire W.M. Keck à Hawaii et le Gran Telescopio Canarias en Espagne. Ils ont constaté que le système était exceptionnellement « propre », c'est-à-dire qu'ils pouvaient clairement voir sa lumière changer à chaque éclipse. Grâce à cette clarté, ils ont pu mesurer avec précision la masse et le rayon de chaque objet, ainsi que leur période orbitale.



Ils ont découvert que le premier objet était probablement une naine blanche, d'une taille d'un centième de celle du Soleil et d'environ la moitié de sa masse. Le second objet était une étoile semblable au Soleil, proche de la fin de sa vie, d'une taille et d'une masse dix fois inférieures à celles du Soleil (environ la taille de Jupiter).

Pourtant, quelque chose ne collait pas. Cette étoile ressemblait au Soleil, mais le Soleil ne peut pas être placé sur une orbite de moins de huit heures. L'explication est venue rapidement. Il y a près de 30 ans, des chercheurs avaient prédit que les systèmes à orbite ultra-rapide devaient exister en tant que variables cataclysmiques. Au fur et à mesure que la naine blanche gravite autour de l'étoile semblable au Soleil et dévore son hydrogène, la compagne devrait s'éteindre, laissant un noyau d'hélium suffisamment lourd pour maintenir l'étoile morte sur une orbite ultracourte et serrée.

ZTF J1813+4251 est donc probablement une variable cataclysmique, en train de passer d'un corps riche en hydrogène à un corps riche en hélium, une découverte qui confirme les prédictions des astronomes.

*Illustration d'une binaire cataclysmique, une naine blanche tournant près d'une étoile semblable au Soleil.
(M.Weiss / Center for Astrophysics / Harvard & Smithsonian)*

Un PéVatron : une source de rayons cosmiques extrêmes

Basé sur un communiqué NASA

Les astronomes ont longtemps cherché le lieu de naissance de certains des protons les plus énergétiques de notre galaxie. Une étude basée sur 12 ans de données provenant du télescope spatial Fermi de la NASA confirme qu'un vestige de supernova est un tel endroit.

Fermi a montré que les ondes de choc générées par l'explosion de supernovæ propulsent les particules à des vitesses comparables à celle de la lumière. Ces particules sont essentiellement des protons, mais peuvent inclure d'autres noyaux atomiques et des électrons. Comme elles portent toutes une charge électrique, leur trajectoire se modifie en traversant le champ magnétique de notre galaxie.

Piégées par des champs magnétiques chaotiques, les particules traversent à plusieurs reprises l'onde de choc de la supernova, gagnant en vitesse et en énergie à chaque passage. Finalement, le vestige ne peut plus les retenir et elles s'envolent dans l'espace interstellaire.

Les théoriciens pensent que les protons des rayons cosmiques les plus énergétiques

de la Voie lactée atteignent un million de milliards d'électrons-volts, soit 1 PeV.

Comme nous ne pouvons plus savoir de quelles directions ils proviennent, leurs sources – les PéVatrons – sont donc masquées.

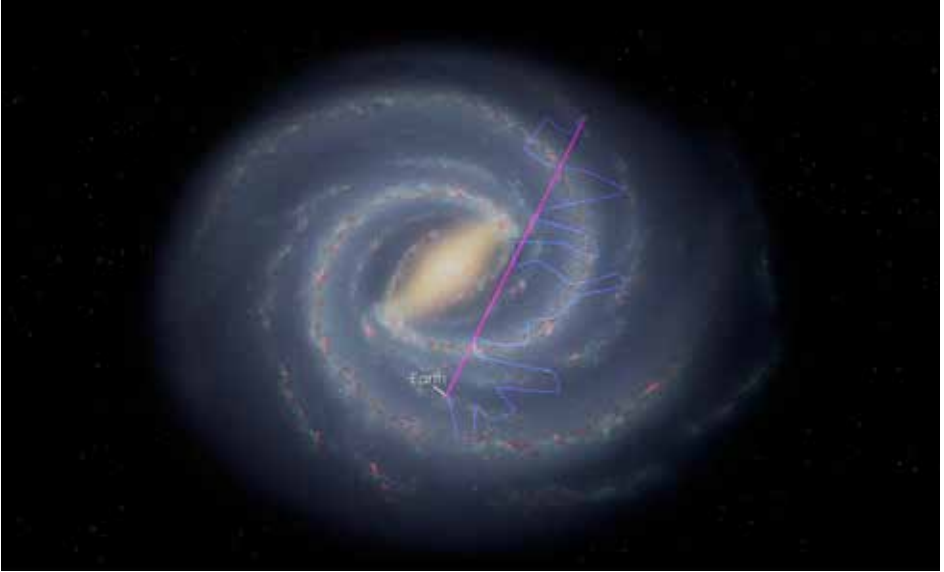
Les rayons gamma ne sont pas affectés par les champs magnétiques et des rayons gamma sont produits près des restes de supernovæ lorsque les particules atomiques entrent en collision avec le gaz interstellaire.

Les astronomes ont identifié quelques PéVatrons présomés, dont un au centre de notre galaxie. Naturellement, les restes de supernova sont en tête de liste des candidats. Pourtant, sur les quelque 300 vestiges connus, seuls quelques-uns ont émis des rayons gamma d'une énergie suffisamment élevée.

Un objet particulier a attiré l'attention des astronomes, le reste de supernova G106.3+2.7. Ce nuage d'aspect cométaire, distant de 2 600 années-lumière dans la constellation de Céphée, contient un pulsar brillant à son extrémité nord. Les astronomes pensent que les deux objets se sont formés lors de la même explosion.

***Illustration du télescope spatial Fermi à rayons gamma de la NASA.
(NASA's Goddard Space Flight Center
Conceptual Image Lab)***



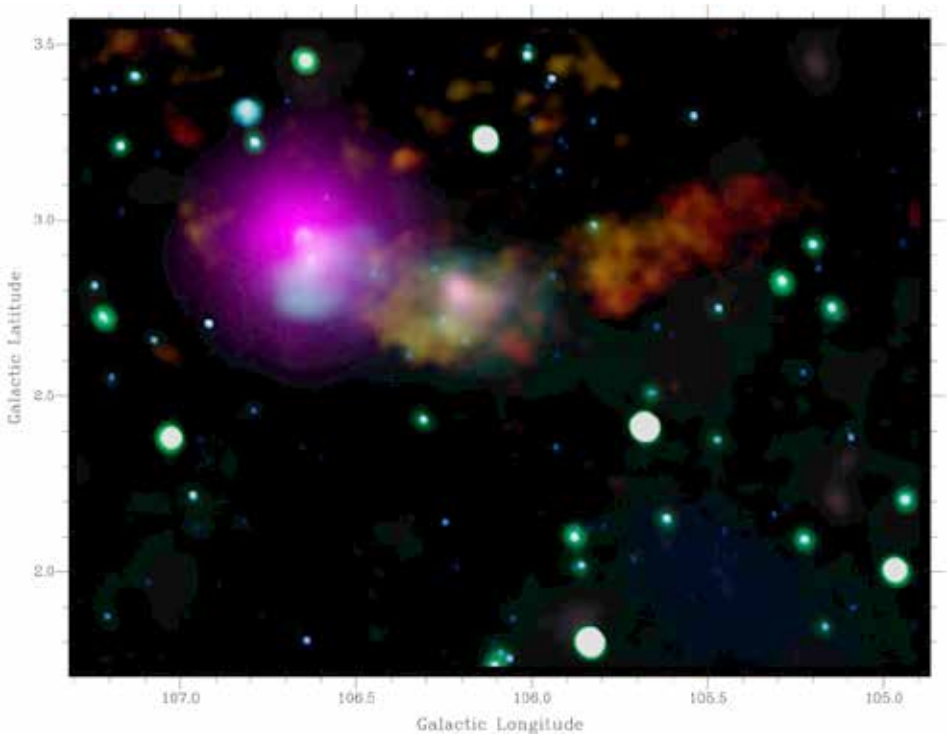


Le télescope Fermi a détecté des rayons gamma d'un milliard d'électrons-volts (GeV) provenant de la queue du nuage. Le réseau VERITAS (Very Energetic Radiation Imaging Telescope Array System) de l'observatoire Fred Lawrence Whipple, dans le sud de l'Arizona, a enregistré des rayons gamma d'une énergie encore plus élevée venant de la même direction. L'observatoire High-Altitude Water Cherenkov Gamma-Ray Observatory au Mexique et le Tibet AS-Gamma Experiment en Chine ont détecté des photons d'une énergie de 100 billions d'électrons-volts (TeV) dans la zone étudiée par Fermi et VERITAS.

Cet objet suscite un intérêt considérable depuis un certain temps déjà, mais pour l'identifier avec certitude comme PéVatron, il fallait prouver qu'il accélère bien des protons. En effet, le problème est que des électrons accélérés à quelques centaines de TeV peuvent produire la même émission. Grâce aux 12 années de données Fermi, les astronomes pensent avoir démontré que G106.3+2.7 est bien un PéVatron.

Comme les protons, les noyaux et les électrons des rayons cosmiques portent une charge électrique, leur direction change lorsqu'ils traversent le champ magnétique de la Galaxie. Lorsque les particules nous atteignent, leur trajectoire peut être complètement brouillée, et les astronomes ne peuvent pas remonter jusqu'à leur source. Les rayons gamma – γ compris ceux produits par les rayons cosmiques qui interagissent avec la matière interstellaire – voyagent directement vers nous depuis leurs sources.
(NASA's Goddard Space Flight Center)

Le pulsar, J2229+6114, émet ses propres rayons gamma à la façon d'un phare tournant, et c'est ce rayonnement qui domine jusqu'aux énergies de quelques GeV. La majeure partie de cette émission se produit dans une moitié de la rotation du pulsar. Les astronomes ont masqué le pulsar en analysant uniquement les rayons gamma provenant de l'autre partie du cycle. Il est apparu qu'en dessous de 10 GeV, il n'y a pas d'émission significative provenant de la queue du nuage.



Au-dessus de cette énergie, l'interférence du pulsar est négligeable et la source supplémentaire devient facilement apparente. Une analyse détaillée privilégie largement les protons PeV comme étant les particules à l'origine de cette émission de rayons gamma.

Jusqu'à présent, G106.3+2.7 est unique, mais il pourrait s'avérer être le membre le plus brillant d'une nouvelle population de restes de supernova qui émettent des rayons gamma de plusieurs TeV. D'autres spécimens pourraient être révélés par les futures observations de Fermi et des observatoires de rayons gamma à très haute énergie.

Les observations du télescope spatial Fermi dans les rayons gamma (en magenta et rose) confirment qu'un vestige de supernova, G106.3+2.7, est responsable de l'accélération de certains des protons les plus énergétiques de notre galaxie. Dans cette vue multi-longueurs d'onde, l'émission radio est en bleu et vert, tandis que le jaune, l'orange et le rouge révèlent les ondes radio d'un vaste nuage de gaz. Au centre, le rose révèle l'endroit où les protons stimulés par l'onde de choc de la supernova frappent le gaz, émettant des rayons gamma.

Il a fallu douze années de données Fermi pour identifier ces particules comme des protons. (Jayanne English /University of Manitoba, NASA/Fermi/Fang et al. 2022, and Canadian Galactic Plane Survey/DRAO/FCRAO)

Bébé étoile dans le Petit Nuage de Magellan

Basé sur un communiqué Osaka Metropolitan University

Les éléments lourds présents dans la matière interstellaire ont un impact important sur le mécanisme de formation des étoiles. Dans l'Univers primitif, l'abondance des éléments lourds était plus faible qu'actuellement, car la nucléosynthèse n'avait pas encore pu en produire beaucoup dans les étoiles.

On ne comprend pas bien comment la formation d'étoiles dans un tel environnement diffère de la formation d'étoiles actuelle. Pour cerner le problème, les astronomes ont utilisé le réseau ALMA pour observer de jeunes objets stellaires de masse élevée dans un milieu pauvre en éléments lourds, le Petit Nuage de Magellan.

Le Petit Nuage de Magellan est en effet caractérisé par une faible abondance d'éléments plus lourds que l'hélium et, en cela, il ressemble beaucoup aux galaxies d'il y a 10 milliards d'années. Sa faible distance en permet une observation détaillée. ALMA a permis aux chercheurs de détecter un flux gazeux bipolaire s'échappant d'une étoile en formation, Y246. Ils ont déterminé que ce

flux moléculaire avait une vitesse de plus de 54 000 km/h dans les deux directions.

Dans l'Univers actuel, on pense que les bébés étoiles voient leur rotation freinée par de tels flux moléculaires pendant leur contraction gravitationnelle. La diminution de l'effet centrifuge accélère la croissance de l'étoile.

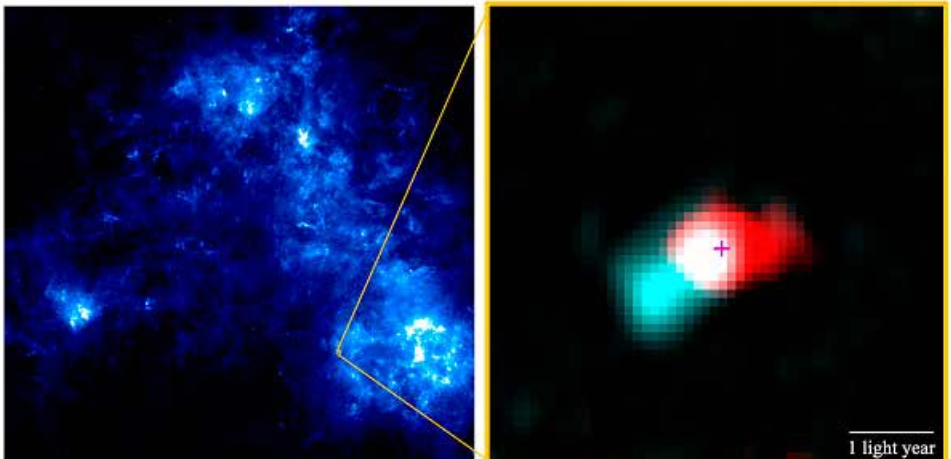
La découverte du même phénomène dans le Petit Nuage de Magellan suggère que ce processus de formation d'étoiles était courant au cours des 10 derniers milliards d'années. L'équipe s'attend également à ce que cette découverte apporte de nouvelles perspectives dans l'étude des étoiles et de la formation des planètes.

À gauche : Image infrarouge lointaine à grand champ du Petit Nuage de Magellan obtenue avec l'observatoire spatial Herschel.

À droite : Une image du flux moléculaire sortant de la petite étoile Y246. Les couleurs cyan et rouge montrent le gaz décalé vers le bleu et le gaz décalé vers le rouge observé dans l'émission de monoxyde de carbone.

La croix indique la position de la petite étoile.

(ALMA, ESO/NAOJ/NRAO ; W Tokuda et al. ESA/Herschel)



Bételgeuse

Basé sur un communiqué université de Jéna

La luminosité, la taille et la couleur des étoiles changent au cours de leur existence, en même temps que progresse la fusion des noyaux atomiques dans leur fournaise centrale. On peut déduire de ces propriétés des informations importantes sur l'âge et la masse des étoiles. Les étoiles dont la masse est nettement supérieure à celle du Soleil peuvent avoir des couleurs allant du bleu-blanc au rouge. La transition du rouge au jaune et à l'orange est relativement rapide à l'échelle de temps astronomique, au point que des astronomes ont réussi à détecter et à dater un tel changement de couleur dans une étoile brillante. Grâce à plusieurs sources historiques, ils ont découvert que Bételgeuse – l'étoile géante rouge brillante située en haut à gauche de la constellation d'Orion – était jaune-orange il y a environ 2000 ans.

L'astronome de la cour chinoise Sima Qian a écrit vers 100 avant J.-C. sur les couleurs des étoiles : le blanc est comme Sirius, le rouge comme Antares, le jaune comme Bételgeuse, le bleu comme Bellatrix. D'après ces indications, on peut conclure que Bételgeuse avait à l'époque une couleur située entre celle de Sirius et Bellatrix, de couleur bleu-blanc, et celle d'Antares, de couleur rouge. De façon indépendante, l'érudit romain Hyginus a décrit, quelque 100 ans plus tard, que la couleur de Bételgeuse ressemblait au jaune-orange de Saturne.

On peut donc quantifier l'ancienne couleur de Bételgeuse avec encore plus de précision. D'autres auteurs de l'Antiquité comme Ptolémée apportent d'autres indications selon lesquelles Bételgeuse n'appartenait pas, à leur époque, au groupe des étoiles rouges brillantes comme Antares (dans la constellation du Scorpion) et Aldébaran (dans le Taureau). Le nom grec Antares signifie « comme Mars » en couleur. L'étoile était en effet signalée comme rouge et comparée à Mars depuis des millénaires par les cultures du monde entier. D'après une déclaration de l'astronome danois Tycho Brahe, on peut conclure qu'au 16^e siècle, Bételgeuse était plus rouge qu'Aldébaran. Aujourd'hui, Bételgeuse est comparable en luminosité et en couleur à Antares.

Que nous apprennent ces transmissions historiques sur Bételgeuse? Le fait même qu'elle ait changé de couleur en l'espace de deux millénaires, passant du jaune-orange au rouge, nous indique, avec les calculs théoriques, qu'elle a 14 fois la masse de notre Soleil – la masse est le principal paramètre définissant l'évolution des étoiles. Bételgeuse a maintenant 14 millions d'années et se trouve dans ses dernières phases d'évolution. Dans environ 1,5 million d'années, elle explosera finalement en supernova.



***Bételgeuse orne
l'épaule droite
d'Orion.
(Stellarium)***

NGC 346

Basé sur un communiqué ESA

Les chercheurs ont été étonnés de découvrir de jeunes étoiles s'enroulant en spirale au centre d'un amas massif d'étoiles dans le Petit Nuage de Magellan, une galaxie satellite de la Voie lactée. Le bras extérieur de la spirale de cette immense pouponnière d'étoiles aux formes étranges – appelée NGC 346 – pourrait alimenter la formation d'étoiles dans un mouvement de gaz et d'étoiles semblable à une rivière. Selon les chercheurs, il s'agit d'un moyen efficace d'alimenter la naissance d'étoiles.

Le Petit Nuage de Magellan a une composition chimique plus simple que celle de la Voie lactée, ce qui le rend semblable aux galaxies que l'on trouve dans l'Univers plus jeune, lorsque les éléments plus lourds étaient plus rares. De ce fait, les étoiles du Petit Nuage de Magellan brûlent plus intensément et s'épuisent plus vite que celles de la Voie lactée. Par chance, ce substitut de l'Univers primitif n'est distant que de 200 000 années-lumière, c'est l'un de nos plus proches voisins galactiques.

*NGC 346 vu par Hubble.
(NASA, ESA, A. James/STScI)*





Le Petit Nuage de Magellan avec, en bas à droite, l'amas globulaire du Toucan (47 Tuc). NGC 346 est le point le plus brillant de la petite galaxie. (G. Brammer/ESO)

Apprendre comment les étoiles se forment dans le Petit Nuage de Magellan permet de comprendre comment une tempête de naissances d'étoiles a pu se produire au début de l'histoire de l'Univers, lorsqu'il subissait un « baby-boom » environ deux à trois milliards d'années après le Big Bang (l'Univers a maintenant 13,8 milliards d'années).

Les nouveaux résultats montrent que le processus de formation des étoiles y est le même que dans la Voie lactée.

D'un diamètre de 150 années-lumière seulement, NGC 346 a une masse de 50 000 soleils. Sa forme curieuse et un rythme rapide de formation d'étoiles ont laissé les astronomes perplexes. Il a fallu la puissance combinée du télescope spatial Hubble et du Very Large Telescope (VLT) de l'ESO pour élucider le comportement de ce nid d'étoiles.

Les étoiles sont les machines qui sculptent l'Univers. Il n'y aurait pas de vie sans les étoiles, et pourtant nous ne comprenons pas complètement comment elles se

forment. Nous avons plusieurs modèles qui font des prédictions et certaines de ces prédictions sont contradictoires. Nous voulons déterminer ce qui régit le processus de formation des étoiles, car ce sont les lois dont nous avons besoin pour comprendre ce que nous voyons dans l'Univers primitif.

Les chercheurs ont déterminé le mouvement des étoiles de NGC 346 de deux manières différentes. À l'aide de Hubble, les astronomes ont mesuré les changements de position des étoiles sur une période de 11 ans. Les étoiles de cette région se déplacent à une vitesse moyenne de 3 200 kilomètres par heure, ce qui signifie qu'en 11 ans, elles se déplacent de 310 millions de kilomètres. C'est environ deux fois la distance entre la Terre et le Soleil.

Vu la distance, cela signifie que le mouvement observé est très faible et donc difficile à mesurer. Ces observations extraordinairement précises n'ont été possibles que grâce à la résolution et la haute sensibilité de Hubble. De plus, l'historique des observations de Hubble, qui s'étend sur trois décennies, fournit aux astronomes une base de référence pour suivre les mouvements célestes les plus infimes au fil du temps.

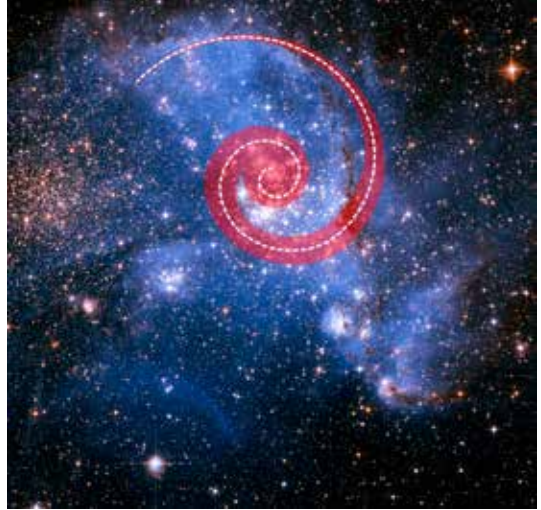
La seconde équipe a utilisé l'instrument MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer) du VLT pour mesurer la vitesse radiale qui détermine si un objet s'approche ou s'éloigne d'un observateur.

Les deux méthodes complètement indépendantes, avec des installations différentes, ont conduit à la même conclusion. Avec Hubble, on voit le déplacement des étoiles dans le plan du ciel et, avec MUSE, on voit le mouvement du gaz dans la troisième dimension, et cela confirme la théorie selon laquelle tout est en spirale vers l'intérieur.

Une spirale est la façon naturelle d'alimenter la formation d'étoiles de l'extérieur vers le centre de l'amas. C'est le moyen le plus efficace pour que les étoiles et le gaz alimentant davantage la formation d'étoiles puissent se déplacer vers le centre.

La moitié des données Hubble utilisées pour cette étude de NGC 346 sont des archives. Les premières observations ont été effectuées il y a 11 ans. Elles ont été récemment répétées pour retracer le mouvement des étoiles au fil du temps. Compte tenu de la longévité du télescope, les archives de données Hubble contiennent désormais plus de 32 ans de données astronomiques, ce qui permet de réaliser des études à long terme sans précédent.

Les archives de Hubble sont une vraie mine d'or. Il y a tellement de régions de formation d'étoiles intéressantes que Hubble a observées au fil des ans. Étant donné que Hubble fonctionne si bien, nous pouvons



Les astronomes ont montré que la forme curieuse de l'amas NGC 346 est en partie due aux étoiles et au gaz qui se déplacent en spirale vers le centre, dans un mouvement semblable à celui d'une rivière. Ce mouvement en spirale est le moyen le plus efficace d'alimenter la formation d'étoiles de l'extérieur vers le centre de l'amas.

(NASA, ESA, Andi James / STScI)

répéter ces observations. Cela peut vraiment faire progresser notre compréhension de la formation des étoiles.

Les observations effectuées à l'aide du télescope spatial James Webb de la NASA/ESA/CSA devraient permettre de résoudre les étoiles de masse inférieure de l'amas, donnant ainsi une vision plus globale de la région. Pendant la durée de vie de Webb, les astronomes pourront répéter cette expérience et mesurer le mouvement des étoiles de faible masse. Ils pourront alors comparer les étoiles de forte masse et les étoiles de faible masse pour enfin connaître toute l'étendue de la dynamique de cette pouponnière.

Habitabilité

Basé sur un communiqué UCR

À l'aide de modèles détaillés, les chercheurs ont découvert qu'une augmentation de l'excentricité de l'orbite de Jupiter induirait de grands changements dans l'orbite de la Terre. L'habitabilité de notre planète pourrait s'en trouver accrue.

Entre zéro et cent degrés Celsius, la surface de la Terre est habitable pour de multiples formes de vie. Si Jupiter poussait l'orbite de la Terre à devenir plus excentrique, certaines régions de la Terre qui sont actuellement sous le point de congélation se réchaufferaient.

L'habitabilité des planètes de type terrestre augmente avec l'excentricité d'un compagnon de type Jupiter, à condition que l'obliquité moyenne soit suffisamment faible pour maintenir des températures tempérées sur de grandes parties de sa surface tout au long de l'année orbitale. Un compagnon géant plus proche entraîne des cycles d'excentricité plus

courts d'une planète de type terrestre mais des cycles d'obliquité plus longs et de forte amplitude.

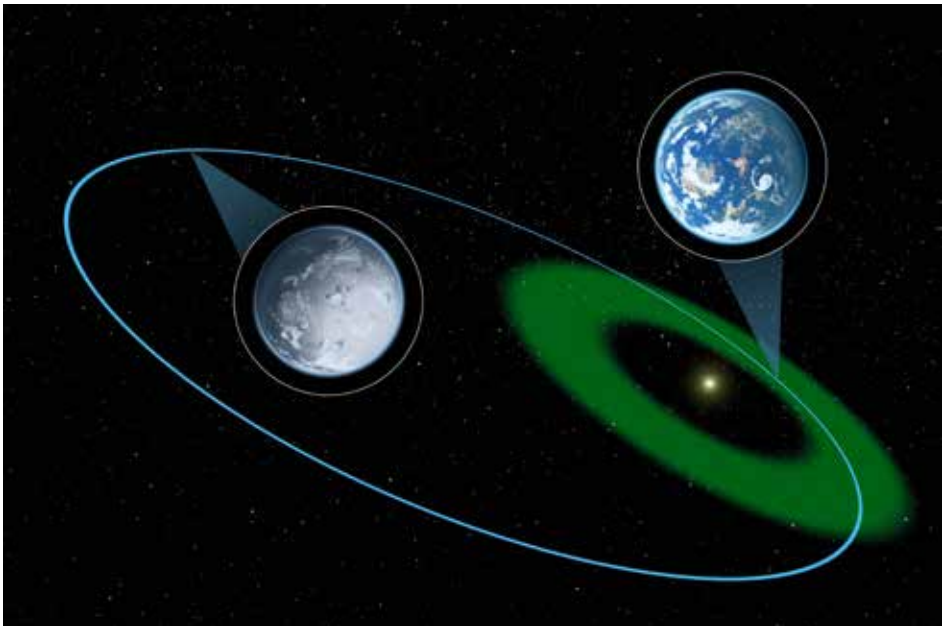
Ce résultat bouleverse certaines idées sur le Système solaire. Beaucoup étaient convaincus que la Terre est l'exemple même de la planète habitable et que tout changement de l'orbite de Jupiter ne pourrait être que mauvais pour la Terre.

Les chercheurs souhaitent appliquer cette découverte à la recherche de planètes habitables autour d'autres étoiles.

La première chose que les gens recherchent dans la quête d'exoplanètes est la zone habitable, la distance entre une étoile et

Une zone habitable, représentée en vert ici, est définie comme la région autour d'une étoile où l'eau liquide, un ingrédient essentiel à la vie telle que nous la connaissons, pourrait être présente.

(NASA-JPL/Caltech)



une planète pour voir s'il y a assez d'énergie pour avoir de l'eau liquide à la surface de la planète.

Au cours de son orbite, différentes parties d'une planète reçoivent plus ou moins de rayonnement. Certaines régions peuvent être agréables pendant une saison, et extrêmement chaudes ou froides pendant une autre.

Le fait d'avoir de l'eau à sa surface est une première mesure très simple, qui ne tient pas compte de la forme de l'orbite d'une planète ni des variations saisonnières qu'elle peut connaître.

Les télescopes existants sont capables de mesurer l'orbite d'une planète. Cependant, il

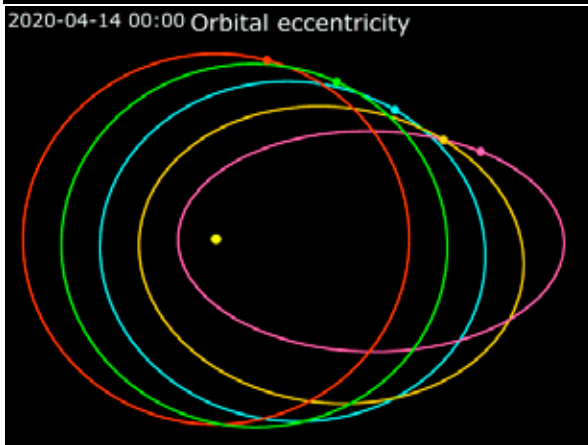
existe d'autres facteurs susceptibles d'affecter l'habitabilité, comme le degré d'inclinaison d'une planète par rapport à une étoile.

Cette même étude a révélé que si Jupiter était positionnée beaucoup plus près du Soleil, elle induirait une inclinaison extrême sur la Terre, ce qui amènerait de grandes zones de la surface de la Terre sous le point de congélation.

Il est difficile de mesurer l'inclinaison ou la masse d'une planète, c'est pourquoi les chercheurs aimeraient travailler sur des méthodes qui leur permettraient d'estimer également ces facteurs et de mieux estimer l'habitabilité.



Comparaison de la taille de Jupiter et de la Terre. (NASA)



Degrés variables d'excentricité orbitale. (NASA/JPL-Caltech)

BEASTies

Basé sur un communiqué University of Sheffield

Les chercheurs ont proposé une nouvelle explication pour un type de planètes récemment découvertes : des planètes semblables à Jupiter, situées à grande distance (des centaines de fois la distance entre la Terre et le Soleil) d'étoiles massives. Jusqu'à présent, leur formation était un mystère, car les étoiles massives émettent de grandes quantités de rayonnement ultraviolet qui empêchent les planètes en formation d'atteindre la taille de Jupiter.

De précédentes recherches avaient montré que, dans les pouponnières stellaires, les étoiles peuvent se voler des planètes ou capturer des planètes errantes. Il apparaît que ce processus fonctionne bien pour les étoiles massives qui peuvent ainsi capturer ou voler des planètes – que les astronomes appellent « BEASTies », B-star Exoplanet Abundance Study).

Des simulations informatiques montrent que la capture de BEASTies se produit en moyenne une fois au cours des 10 premiers

millions d'années de l'évolution d'une région de formation d'étoiles.

Les planètes BEASTies viennent s'ajouter à la myriade de systèmes exoplanétaires, qui présentent une incroyable diversité, depuis les systèmes planétaires autour d'étoiles semblables au Soleil, mais très différents du Système solaire, jusqu'aux planètes orbitant autour d'étoiles évoluées ou mortes.

La collaboration BEAST a découvert au moins deux planètes super joviennes en orbite autour d'étoiles massives. Si des planètes peuvent se former autour d'étoiles massives, il est difficile d'envisager que des planètes géantes gazeuses comme Jupiter et Saturne puissent se former dans des environnements aussi hostiles, où les radiations des étoiles peuvent évaporer les planètes avant leur formation complète.

Les simulations montrent que ces planètes peuvent être capturées sur des orbites très similaires à celles observées pour les BEASTies. Ces résultats renforcent l'idée que les planètes sur des orbites plus lointaines (plus de 100 fois la distance Terre-Soleil) peuvent ne pas être en orbite autour de leur étoile mère.

Illustration d'une planète géante capturée par une étoile bleue, massive.



Les enveloppes de WR140

*Basé sur un communiqué
University of Cambridge*

L'étoile WR140, située dans la constellation du Cygne, dégage épisodiquement des panaches de poussière qui s'étendent sur des milliers de fois la distance entre la Terre et le Soleil. Ces panaches de poussière, produits tous les huit ans, donnent aux astronomes une occasion unique d'observer comment la pression de radiation des étoiles affecte la matière environnante.

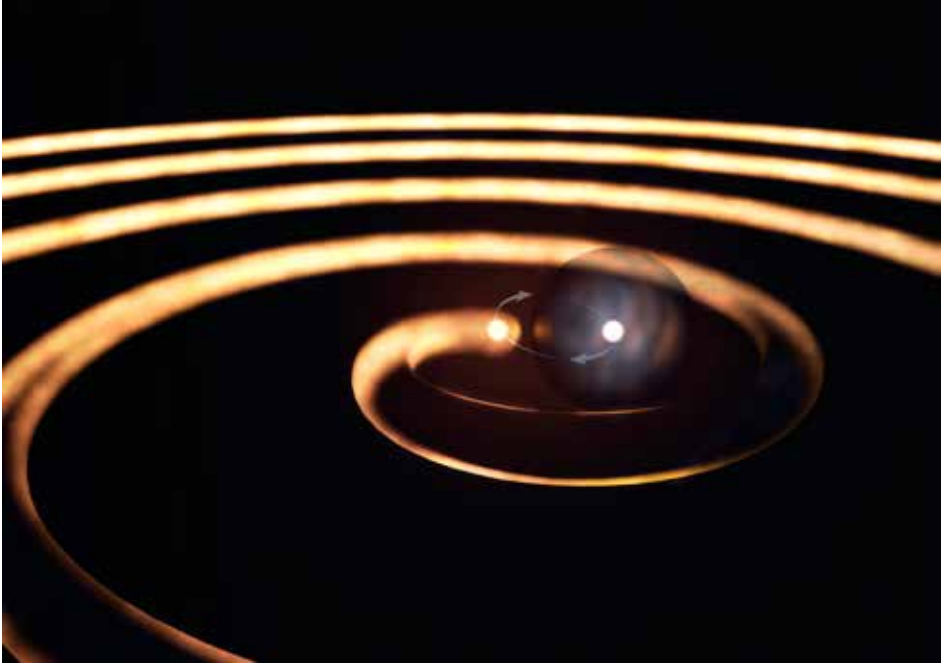
Les astronomes sont souvent témoins du résultat de ce phénomène lorsqu'ils observent des nuages qui se déplacent à grande vitesse, mais il est rare de prendre le processus d'accélération en flagrant délit. La lumière stellaire, et donc la pression radiative, s'estompent avec la distance à l'étoile, et d'autres forces prennent rapidement le dessus. Pour que l'accélération soit mesurable, la matière doit être raisonnablement proche de l'étoile et/ou la source de rayonnement doit être très intense, deux conditions qui sont réunies pour WR140.

WR140 est composée d'une étoile géante de type Wolf-Rayet et d'une étoile supergéante bleue encore plus grosse, liées gravitationnellement sur une orbite de huit ans. Cette binaire est surveillée depuis deux décennies par l'un des plus grands télescopes optiques du monde, à l'observatoire Keck d'Hawaii.

Toutes les étoiles émettent des vents, mais ceux des étoiles Wolf-Rayet peuvent être qualifiés d'ouragans stellaires. Les éléments tels que le carbone présents dans ces vents se condensent en suie, qui est suffisamment chaude pour briller dans l'infrarouge et être observable par les télescopes.



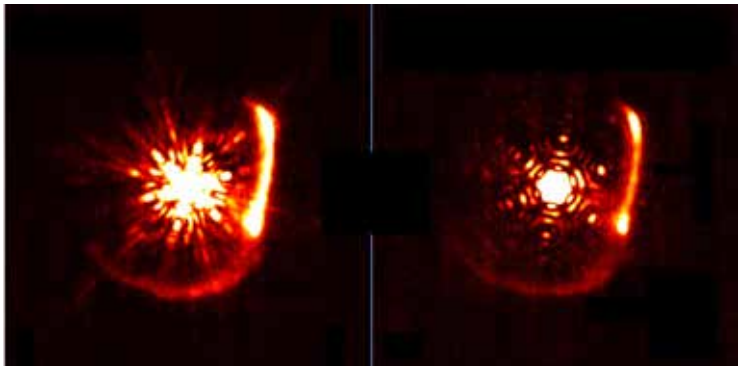
Pour la première fois, des astronomes ont observé directement comment la lumière intense des étoiles peut « pousser » la matière. Les chercheurs ont fait cette observation en suivant un panache géant de poussière généré par les interactions violentes entre deux étoiles massives. (NASA, ESA, ASC, STScI, JPL-Caltech)



*Vue d'artiste de WR140.
(Amanda Smith)*

Grâce à une technique d'interférométrie, les astronomes ont pu obtenir des images détaillées de WR140 et montrer que la poussière ne s'écoule pas de l'étoile avec le vent en une sphère régulière. Au lieu de cela, la poussière se forme là où les vents des deux étoiles entrent en collision, à la surface d'un front de choc conique situé entre elles.

*Image dans le proche infrarouge de la structure de la poussière circumstellaire en expansion de WR140.
(Yinuo Han & Peter Tuthill)*

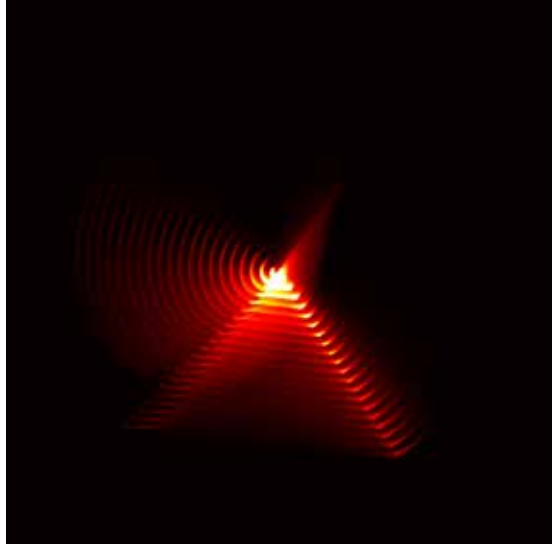


Le couple stellaire est en mouvement et le front de choc tourne avec lui. Le panache de suie s'enroule en spirale, de la même manière que des gouttelettes projetées par un arroseur de jardin forment une spirale.

WR140 a d'autres tours dans son sac. Les deux étoiles ne sont pas sur des orbites circulaires mais elliptiques, et la production de poussière s'active ou se désactive lorsque la binaire s'approche ou s'éloigne du périastre. En modélisant ces effets dans la géométrie tridimensionnelle du panache de poussière, les astronomes ont pu mesurer la localisation des grains de poussière dans l'espace.

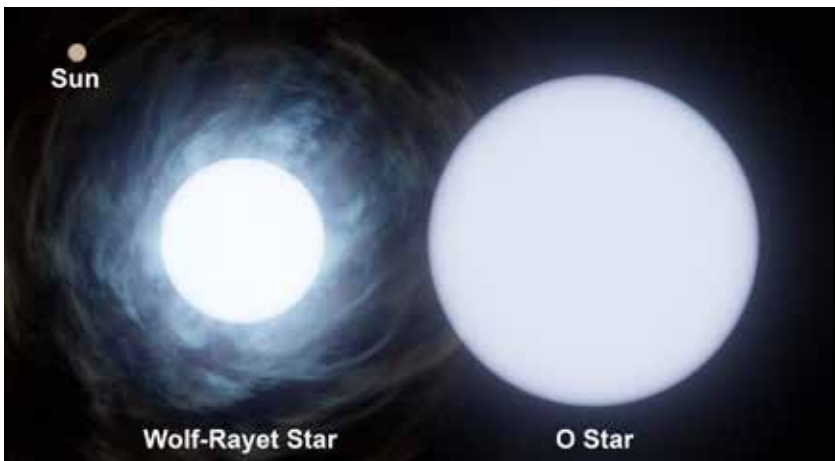
L'étoile expulse ainsi des anneaux de fumée tous les huit ans, comme un ensemble de poupées russes emboîtées. Parce que la poussière produite par la Wolf-Rayet est si prévisible et s'étend à de si grandes distances, elle a offert aux astronomes un laboratoire unique pour examiner la zone d'accélération.

En l'absence de forces extérieures, chaque enveloppe de poussière devrait gonfler à une vitesse constante, mais un tel modèle ne correspond pas aux observations. La discordance s'explique par le fait que la vitesse d'expansion n'est pas constante, mais s'accélère.



*Modèle 3D des coquilles de WR140 après 18 orbites (ou 144 ans).
(Yinuo Han/Peter Tuthill/Ryan Lau)*

*Tailles relatives de l'étoile Wolf-Rayet, de la supergéante bleue de type O et du Soleil, en haut à gauche.
(JPL-Caltech)*



Du baryum dans des exoplanètes

Basé sur un communiqué ESO

Grâce au VLT de l'ESO, les astronomes ont détecté du baryum dans la haute atmosphère des géantes gazeuses ultra-chaudes WASP-76 b et WASP-121 b. Cette découverte inattendue d'un atome aussi lourd soulève des questions sur la nature de ces atmosphères exotiques.

WASP-76 b et WASP-121 b ne sont pas des exoplanètes ordinaires. Ce sont des Jupiters ultra-chaudes avec une température de surface de plus de 1000°C. Cela est dû à la proximité de leur étoile hôte, ce qui signifie également qu'une orbite autour de chaque étoile ne dure qu'un à deux jours. Cela donne à ces planètes des caractéristiques plutôt exotiques ; dans le cas de WASP-76 b, par exemple, les astronomes soupçonnent qu'il y pleut du fer.

Mais même ainsi, les scientifiques ont été surpris de trouver du baryum (numéro atomique 56), dont l'atome est 2,5 fois plus lourd que celui du fer (numéro atomique 26), dans les couches supérieures de l'atmosphère de WASP-76 b et WASP-121 b. La forte gravité des planètes devrait faire retomber rapidement des éléments aussi lourds.

Le fait que du baryum ait été détecté dans l'atmosphère de ces deux Jupiters ultra-chaudes suggère que cette catégorie de planètes pourrait être encore plus étrange qu'on ne le pensait.

Dans l'étude des atmosphères des exoplanètes, les Jupiters ultra-chaudes sont extrêmement utiles. Étant gazeuses et chaudes, leurs atmosphères sont très étendues et sont donc plus faciles à observer et à étudier que celles des planètes plus petites ou plus froides.

La détermination de la composition de l'atmosphère d'une exoplanète nécessite un équipement très spécialisé. L'équipe a utilisé l'instrument

ESPRESSO sur le VLT de l'ESO au Chili pour analyser la lumière des étoiles, qui avait été filtrée à travers les atmosphères de WASP-76 b et WASP-121 b. Cela a permis de détecter clairement plusieurs éléments dans celles-ci, dont le baryum.

Ces nouveaux résultats montrent que l'on n'a encore fait qu'effleurer les mystères des exoplanètes. Grâce à de nouveaux instruments, tels que le spectrographe ANDES (Armazones high Dispersion Echelle Spectrograph), qui fonctionnera sur le futur Extremely Large Telescope (ELT) de l'ESO, les astronomes pourront étudier les atmosphères des exoplanètes, grandes et petites, y compris celles des planètes rocheuses semblables à la Terre, de manière beaucoup plus approfondie et recueillir davantage d'indices sur la nature de ces mondes étranges.

Vue d'artiste d'une étoile partiellement cachée par une planète rouge. L'atmosphère gazeuse de la planète est visible comme brume lumineuse. En traversant l'atmosphère de la planète, la lumière de l'étoile est filtrée par les éléments chimiques et les molécules de la couche gazeuse et elle s'imprègne de leur signature. Cette signature peut être enregistrée grâce à des spectrographes tels qu'ESPRESSO sur le VLT. C'est ce qui a conduit à la découverte du baryum dans les deux Jupiters ultra-chauds WASP-76 b et WASP-121 b. (ESO/M. Kornmesser)



Précession rapide

Basé sur un communiqué Cardiff University

Des chercheurs ont identifié un mouvement de précession particulier dans les orbites de deux trous noirs en collision, un phénomène exotique prédit par la théorie de la gravitation d'Einstein.

C'est la première fois que cet effet est observé dans des trous noirs et sa fréquence est 10 milliards de fois plus rapide que tout ce qui était connu.

Le système de trous noirs binaires a été découvert par des ondes gravitationnelles au début de 2020 avec les détecteurs LIGO et Virgo (événement GW200129). L'un des trous noirs, 40 fois plus massif que le Soleil, est probablement le trou noir qui tourne le plus vite, découvert grâce aux ondes gravitationnelles. Et contrairement à toutes les observations précédentes, il a tellement déformé l'espace et le temps que l'orbite entière de la binaire oscille rapidement.

Cette forme de précession est propre à la théorie de la relativité générale d'Einstein. Ces résultats confirment son existence dans l'événement physique le plus extrême que nous puissions observer, la collision de deux trous noirs.

Les chercheurs espéraient repérer ce phénomène depuis les premières détections d'ondes gravitationnelles, mais ils ont dû attendre cinq ans et plus de 80 détections distinctes, avant d'en observer un.

L'exemple le plus terre à terre de précession est le balancement d'une toupie, qui peut osciller une fois toutes les quelques secondes. En revanche, la précession dans la relativité générale est généralement un effet si faible qu'il est imperceptible. Dans l'exemple le plus rapide mesuré précédemment dans des pulsars binaires, la période de précession est de plus de 75 ans. La nouvelle étude indique que l'orbite des trous noirs de GW200129 précessait plusieurs fois par seconde – un effet 10 milliards de fois plus fort que celui mesuré dans le pulsar binaire.

Jusqu'à présent, la plupart des trous noirs découverts grâce aux ondes gravitationnelles tournaient assez lentement sur eux-mêmes. Le plus gros trou noir de cette binaire tournait pratiquement aussi vite que physiquement possible. Les modèles actuels de formation des binaires suggèrent que cela devrait être très rare, peut-être dans un cas sur mille. C'est peut-être le signe que les modèles doivent changer.

Le réseau international de détecteurs d'ondes gravitationnelles est en cours de mise à niveau et commencera sa prochaine recherche en 2023. Ils sont capables de trouver des centaines d'autres trous noirs en collision, et indiqueront aux scientifiques si GW200129 était une exception ou un signe que notre Univers est encore plus étrange qu'ils ne le pensaient.



Simulation de trous noirs en orbite. (SXS)



Un nuage chaud en orbite autour de Sgr A*

Basé sur un communiqué ESO

En utilisant ALMA, les astronomes ont repéré un « point chaud » en orbite autour de Sagittaire A*, le trou noir du centre de notre galaxie. Il s'agit probablement d'une bulle de gaz chaud sur une orbite de taille comparable à celle de la planète Mercure, mais parcourue en à peine plus d'une heure. Cela demande une vitesse fantastique, environ 30% de celle de la lumière.

Les observations ont été réalisées avec ALMA pendant une campagne menée dans le cadre de la collaboration EHT (Event Horizon Telescope Collaboration) pour obtenir des images de trous noirs. En avril 2017 l'EHT a relié huit radiotélescopes dans le monde entier, dont ALMA, permettant la prise de la première

Cette image montre des antennes d'ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) regardant le centre de la Voie lactée. L'image de Sagittarius A* prise par la collaboration EHT (Event Horizon Telescope) est mise en évidence dans l'encadré. Situé dans le désert d'Atacama au Chili, ALMA est le plus sensible de tous les observatoires du réseau EHT. (ESO/José Francisco Salgado, EHT)

image jamais obtenue de Sagittaire A*. À la surprise de l'équipe, les données ALMA rece-laient des données cachées sur la nature du trou noir.

Certaines des observations avaient été effectuées par hasard peu de temps après une éruption X du centre de notre galaxie, repérée par le télescope spatial Chandra. On pense que ce type d'éruptions, qui avaient déjà été observées dans les rayons X et infrarouges, est

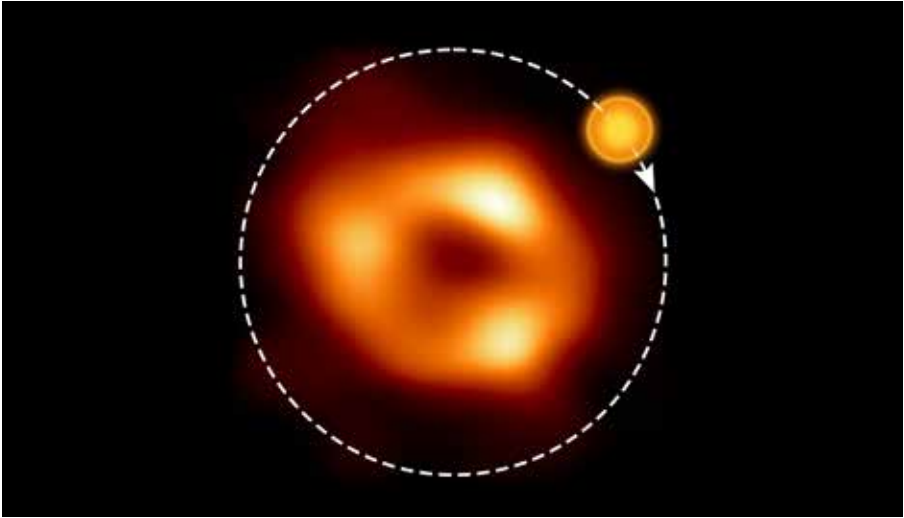


Image du trou noir supermassif Sagittaire A, prise par EHT, accompagné d'une illustration du point chaud et de son orbite autour du trou noir. (EHT, ESO/M. Kornmesser, M. Wielgus)*

associé à des points chauds – des bulles de gaz qui tournent très vite autour du trou noir.

On a donc pour la première fois une indication très forte que de tels points chauds sont aussi présents dans les observations radio.

Peut-être que ces points chauds détectés sous ondes infrarouges sont une manifestation du même phénomène physique : dès que les points chauds émettant dans l'infrarouge refroidissent, ils deviennent visibles dans les longueurs d'ondes plus longues, comme celles observées par ALMA et EHT.

On a longtemps pensé que les éruptions provenaient d'interactions magnétiques dans les gaz très chauds orbitant très près de Sagittaire A*, et les nouvelles découvertes confirment cette idée.

ALMA permet aux astronomes d'étudier l'émission radio polarisée de Sagittaire A* qui peut être utilisée pour dévoiler le champ magnétique du trou noir. L'équipe a utilisé ces observations ainsi que des modèles théoriques dans le but d'en apprendre plus sur la formation du point chaud et l'environnement dans lequel il est intégré, incluant le champ magnétique autour de Sagittaire A*. Leur recherche

fournit de plus fortes contraintes sur la forme du champ magnétique que les précédentes observations, aidant ainsi les astronomes à mettre au jour la nature de notre trou noir et de son environnement.

Les observations confirment certaines des précédentes découvertes faites en infrarouge par l'instrument GRAVITY du VLT de l'ESO. Les données de GRAVITY et d'ALMA suggèrent que l'éruption provient d'un amas de gaz tourbillonnant autour du trou noir à environ 30% de la vitesse de la lumière dans le sens des aiguilles d'une montre dans le ciel, l'orbite du point chaud étant presque de face.

Les astronomes espèrent effectuer des observations des points chauds simultanément sur une large gamme de fréquences autant avec GRAVITY qu'avec ALMA – le succès d'un tel effort serait un vrai jalon pour notre compréhension de la physique des éruptions dans le centre galactique.



Noema atteint sa pleine puissance

Basé sur un communiqué CNRS

Installé dans les Alpes françaises, le radiotélescope Noema (NORthern Extended Millimeter Array) vient d'atteindre ses pleines capacités devenant ainsi le plus puissant radiotélescope millimétrique dans l'hémisphère Nord. Il est le fruit d'une collaboration entre le CNRS, la Max-Planck-Gesellschaft (MPG, Allemagne) et l'Instituto Geográfico Nacional (IGN, Espagne). Construit et géré par l'Institut de radioastronomie millimétrique (Iram) et déjà à l'origine de découvertes majeures, Noema est maintenant prêt à réaliser des observations sans précédent.

Huit ans après l'inauguration de sa première antenne en 2014, ce projet majeur est désormais accompli. Avec douze antennes de 15 mètres pouvant être déplacées sur des voies allant jusqu'à 1,7 kilomètres, Noema est un nouvel outil unique pour la recherche en astro-

L'observatoire Noema, équipé d'un réseau de douze antennes radio.

(Jérémy Boissier/IRAM/CNRS Photothèque)

nomie. Son pouvoir de résolution ainsi que la sensibilité du réseau permettent aux scientifiques de collecter de la lumière qui a voyagé jusqu'à 13 milliards d'années pour atteindre la Terre.

Les antennes de Noema sont équipées de récepteurs de très haute sensibilité, proche des limites quantiques. Elles opèrent en réseau, selon une technique d'interférométrie : après avoir pointé toutes les antennes vers une même région de l'espace, les signaux qu'elles reçoivent sont combinés grâce à un super ordinateur et leur pouvoir de résolution est alors celui d'un immense télescope qui aurait le même diamètre que s'il les englobait toutes.



La galaxie spirale IC 342 dans la constellation de la Girafe. Noema a révélé la présence de gaz moléculaire tout au long des multiples bras spiraux et filaments, preuve que la galaxie est parsemée d'intenses flambées de formation d'étoiles. (IRAM/VLA/Mayall/DSS2/A. Schruba)

En modifiant la configuration des antennes, les astronomes peuvent zoomer sur un objet céleste pour en observer les détails. Les configurations peuvent s'étendre sur des distances de quelques centaines de mètres à désormais 1,7 km et le réseau fonctionne ainsi comme une caméra à objectif variable. Plus la configuration est étendue, plus le zoom est puissant : la résolution spatiale maximale de Noema est si élevée qu'il serait capable de distinguer un téléphone portable à une distance de plus de 500 kilomètres.

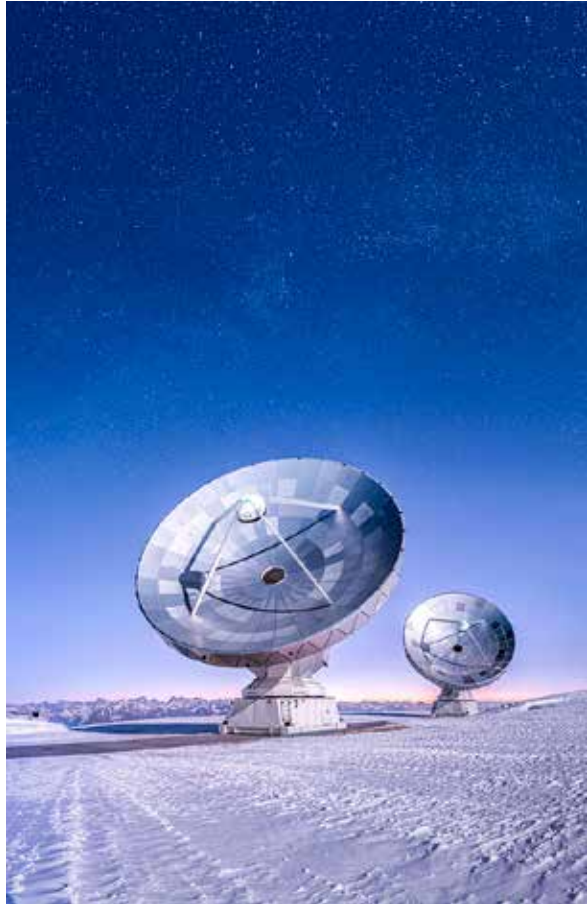
Doté de technologies pionnières, il est l'un des rares observatoires radio au monde à pouvoir mesurer simultanément un grand nombre de signatures de molécules et

d'atomes – les scientifiques appellent cela des observations multi-raies. Ces nouvelles possibilités d'observation, combinées à sa haute sensibilité et à sa très haute résolution spectrale et spatiale font de Noema un instrument unique pour appréhender la complexité de la matière interstellaire et des éléments constitutifs du cosmos.

Noema offre aux scientifiques français, allemands et espagnols un accès privilégié et la possibilité d'effectuer des recherches inégalées. Il leur permet d'étudier la matière froide du cosmos, à quelques degrés seulement au-dessus du zéro absolu. Avec ses antennes, on peut étudier la formation, la composition et la dynamique de galaxies entières, mais aussi d'étoiles en formation et en fin de vie, de comètes ou de l'environnement des trous noirs, afin de résoudre les questions les plus fondamentales de l'astronomie moderne.

D'ailleurs Noema est à l'origine de découvertes majeures et a déjà fourni des résultats sensationnels. Il a par exemple observé la galaxie la plus lointaine connue à ce jour, formée peu de temps après le Big Bang, et mesuré récemment la température du rayonnement du fond diffus cosmologique à une époque très précoce de l'Univers, une première qui permettra de tracer et de mieux contraindre les effets de l'énergie sombre. Cette année également, Noema a découvert le premier exemple d'un trou noir à croissance rapide dans le noyau poussiéreux d'une galaxie à flambée d'étoiles, à une époque proche de celle du plus ancien trou noir supermassif connu dans l'Univers. L'observatoire est également à l'origine des dernières découvertes de molécules dans des disques autour de jeunes étoiles, véritables berceaux de formation planétaire.

Noema fait aussi parti du consortium Event Horizon Telescope (EHT) qui a publié en 2019 la première image d'un trou noir ainsi qu'au début 2022 celle du trou noir au centre de notre galaxie. Il a effectué ses premières observations pour la collaboration en 2021 puis 2022. Avec ses douze antennes extrême-



*Deux des douze antennes du radiotélescope Noema.
© Jeff GRAPHY/IRAM*

ment sensibles, il offre au réseau mondial EHT une résolution spatiale et une sensibilité sans précédent. Aux côtés du deuxième radiotélescope de l'Iram, celui de 30 mètres installé en Espagne, Noema permettra à l'EHT de faire des animations avec des détails encore plus précis. Les deux installations sont déterminantes pour la collaboration EHT, pour l'étude et pour la compréhension de la physique des trous noirs.

Cratère de Vredefort

Basé sur un communiqué University of Rochester

Il y a environ deux milliards d'années, un astéroïde s'est écrasé sur la Terre dans une zone proche de l'actuelle Johannesburg en Afrique du Sud, formant ce qui est aujourd'hui le plus grand cratère terrestre. Les scientifiques ont généralement admis, sur la base de recherches antérieures, que la structure d'impact, connue sous le nom de cratère de Vredefort, a été formée par un objet d'environ 15 kilomètres de diamètre se déplaçant à une vitesse de 15 kilomètres par seconde.

Mais selon de nouvelles recherches l'impacteur pourrait avoir été beaucoup plus grand et aurait eu des conséquences dévastatrices sur toute la planète. Cette recherche précise notre compréhension de ce violent impact et nous permettra de mieux simuler les événements d'impact sur la Terre et d'autres planètes.

Au cours de deux milliards d'années, le cratère de Vredefort s'est érodé. Il est donc difficile pour les scientifiques d'estimer

directement la taille du cratère au moment de l'impact initial, et donc la taille et la vitesse de l'impacteur qui a formé le cratère.

Un objet d'une taille de 15 kilomètres et se déplaçant à une vitesse de 15 kilomètres par seconde produirait un cratère d'environ 170 kilomètres de diamètre. Cependant, ce chiffre est beaucoup plus petit que les estimations actuelles pour le cratère de Vredefort. Ces estimations actuelles sont basées sur de nouvelles preuves géologiques et des mesures estimant que le diamètre original de la structure aurait été compris entre 250 et 280 kilomètres au moment de l'impact.

Les chercheurs ont effectué des simulations pour faire correspondre la taille actualisée du cratère. Leurs résultats ont montré qu'un impacteur devrait être beaucoup plus grand – environ 20 à 25 kilomètres – et se déplacer à une vitesse de 15 à 20 kilomètres par seconde pour expliquer un cratère de 250 kilomètres.

***Le cratère de Vredefort en Afrique du Sud.
(Google Earth)***





Cela signifie que l'impacteur qui a formé le cratère de Vredefort aurait été plus grand que l'astéroïde qui a tué les dinosaures il y a 66 millions d'années, formant le cratère de Chicxulub. Cet impact a eu des effets néfastes à l'échelle mondiale, notamment un réchauffement de l'atmosphère, des incendies de forêt généralisés, des pluies acides et la destruction de la couche d'ozone, en plus de provoquer l'extinction du Crétacé et du Paléogène qui a tué les dinosaures.

Si le cratère de Vredefort était encore plus grand et l'impact plus énergétique que celui qui a formé le cratère de Chicxulub, l'impact de Vredefort pourrait avoir causé des conséquences mondiales encore plus catastrophiques.

Contrairement à celui de Chicxulub, l'impact de Vredefort n'a pas laissé de traces d'extinction massive ou d'incendies de forêt étant donné qu'il n'y avait que des formes de

Au cours de deux milliards d'années, le cratère de Vredefort s'est érodé, ce qui rend difficile pour les scientifiques d'estimer sa taille au moment de l'impact initial. Certaines parties du cratère comprennent désormais des terres agricoles.
(Tadpolefarm, Wikimedia)

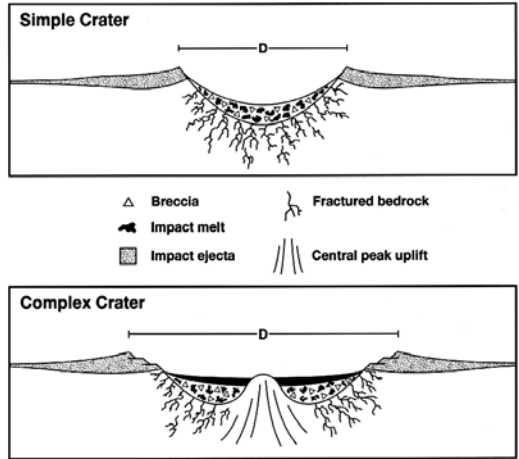
vie unicellulaires et qu'aucun arbre n'existait il y a deux milliards d'années. Cependant, l'impact aurait affecté le climat mondial de manière potentiellement plus importante que l'impact de Chicxulub.

La poussière et les aérosols de l'impact de Vredefort se seraient répandus sur la planète et auraient bloqué la lumière du Soleil, refroidissant la surface de la Terre. Cela aurait pu avoir un effet dévastateur sur les organismes photosynthétiques. Après que la poussière et les aérosols se soient déposés – ce qui aurait

pu prendre entre quelques heures et une décennie – les gaz à effet de serre tels que le dioxyde de carbone émis par l'impact auraient augmenté la température globale potentiellement de plusieurs degrés pendant une longue période.

Les simulations ont également permis aux chercheurs d'étudier les matériaux éjectés par l'impact et la distance parcourue par ces matériaux depuis le cratère. Ils peuvent utiliser ces informations pour déterminer l'emplacement géographique des masses terrestres il y a des milliards d'années. Par exemple, des recherches antérieures ont permis de déterminer que les matériaux de l'impacteur ont été éjectés vers l'actuelle Carélie, en Russie. Il y a deux milliards d'années, la masse terrestre contenant la Carélie n'aurait été qu'à 2 000 à 2 500 kilomètres du cratère en Afrique du Sud – bien plus proche que les deux régions ne le sont aujourd'hui.

Il est difficile de déterminer l'emplacement des masses terrestres dans ces temps reculés. Les meilleures simulations actuelles ont permis de remonter à environ un milliard d'années et les incertitudes augmentent à mesure que l'on remonte dans le temps. La clarification de preuves telles que la cartographie de cette couche d'éjecta peut permettre aux chercheurs de tester leurs modèles et aider à compléter la vision du passé.



▲ *Le cratère d'impact de Vredefort est dit « complexe ». Un soulèvement central se forme lorsque la matière au fond du cratère tente de retrouver un état d'équilibre gravitationnel.* (NASA)

▼ *Empreinte approximative du cratère de Vredefort en Afrique du Sud. Le cercle marque l'emplacement approximatif du bord original du cratère, qui a été masqué par l'érosion au nord-ouest et recouvert par des sédiments au sud-est. Le « Dôme de Vredefort » est une zone de strates soulevées au centre du cratère – le piton central.* (Oggmus ; Creative Commons)

