

Astronomie dans le monde



Kepler-16b, une planète circumbinaire repérée par un télescope au sol

Basé sur un communiqué CNRS-INSU

L'exoplanète Kepler-16b, distante de quelque 245 années-lumière, tourne autour de deux étoiles à la fois. La planète n'avait jusqu'à présent été observée qu'à l'aide du télescope spatial Kepler. Elle a maintenant pu être détectée à l'aide d'un télescope terrestre.

Le spectrographe SOPHIE, monté sur le télescope de 193 cm de l'observatoire de Haute-Provence en France, a servi aux observations. Les astronomes ont détecté la planète en utilisant la méthode des vitesses radiales, par laquelle les astronomes observent un changement dans la vitesse d'une étoile lorsqu'une planète tourne autour d'elle. Cette observation est une démonstration importante de la possibilité de détecter des planètes circumbinaires à l'aide de cette méthode historique, moins coûteuse que l'utilisation de satellites spatiaux. La méthode des vitesses radiales permet également de mesurer une des propriétés fondamentales d'une planète : sa masse.

*Le télescope de 193 cm de l'OHP.
(Jose Rodrigues – CC BY-SA 4.0)*

L'équipe prévoit de poursuivre les observations en cherchant de nouvelles planètes circumbinaires et de contribuer à répondre aux questions concernant la formation des planètes. Le modèle habituel de formation des planètes au sein d'un disque protoplanétaire doit être revu. La présence d'une seconde étoile perturbe en effet l'accrétion de poussière qui permet de former les planètes. La migration des planètes dans le disque est fort probablement un élément nécessaire pour comprendre les observations.

Cette découverte montre comment les télescopes terrestres restent tout à fait pertinents pour la recherche d'exoplanètes et peuvent être utilisés pour de nouveaux projets passionnants. Après la détection de Kepler-16b, des analyses vont être menées sur les données relatives à de nombreux autres systèmes d'étoiles binaires pour rechercher de nouvelles planètes circumbinaires.

Galaxies grenues

Basé sur un communiqué University of Minnesota

Les chercheurs ont constaté qu'il y a beaucoup moins de galaxies à grumeaux – c'est-à-dire présentant des régions denses de formation d'étoiles – dans l'Univers moderne qu'au début de son histoire, et ils disposent maintenant d'un catalogue définitif et détaillé qu'ils peuvent utiliser pour étudier d'autres sujets, comme l'évolution des galaxies.

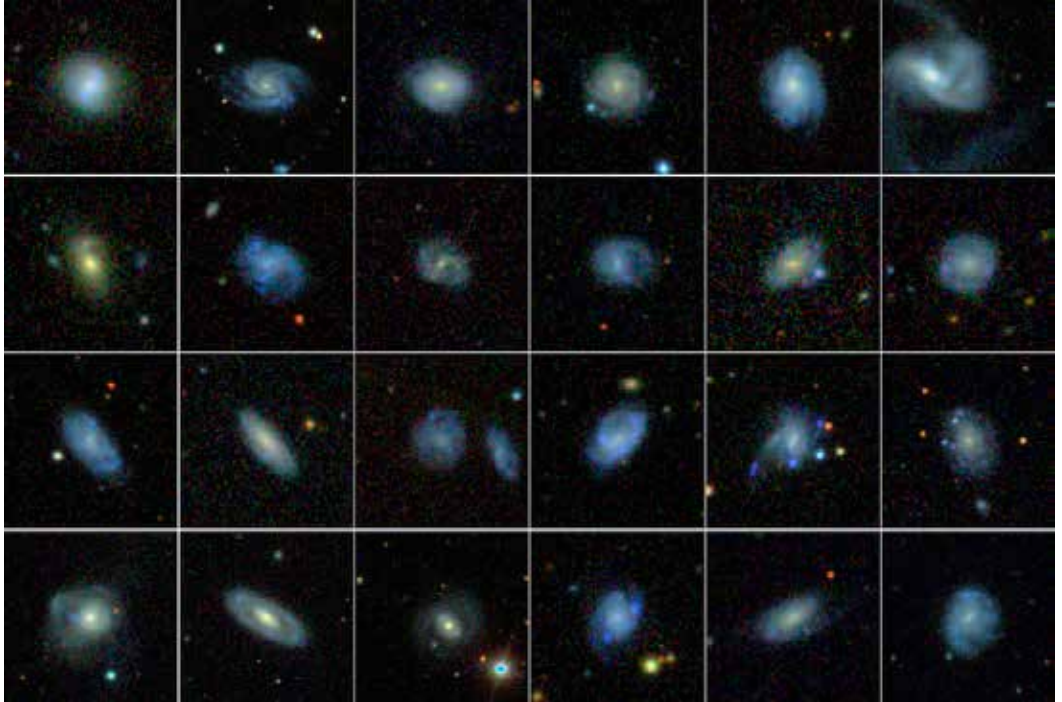
Les données ont été recueillies dans le cadre du projet Galaxy Zoo, qui fait partie de Zooniverse, la plateforme de recherche en ligne alimentée par les citoyens la plus importante et la plus populaire au monde.

Plus de 14 000 scientifiques bénévoles ont examiné les photos de 58 000 galaxies de l'Univers local, sur un rayon allant jusqu'à un milliard d'années-lumière, pour créer un

catalogue de galaxies présentant des concentrations notables. On a pu constater que la fréquence des galaxies grumeleuses a diminué d'environ 95% au cours des huit derniers milliards d'années et les galaxies sont ainsi passées progressivement d'une forme irrégulière aux spirales et elliptiques d'aujourd'hui.

La plupart des études sur les galaxies grenues s'étaient concentrées sur les galaxies les plus éloignées, généralement cinq milliards d'années-lumière ou plus. Cependant, il est difficile pour les scientifiques d'étudier des objets aussi éloignés. Grâce à ces nouvelles données, les chercheurs seront en mesure d'examiner les galaxies à grumeaux de manière plus détaillée et avec une résolution plus élevée, ce qui les aidera à en apprendre davantage sur les amas de galaxies et sur l'évolution de l'Univers.

(Nico Adams, University of Minnesota Twin Cities)



4FGL J1120.0-2204

Basé sur un communiqué NOIRLab

Grâce au télescope SOAR de 4,1 mètres au Chili, les astronomes ont découvert le premier exemple de système binaire consistant en une étoile sur le point de devenir naine blanche, et une étoile à neutrons qui vient juste de se transformer en pulsar à rotation rapide. Cette paire, détectée à l'origine par le télescope spatial à rayons gamma Fermi, est un chaînon manquant dans l'évolution de tels systèmes binaires.

Les astronomes qualifient ces types de systèmes binaires d'« araignées », car le pulsar a tendance à dévorer les parties extérieures de sa compagne lorsqu'elle se transforme en naine blanche.

Cette source gamma, 4FGL J1120.0-2204, avait été répertoriée par le télescope spatial Fermi comme la deuxième source gamma la plus brillante de tout le ciel. Elle est située à plus de 2 600 années-lumière.

Le spectre optique du système binaire mesuré par le spectrographe du télescope SOAR a montré que la lumière de la proto-naine blanche est décalée par effet Doppler alternativement vers le rouge et le bleu – ce qui indique qu'elle tourne autour d'une étoile à neutrons compacte et massive en 15 heures.

Les spectres ont permis de contraindre la température et la gravité de surface de l'étoile compagne et, grâce aux modèles d'évolution des systèmes binaires, on a pu déterminer que la compagne est le précurseur d'une naine blanche de très faible masse, avec une température de surface de 8 500 K et une masse de seulement 17 % de celle du Soleil.

Lorsqu'une étoile de masse semblable ou inférieure à celle du Soleil arrive en fin de vie, elle n'a plus d'hydrogène pour alimenter les processus de fusion nucléaire dans son cœur. Pendant un certain temps, l'hélium prend le relais et alimente l'étoile, ce qui entraîne sa contraction et son échauffement, puis son expansion et son évolution vers une géante rouge de plusieurs centaines de millions de kilomètres de diamètre. Finalement, les couches externes de cette étoile enflée peuvent être



Vue d'artiste.
(NOIRLab/NSF/AURA/J. da Silva/M. Zamani)

accrétées sur une étoile compagne. La fusion nucléaire s'arrête, laissant derrière elle une naine blanche de la taille de la Terre et grésillant à des températures dépassant 100 000 K.

La proto-naine blanche du système 4FGL J1120.0-2204 n'a pas fini d'évoluer. Son rayon est actuellement environ cinq fois plus grand que celui des naines blanches normales de masse similaire. Elle va continuer à se refroidir et à se contracter et, dans environ deux milliards d'années, elle aura un aspect identique à celui des nombreuses naines blanches de masse extrêmement faible que nous connaissons déjà.

Les pulsars millisecondes tournent des centaines de fois par seconde. Ils sont mis en rotation par l'accrétion de matière provenant d'une compagne, dans ce cas, de l'étoile qui est devenue la naine blanche. La plupart des pulsars millisecondes émettent des rayons gamma et des rayons X, souvent lorsque le flux de particules chargées émanant de l'étoile à neutrons en rotation entre en collision avec la matière émise par une compagne.

On connaît environ 80 naines blanches de masse extrêmement faible, mais il s'agit ici du premier précurseur connu d'une naine blanche de masse extrêmement faible qui est probablement en orbite autour d'une étoile à neutrons. 4FGL J1120.0-2204 offre un regard unique sur la fin de ce processus de rotation. Toutes les autres binaires naine blanche-pulsar connues ont largement dépassé ce stade.

Combien de trous noirs dans l'Univers ?

Basé sur un communiqué Sissa

Combien y a-t-il de trous noirs dans l'Univers ? C'est l'une des questions les plus pertinentes et les plus pressantes de l'astrophysique et de la cosmologie modernes à laquelle des chercheurs viennent de tenter de répondre.

Pour cela, ils ont étudié les caractéristiques démographiques des trous noirs stellaires, c'est-à-dire des trous noirs qui sont apparus à la mort d'étoiles. Leur masse peut aller de quelques fois celle du Soleil, à quelques centaines de fois cette valeur.

Selon la nouvelle étude, une quantité remarquable d'environ un pour cent de l'ensemble de la matière ordinaire (baryonique) de l'Univers est enfermée dans des trous noirs de masse stellaire. De façon étonnante, les chercheurs ont découvert que le nombre de trous noirs dans l'Univers observable – une sphère d'un diamètre d'environ 90 milliards d'années-lumière – est actuellement d'environ $4 \cdot 10^{19}$, c'est-à-dire 4 suivi de 19 zéros, ou 40 trillions, ou encore 40 milliards de milliards.

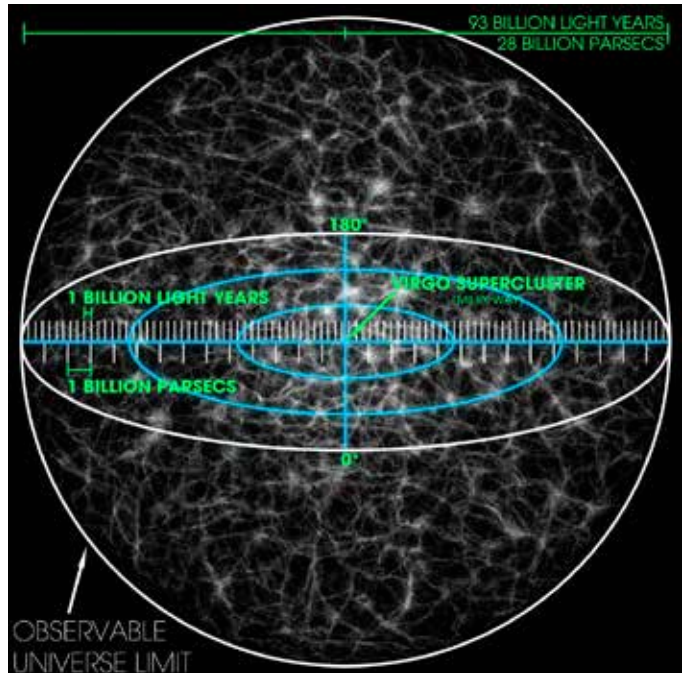
L'estimation du nombre de trous noirs dans l'Univers observable n'est pas la seule question étudiée par les scientifiques dans le cadre de cette recherche. Ils ont également exploré les différentes voies de formation des trous noirs de différentes masses, comme les étoiles isolées, les systèmes binaires et les amas stellaires. D'après leurs travaux, les trous noirs stellaires les plus massifs proviennent principalement d'événements dynamiques dans les amas stellaires.

L'univers observable

Visualisation de l'Univers observable en trois dimensions sur 93 milliards d'années-lumière (28 milliards de parsecs)¹. Cette valeur se déduit de la distance à laquelle se situent actuellement les objets les plus lointains que nous voyons, c'est-à-dire les particules responsables de l'émission du fond cosmique de micro-ondes. Ces photons ont été émis il y a 13,8 milliards d'années. Pour déterminer la distance correspondante, il faut adopter un modèle d'Univers avec une certaine vitesse d'expansion. Le modèle standard cosmologique permet de déduire une distance actuelle de cet « horizon cosmologique » de l'ordre de 46,5 milliards d'années-lumière. Le diamètre de l'Univers observable est donc estimé à environ 93 milliards d'années-lumière soit $8,8 \cdot 10^{23}$ kilomètres.

(Andrew Z. Colvin, CC BY-SA 3.0)

¹ NB milliard = billion en anglais



Le trou noir binaire GW190521

Basé sur un communiqué RIT

Les scientifiques ont identifié une raison pour laquelle les trous noirs détectés par les expériences LIGO et Virgo sont généralement beaucoup plus massifs que prévu. Si des trous noirs circulent dans une galaxie sur des orbites excentriques, ils peuvent en engloutir d'autres à plusieurs reprises lors de rencontres fortuites dans des zones densément peuplées de trous noirs, comme les noyaux galactiques. Pour tester cette hypothèse, les chercheurs ont étudié le couple le plus massif observé à ce jour, GW190521.

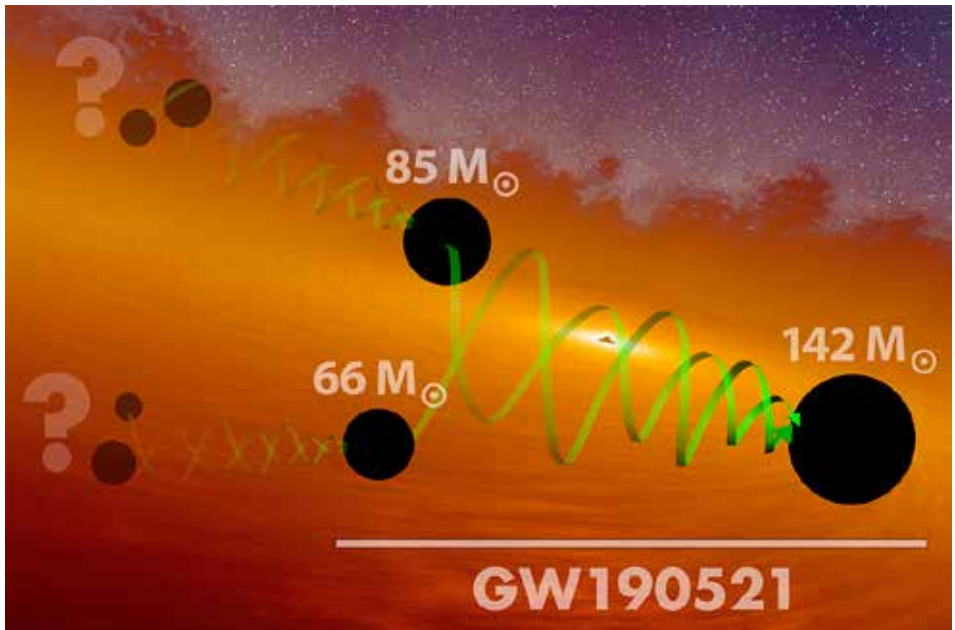
Les masses estimées de ces trous noirs sont chacune plus de 60 fois celle du Soleil, ce qui les place bien au-dessus de la masse maximale prédite actuellement par la théorie de l'évolution stellaire. Une nouvelle analyse comportant des centaines de simulations numériques au moyen de superordinateurs conclut que la fusion s'explique le mieux par un modèle à forte excentricité ($0,7 \pm 0,2$) et à forte précession.

Les chercheurs pensent que ce résultat représente une avancée majeure dans notre compréhension de la façon dont les trous noirs fusionnent. Plus généralement, ils constatent avec enthousiasme que les simulations sophistiquées, ainsi que la richesse des nouvelles données fournies par les détecteurs LIGO et Virgo, conduisent à révéler de nouveaux secrets de l'Univers à un rythme étonnant.

Dans une extension de cette analyse, l'étude de la contrepartie optique possible de GW190521, observée par le ZTF¹, a permis une estimation de la constante de Hubble en excellent accord avec les valeurs attendues.

¹ ZTF, Zwicky Transient Facility, une caméra à très grand champ installée sur le vénérable Schmidt de 48 pouces du Mont Palomar.

Schéma hiérarchique pour la fusion du couple de trous noirs les plus massifs enregistrée à ce jour. Les scientifiques ont utilisé des simulations informatiques avancées pour montrer que les trous noirs avaient des orbites excentriques avant de fusionner. (LIGO/Caltech/MIT/R. Hurt/IPAC)



Pas de trou noir pour HR 6819

Basé sur un communiqué ESO

En 2020, des astronomes pensaient avoir trouvé le trou noir le plus proche de la Terre, à seulement 1 000 années-lumière dans le système HR 6819. Mais les résultats de leur étude ont été contestés par d'autres chercheurs. Les deux équipes ont maintenant uni leurs efforts pour signaler qu'il n'y a en fait aucun trou noir dans le système HR 6819, qui est plutôt un système « vampire » à deux étoiles dans une phase éphémère de son évolution.

L'étude originale avait reçu une attention considérable de la part de la presse et des scientifiques. La meilleure interprétation des données obtenues avec le télescope MPG/ESO de 2,2 mètres, était que HR 6819 était un système triple, avec une étoile tournant autour d'un trou noir en 40 jours et une deuxième étoile sur une orbite beaucoup plus large. Une explication alternative des mêmes données était qu'il s'agissait d'un système avec seulement deux étoiles tournant en 40 jours, et sans trou noir. Ce scénario nécessitait que l'une des étoiles soit « dépouillée », ce qui signifie qu'elle avait perdu une grande partie de sa masse au profit de l'autre étoile.

Pour résoudre le mystère, les deux équipes ont collaboré pour obtenir de nouvelles données plus précises de HR 6819 en utilisant le VLT et le VLTI de l'ESO.

Les scénarios recherchés étaient bien distincts et il devait être facile de choisir parmi eux avec le bon instrument. Il devait y avoir deux sources lumineuses dans le système, et la question était de savoir si elles étaient proches l'une de l'autre, comme dans le scénario de l'étoile dépouillée, ou très éloignées, comme dans le scénario du trou noir.

Pour distinguer les deux propositions, les astronomes ont utilisé l'instrument GRAVITY du VLTI et l'instrument MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer) du VLT de l'ESO.

MUSE a confirmé qu'il n'y avait pas de compagnon brillant sur une orbite large, tandis que, grâce à sa haute résolution, GRAVITY montrait deux sources brillantes séparées par seulement un tiers de la distance Terre-Soleil,

ce qui a permis de conclure que HR 6819 est un système binaire sans trou noir.

La meilleure interprétation est que l'une des étoiles a aspiré récemment l'atmosphère de sa compagne. Il s'agit d'un phénomène courant dans les systèmes binaires proches, parfois appelé vampirisme stellaire. L'étoile donneuse a été dépouillée d'une partie de sa matière, tandis que l'étoile receveuse a commencé à tourner plus rapidement.

Observer une telle phase post-interaction est extrêmement difficile car elle est très courte. HR 6819 s'avère être un candidat parfait pour étudier comment ce vampirisme affecte l'évolution des étoiles massives et mieux comprendre les phénomènes associés, y compris les ondes gravitationnelles et les violentes explosions de supernova.

Les chercheurs prévoient de surveiller HR 6819 de plus près à l'aide du VLTI afin de mieux projeter son évolution, de contraindre ses propriétés et d'utiliser ces connaissances pour en apprendre davantage sur d'autres systèmes binaires.

Quant à la recherche de trous noirs stellaires, l'équipe reste optimiste. Il devrait en exister des dizaines ou des centaines de millions dans la seule Voie lactée. Ce n'est qu'une question de temps avant que les astronomes ne les découvrent.

Vue d'artiste du système HR 6819, supposé composé d'une étoile ovale entourée d'un disque (une étoile « vampire » de type Be) et d'une étoile de type B dépouillée de son atmosphère.
(ESO/L. Calçada)



Billard au centre de la Galaxie

Basé sur un communiqué University of Copenhagen

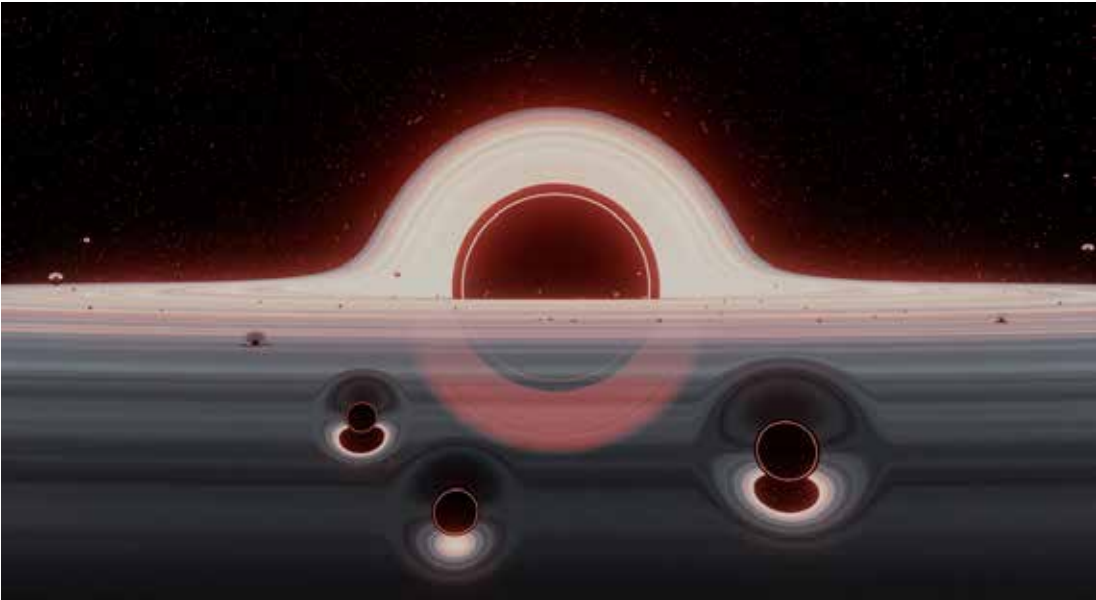
Les trous noirs sont parmi les objets les plus fascinants de l'Univers, mais notre connaissance en est encore limitée, notamment pour la bonne raison qu'ils n'émettent aucune lumière. Jusqu'à il y a quelques années, la lumière était notre principale source de connaissances sur l'Univers et les trous noirs, jusqu'à ce que l'observatoire LIGO fasse en 2015 l'observation historique des ondes gravitationnelles provenant de la fusion de deux trous noirs.

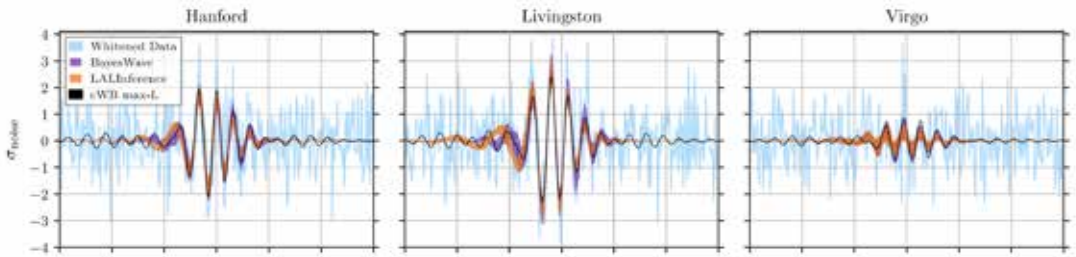
Mais, comment, et où dans l'Univers, de tels trous noirs se forment-ils et fusionnent-ils ? Est-ce que cela se produit lors de rencontres fortuites dans des amas d'étoiles, ou est-ce autre chose ? Ce sont là des questions clés de la nouvelle ère de l'astrophysique des ondes gravitationnelles.

Une découverte inattendue faite par les observatoires LIGO et Virgo, l'événement GW190521, est venue s'ajouter au puzzle. L'événement est interprété comme étant la fusion de deux trous noirs qui, non seulement étaient plus lourds que ce que l'on pensait physiquement possible auparavant, mais avaient en plus produit un flash de lumière.

Des explications possibles ont depuis été fournies pour ces deux caractéristiques, mais les ondes gravitationnelles ont également révélé une troisième propriété étonnante de cet événement – à savoir que les trous noirs ne décrivaient pas des orbites circulaires dans

Illustration d'un essaim de petits trous noirs dans le disque de gaz entourant un trou noir supermassif. Les interactions entre trois trous noirs sont relativement fréquentes et aboutissent très probablement à une fusion sur une orbite non circulaire.
(J. Samsing/Niels Bohr Institute)





Les signaux gravitationnels de GW190521.
(R. Abbott et al. ; LIGO, Virgo ; CC BY 4.0)

les moments précédant la fusion. Les ondes gravitationnelles émises, non seulement font se rapprocher progressivement les trous noirs, mais tendent à circulariser leur orbite.

Une réponse possible se trouve dans l’environnement complexe du centre des galaxies abritant un trou noir supermassif. Le trou noir est entouré d’un disque de matière en rotation. Dans cet environnement, les trous noirs sont si nombreux et leur vitesse si élevée que les plus petits rebondissent comme dans un jeu de billard géant et que les binaires ayant des orbites circulaires très écartées ne peuvent exister longtemps.

Mais la présence d’un trou noir supermassif ne suffit pas, de nouvelles études montrent que le disque de gaz joue un rôle important dans la capture de trous noirs plus petits, qui, au fil du temps, se rapprochent du centre, et donc aussi les uns des autres. Cela implique non seulement qu’ils finissent par se rencontrer et former des paires, mais aussi que ces paires peuvent interagir avec d’autres trous noirs, ce qui conduit souvent à un tango chaotique impliquant des groupes de trois trous noirs.

Les astronomes se sont alors demandé ce qui se passerait si les interactions entre les trous noirs avaient lieu dans un environnement bidimensionnel, un disque plat. De manière

surprenante, dans ces conditions, la probabilité de former une fusion excentrique est multipliée par 100, ce qui signifie qu’environ la moitié des fusions de trous noirs dans de tels disques peuvent être excentriques.

Cette découverte s’accorde incroyablement bien avec l’observation de 2019, qui, dans l’ensemble, pointe maintenant vers la conclusion que les propriétés autrement spectaculaires de cette source ne sont pas si étranges, si elle a été créée dans un disque de gaz plat entourant un trou noir supermassif dans un noyau galactique.

La théorie du disque gazeux s’accorde également avec les explications d’autres chercheurs concernant les deux autres propriétés déroutantes de GW190521. Les masses importantes ont été atteintes par des fusions successives à l’intérieur du disque, tandis que l’émission de lumière pourrait provenir du gaz ambiant.

Ces résultats dépendent beaucoup de la planéité du disque et de la façon dont les trous noirs s’y meuvent. Pour en apprendre davantage il faudra réunir des données sur une plus grande population de fusions de trous noirs, y compris des cas plus inhabituels comme GW190521.

Le trou noir de M77

Basé sur un communiqué ESO

Découverts dans les années 50, les noyaux actifs de galaxies (AGNs) ont toujours suscité la curiosité des astronomes. Ce sont des sources extrêmement énergétiques alimentées par des trous noirs supermassifs. Ces trous noirs consomment de grandes quantités de poussière et de gaz. Avant d'être absorbée, cette matière spirale en direction du trou noir, libérant de colossales quantités d'énergie. La luminosité du noyau éclipse bien souvent les étoiles de la galaxie.

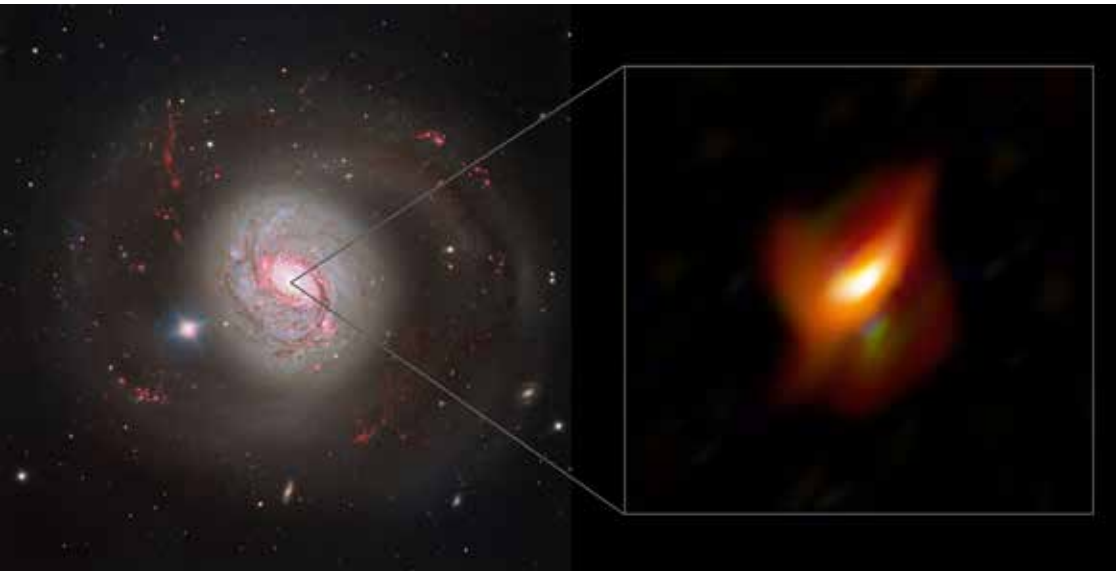
Le VLTI de l'ESO a maintenant permis de franchir une étape majeure dans la compréhension du fonctionnement de ces objets brillants et de leur aspect. Les astronomes ont détecté la présence d'un épais disque de poussière et de gaz cosmiques dissimulant le trou noir supermassif de la galaxie Messier 77. Cette découverte offre une sérieuse confirmation de la validité d'une théorie formulée voici trente ans et baptisée Modèle Unifié des AGNs.

Les astronomes connaissent différents types d'AGNs, certains libérant des jets observables en ondes radio, d'autres non. Certains AGNs brillent intensément dans le domaine visible, d'autres, tel Messier 77, se font beaucoup plus discrets. Le Modèle Unifié stipule qu'en dépit de leurs différences, tous les AGNs présentent la même structure de base : un trou noir supermassif entouré d'un volumineux anneau ou tore de poussière.

D'après ce modèle, les différences d'aspect entre les AGNs observés résultent de l'angle sous lequel nous observons le trou noir et le tore qui l'encercle. Si l'angle est petit, l'anneau de poussière dissimule complètement l'environnement du trou noir.

Les astronomes ont par le passé débusqué des preuves de la validité du Modèle Unifié – la détection de poussière chaude au centre de Messier 77, notamment. Toutefois, des doutes subsistaient quant à la possibilité

À gauche la galaxie active M77 capturée par le VLT dans le domaine visible. L'image de droite montre les régions centrales vues en infrarouge par l'instrument MATISSE. (ESO/Jaffe, Gámez-Rosas et al.)



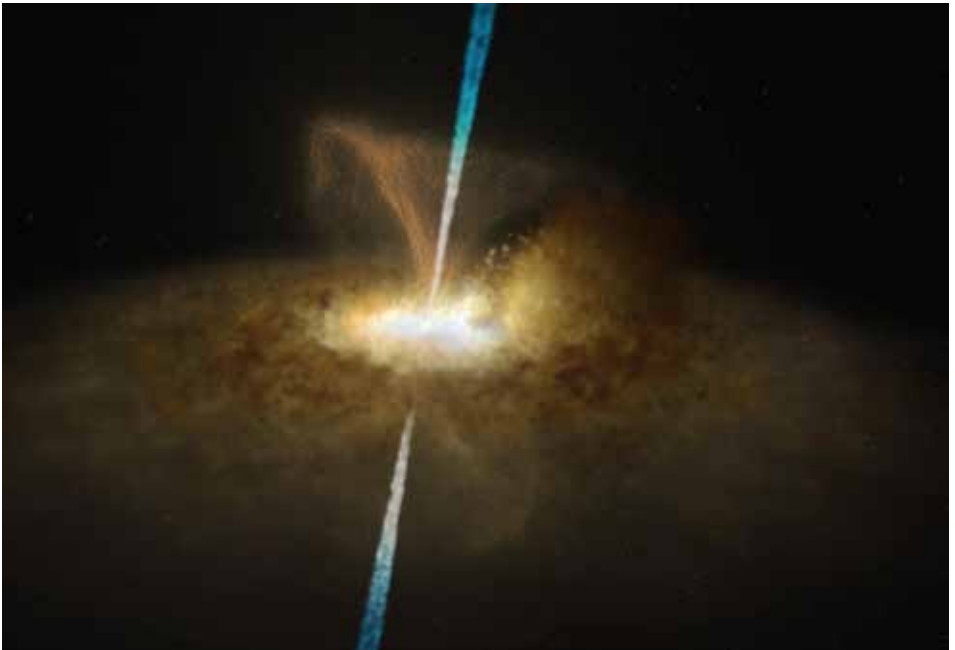
que cette poussière masque totalement la présence d'un trou noir, raison pour laquelle cet AGN rayonne moins dans le domaine visible que d'autres.

Les observations ont été permises grâce à l'instrument MATISSE (Multi AperTure mid-Infrared SpectroScopic Experiment) installé sur le VLTI. L'équipe a également utilisé des données acquises par le réseau ALMA. MATISSE a combiné la lumière infrarouge collectée par les quatre télescopes de 8,2 mètres du VLT. L'instrument travaille dans une vaste gamme de longueurs d'onde infrarouges, permettant d'observer au travers de la poussière et de mesurer les températures avec précision. Les images obtenues montrent les variations de température et d'opacité des nuages entourant le trou noir. On a ainsi pu constituer une image détaillée de la poussière et localiser l'emplacement du trou noir. La poussière est disposée en un anneau entouré d'un disque, une structure qui plaide en faveur du Modèle Unifié.

Ces résultats devraient offrir une meilleure compréhension du fonctionnement interne des AGNs. Ils pourraient également aider à mieux comprendre l'histoire de la Voie lactée qui abrite en son centre un trou noir supermassif susceptible d'avoir été actif par le passé.

Les chercheurs souhaitent désormais étendre leurs observations à un échantillon plus vaste de galaxies, dans le but de conforter la validité du Modèle Unifié des AGNs.

Illustration du noyau de M77. A l'instar des autres AGNs, les régions centrales de la galaxie sont alimentées par un trou noir entouré d'un mince disque d'accrétion, et d'un tore de gaz et de poussière. Dans le cas de M77, cet anneau dense masque totalement le trou noir supermassif. Ce noyau actif présente vraisemblablement des jets, ainsi que des vents de matière, qui s'échappent de la région située en périphérie du trou noir, perpendiculairement au disque d'accrétion.
(ESO/M. Kornmesser and L. Calçada)



Trou noir isolé

Un événement de micro-lentille gravitationnelle observé en 2011 était sans doute dû à la présence d'un trou noir flottant isolément dans l'espace interstellaire – le premier de ce type jamais observé. On supposait bien qu'il existait de nombreux trous noirs errant ainsi mais, jusqu'à présent, aucun n'avait été détecté. Cela est dû à la nature même des trous noirs. En l'absence de rayonnement propre, il est difficile de les repérer. Pourtant, les preuves de leur existence étaient solides. Les trous noirs se forment souvent lorsque des étoiles arrivent en fin de vie et que leur noyau s'effondre, produisant une supernova. Vu l'abondance de supernovæ, il semblait évident que de nombreux trous noirs devaient avoir été créés.

Pour trouver ces trous noirs, on dispose de la gravité et, plus précisément, de l'effet de lentille gravitationnelle que produit la masse du trou noir sur les rayons lumineux qui le frôlent. Ainsi, lorsqu'un trou noir s'interpose

sur la ligne de visée d'une étoile, l'image de celle-ci est modifiée. La coïncidence est très rare. Statistiquement l'effet de lentille affecte surtout des étoiles faibles, lointaines, ce qui le rend presque impossible à détecter, même avec les meilleurs télescopes modernes.

Mais la chance a prévalu en 2011 lorsque des astronomes à la recherche de cet effet de lentille ont repéré une étoile qui a subitement augmenté d'éclat sans raison apparente. Intrigués, les chercheurs ont analysé les données de Hubble. Pendant six ans, ils ont observé l'évolution de la lumière, espérant que ce changement était dû à l'amplification gravitationnelle par un trou noir. Puis, ils ont découvert que la position de l'étoile semblait changer. Ce changement ne pouvait être dû qu'à un objet invisible en mouvement qui, par son attraction, modifiait le trajet des rayons lumineux – un trou noir interstellaire.

Les chercheurs ont pu montrer que l'astre-lentille n'émettait pas de lumière. Les chercheurs ont même pu mesurer sa masse, qui est de sept fois celle du Soleil. Ils ont également constaté qu'il se déplace transversalement à une vitesse d'environ 45 kilomètres par seconde et que sa distance est d'environ 5 000 années-lumière.

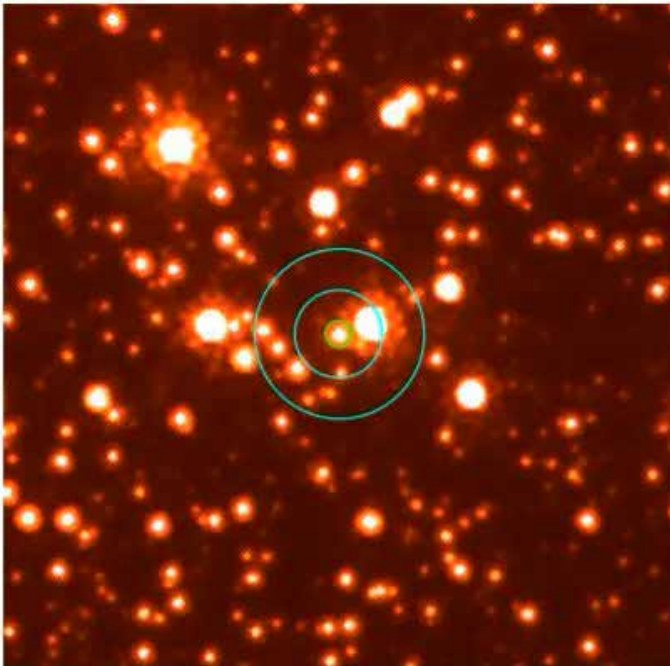


Image Hubble dans le proche infrarouge de MOA-11-191/OGLE-11-0462 prise en août 2017, lorsque l'étoile avait recouvert son éclat initial. (K.C. Sahu et al.)

La fusion d'étoiles à neutrons GW170817

Basé sur un communiqué UC Berkeley

Lorsque deux étoiles à neutrons fusionnent pour former un trou noir, celui-ci apparaît-il immédiatement, ou faut-il attendre un certain temps avant que la paire ne s'effondre gravitationnellement au-delà de l'horizon des événements ? Les observations du télescope spatial X Chandra suggèrent la seconde hypothèse : l'objet fusionné résiste, probablement pendant une petite seconde, avant de s'effondrer.

Les ondes gravitationnelles de la fusion d'étoiles à neutrons ont été détectées pour la première fois le 17 août 2017 (événement GW170817) par l'observatoire LIGO (Advanced Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory) et la collaboration Virgo. Des télescopes satellitaires et terrestres ont rapidement suivi pour enregistrer une salve de rayons gamma et d'émissions dans le visible et l'infrarouge qui, ensemble, ont confirmé la théorie selon laquelle de nombreux éléments lourds sont produits dans les éjectas chauds qui produisent une supernova exceptionnelle, une « kilonova ». La kilonova brille grâce à la lumière émise lors de la désintégration des éléments radioactifs résultants, comme le platine et l'or.

Chandra s'est également tourné vers GW170817, mais n'a vu les premiers rayons X que neuf jours plus tard, ce qui suggère que la fusion a produit un jet étroit de matière qui, en entrant en collision

avec la matière environnante, a émis un cône de rayons X qui a d'abord manqué la Terre. Le faisceau s'est ensuite élargi et est devenu visible.

Les émissions de rayons X du jet ont augmenté pendant 160 jours, puis elles se sont progressivement atténuées à mesure que le jet ralentissait et s'élargissait. À partir de mars 2020 – environ 900 jours après la fusion – jusqu'à la fin 2020, les émissions de rayons X se sont stabilisées.

Le fait que les rayons X aient cessé de s'estomper rapidement était la meilleure preuve que quelque chose en plus d'un jet était détecté dans les rayons X. Une source de rayons X complètement différente semblait indispensable pour expliquer les observations.

La rémanence (afterglow) X s'explique par un rebond de matière après la collision. Cette onde de choc a traversé et échauffé les débris, leur permettant de briller encore dans le domaine X quatre ans après la fusion. L'émission X provenant du jet de matière détecté par Chandra peu après la fusion a dû quant à elle diminuer bien plus rapidement.

L'excès de rayons X est donc produit par une onde de choc distincte des jets produits par la fusion. Ce choc est le résultat de l'effondrement retardé des étoiles à neutrons fusionnées, probablement parce que leur rotation rapide a très brièvement contrecarré l'effondrement gravitationnel.

***Sources X capturées par Chandra. Celle du haut est le trou noir issu de la fusion de deux étoiles à neutrons observé pour la première fois en 2017.
(NASA, CXC, Northwestern U./A. Hajela)***

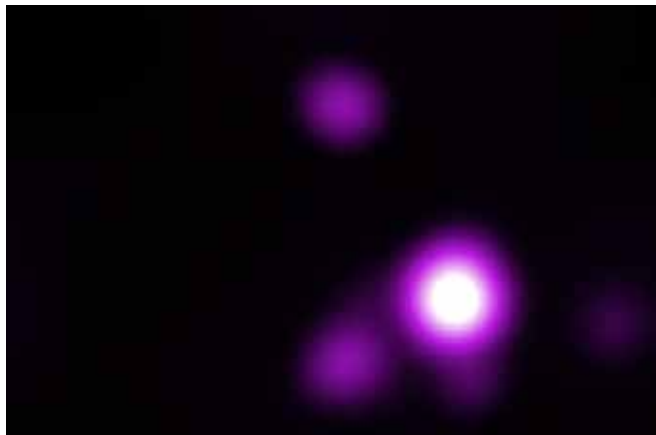


Illustration de la fusion de deux étoiles à neutrons produisant un trou noir (blanc) et une explosion de rayons gamma générée par un jet ou un faisceau étroit de particules à haute énergie (rouge). Initialement, le jet était étroit et indétectable par Chandra, mais au fil du temps, il s'est ralenti et évasé (bleu) en heurtant la matière environnante, de sorte que le jet a pu être vu par Chandra. Ce jet et son homologue symétrique ont probablement été générés par la matière tombant sur le trou noir après sa formation.
(NASA/CXC/K. DiVona)

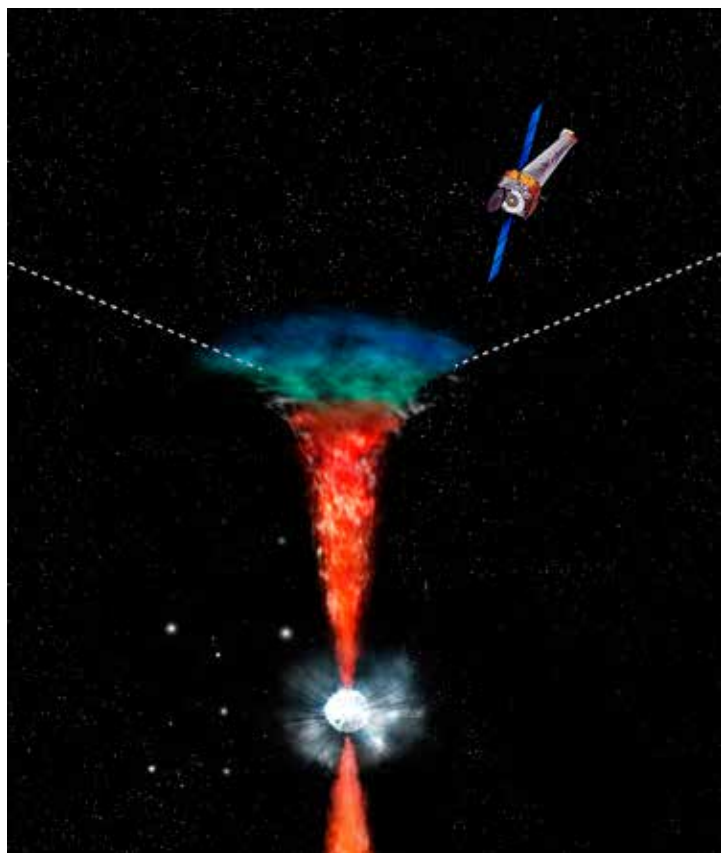
Le fait d'observer quelque chose d'autre que le jet est une aubaine pour les astronomes qui espèrent ainsi obtenir des informations sur ce nouvel objet compact.

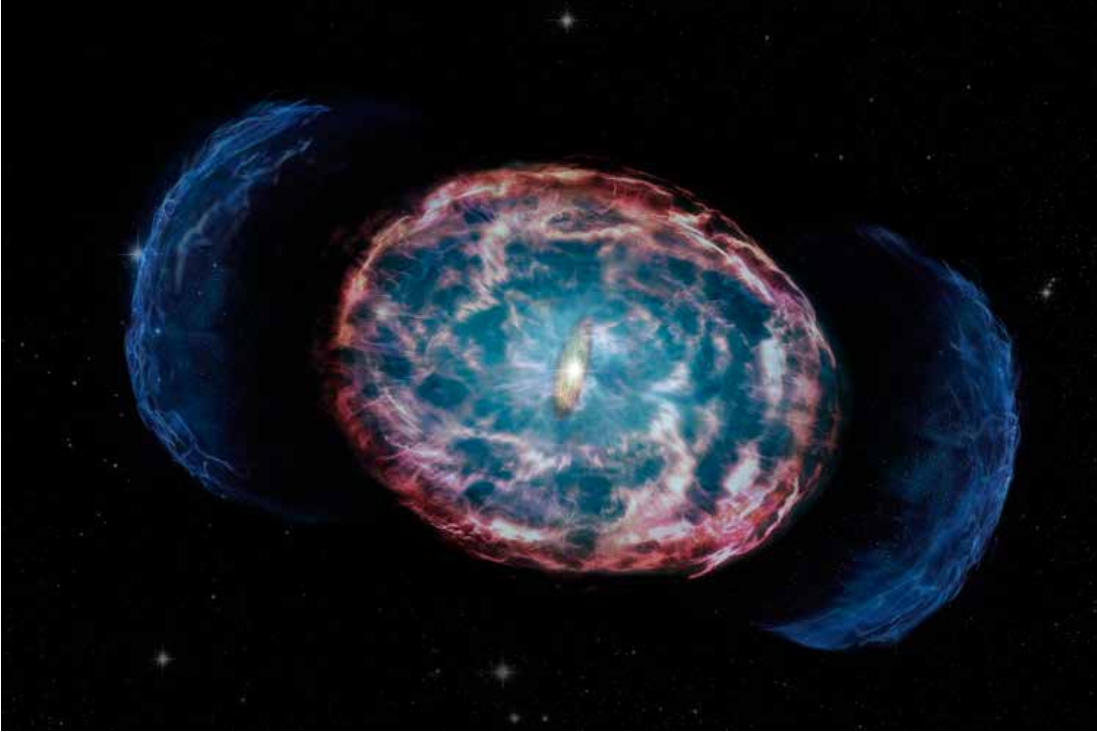
L'hypothèse d'un effondrement différé, prédit par la théorie, n'est cependant pas la seule. L'émission pourrait provenir des débris d'un disque d'accrétion tombant progressivement dans le trou noir, mais les astronomes pensent cela peu probable.

Si les étoiles à neutrons fusionnées s'effondraient directement en un trou noir sans étape intermédiaire, il serait très difficile d'expliquer l'excès de rayons X observé actuellement, car il n'y aurait pas de surface dure sur laquelle les objets pourraient rebondir à grande vitesse. Tout s'effondrerait simplement.

De toutes façons, ce serait la première fois que l'on verrait la rémanence d'une kilonova, ou la première fois que l'on observerait de la matière tombant sur un trou noir après une fusion d'étoiles à neutrons – deux phénomènes du plus grand intérêt.

Le rayonnement ne nous parvient que maintenant car il a fallu du temps pour que les éjectas soient ralentis dans le milieu interstellaire et pour que l'énergie cinétique des éjectas soit convertie en chaleur par les chocs. Il s'agit du même processus que celui qui produit les rayons X et radio pour le jet, mais comme le jet est beaucoup moins dense, il est immédiatement ralenti dans le gaz ambiant et rayonne dans les domaines rayons X et radio dès les tout premiers temps.





Chandra est maintenant le seul observatoire encore capable de détecter la lumière de cette collision cosmique. Des observations de suivi par Chandra et des radiotélescopes pourraient toutefois permettre de choisir entre les explications possibles. S'il s'agit d'une rémanence de kilonova, l'émission radio devrait croître et être détectée à nouveau dans les prochains mois ou années : si les rayons X étaient produits par la matière tombant sur un trou noir nouvellement formé, la production de rayons X resterait stable ou déclinerait rapidement, et aucune émission radio ne serait détectée au fil du temps.

Les scientifiques espèrent d'autres détections de fusion d'étoiles à neutrons par LIGO, Virgo et d'autres télescopes, afin que la série d'événements associés à ce phénomène puisse être déterminée avec plus de précision et contribuer à révéler la physique de la formation des trous noirs.

Dans cette représentation artistique, la fusion de deux étoiles à neutrons forme un trou noir (caché au centre de l'image) et génère des jets opposés de particules à haute énergie (bleu) qui chauffent la matière autour des étoiles, la faisant émettre des rayons X (nuages rougeâtres). L'observatoire Chandra X-ray détecte encore aujourd'hui des rayons X provenant de cet événement. Ils pourraient être produits par une onde de choc dans la matière entourant le trou noir, ou par de la matière tombant violemment dans le trou noir (disque jaunâtre autour du bulbe central). (NASA, CXC, Northwestern U./A. Hajela ; M. Weiss)

Regroupement de taches de magnétar

Basé sur un communiqué NASA

Pour la première fois, NICER (Neutron star Interior Composition Explorer) embarqué sur la station spatiale a observé la fusion de taches X de plusieurs millions de degrés à la surface d'un magnétar.

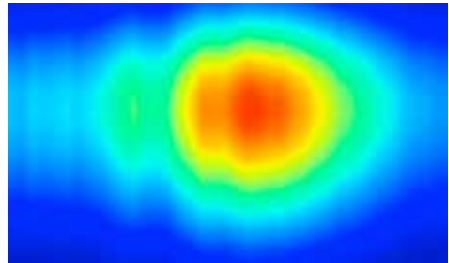
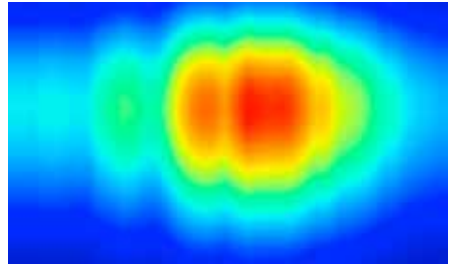
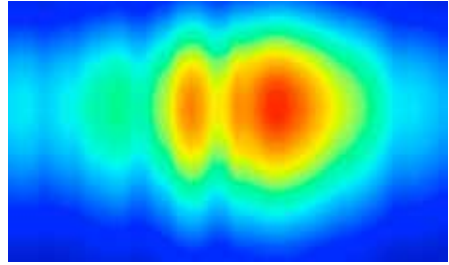
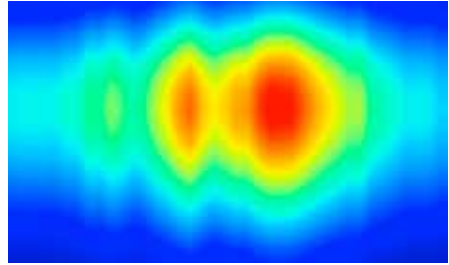
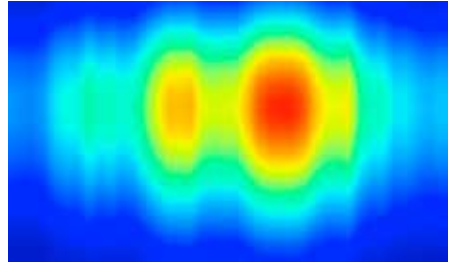
NICER a suivi la façon dont trois points chauds émettant des rayons X se sont lentement déplacés à la surface de l'objet tout en diminuant de taille, offrant ainsi le meilleur aperçu à ce jour de ce phénomène. La plus grande tache a fini par fusionner avec une plus petite, ce qui est quelque chose qui n'avait pas encore été vu.

Cet ensemble unique d'observations aidera les scientifiques à mieux comprendre l'interaction entre la croûte et le champ magnétique de ces objets extrêmes.

Un magnétar est un type d'étoile à neutrons, le noyau effondré laissé par l'explosion d'une étoile massive. Comprimant une masse supérieure à celle du Soleil en une boule d'environ 20 kilomètres de diamètre, une étoile à neutrons est composée d'une matière si dense qu'une cuillerée à café pèserait autant qu'une montagne sur Terre.

Ce qui distingue les magnétars, c'est qu'ils possèdent les champs magnétiques les plus puissants connus, mille fois plus puissants que ceux d'une étoile à neutrons typique.

Changements observés en un mois dans l'émission maximale de rayons X de SGR 1830, telle qu'elle a été observée par NICER. Les zones vertes, jaunes et rouges indiquent les régions produisant le plus grand nombre de rayons X et sont censées représenter les points chauds du magnétar. Ces taches changent d'intensité et de position les unes par rapport aux autres au fil du temps. Pour la première fois, les astronomes ont enregistré la fusion de deux de ces points.
(NASA/NICER/G. Younes et al. 2022)





NICER attaché à la station spatiale ISS. (NASA)

Le champ magnétique représente une énorme réserve d'énergie qui, lorsqu'elle est perturbée, peut provoquer une explosion intense pouvant durer des mois ou des années.

Le 10 octobre 2020, l'observatoire spatial Neil Gehrels Swift a découvert une telle explosion en provenance d'un nouveau magnétar, appelé SGR 1830-0645 (SGR 1830 en abrégé). Celui-ci est situé dans la constellation de l'Écu (Scutum) et l'on estime sa distance à environ 13 000 années-lumière. Swift a dirigé son télescope X vers la source, détectant des impulsions répétées qui ont révélé que l'objet tournait sur lui-même en 10,4 secondes.

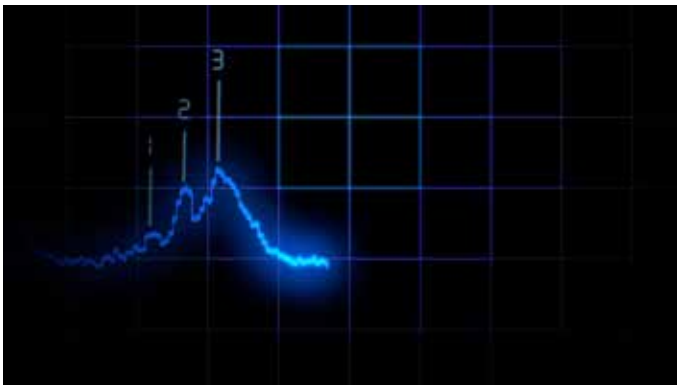
Les mesures du NICER effectuées le même jour montrent que l'émission X présentait trois pics rapprochés à chaque rotation. Ces pics étaient produits par trois taches beau-

coup plus chaudes que leur environnement, qui apparaissaient et disparaissaient à tour de rôle.

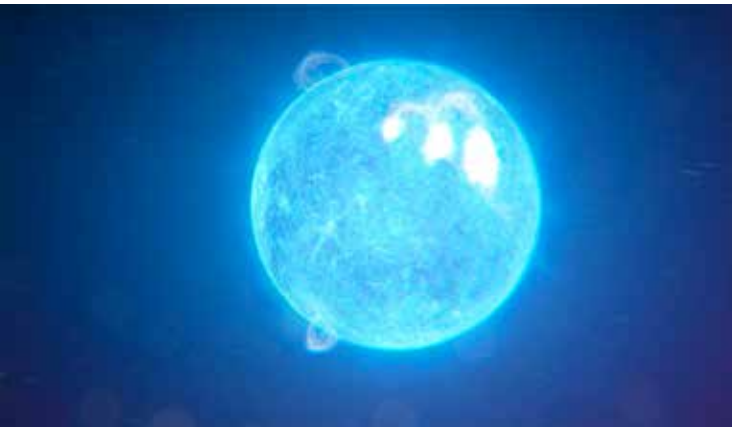
NICER a observé SGR 1830 presque quotidiennement depuis sa découverte jusqu'au 17 novembre, date après laquelle le Soleil était trop proche du champ de vision pour une observation sûre. Au cours de cette période, les pics d'émission se sont progressivement déplacés, se produisant à des phases légèrement différentes de la rotation du magnétar.

Les résultats favorisent un modèle dans lequel les taches se forment et se déplacent en raison du mouvement de la croûte, de la même manière que le mouvement des plaques tectoniques sur Terre entraîne une activité sismique.

La croûte d'une étoile à neutrons est extrêmement solide, mais le champ magnétique



Courbe de lumière montrant l'arrivée des flashes X de SGR1830. (NASA/NICER)



intense d'un magnéтар peut la solliciter au-delà de ses limites. Comprendre ce processus est un défi majeur pour les théoriciens, et SGR 1830 permet aux scientifiques de porter un regard beaucoup plus direct sur la façon dont la croûte se comporte sous une contrainte extrême.

L'équipe pense que ces observations révèlent une seule région active où la croûte a partiellement fondu, se déformant lentement sous la contrainte magnétique. Les trois points chauds en mouvement représentent probablement les endroits où les boucles coronales – semblables aux arches de plasma brillantes observées sur le Soleil – se connectent à la surface. L'interaction entre les boucles et le mouvement de la croûte est à l'origine du comportement de dérive et de fusion.

Illustration du magnéтар avec les trois taches qui se rapprochent pour fusionner.
(NASA/NICER)

L'intérieur de la planète Mercure se dévoile un peu plus grâce à son champ magnétique

Basé sur un communiqué INSU

Une analyse poussée de la morphologie du champ magnétique de Mercure a permis de caractériser la structure de son noyau métallique – noyau occupant jusqu'à 85% du rayon de la planète.

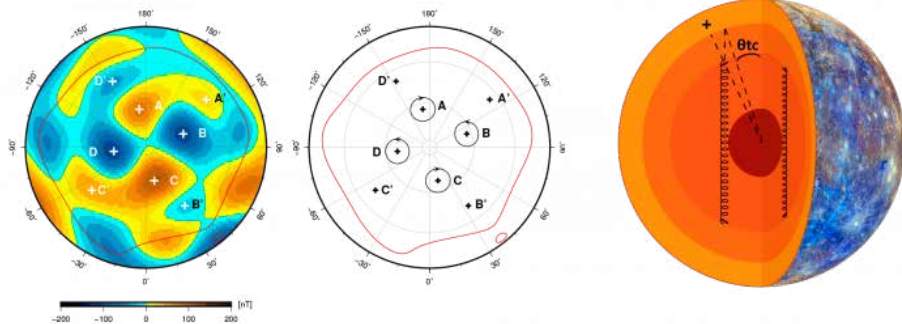
Le champ magnétique de Mercure présente globalement une structure axisymétrique, alignée sur l'axe de rotation de la planète. Il y a également des structures plus petites, notamment près des pôles de la planète. Sur Terre, de telles structures existent aussi. Elles sont reliées à la nature même des mouvements générant le champ magnétique à l'intérieur du noyau liquide. Ces mouvements s'organisent schématiquement le long de tubes parallèles à l'axe de rotation et reliant les deux hémisphères. Le noyau interne, solide, constitue un obstacle physique à ces cylindres. Ils sont tangents à la partie solide et il y a deux zones polaires au sein desquelles de tels mouvements ne vont pas d'un hémisphère à l'autre. Au bord de ces zones, les mouvements vont avoir tendance à concentrer les lignes du champ magnétique (ou à les éloigner, selon le sens du

mouvement). On peut ainsi visualiser le rayon de la « graine » en regardant à quelle latitude ces structures caractéristiques sont présentes.

Nous observons à la surface de Mercure une signature similaire mais plus faible que dans le cas de la Terre, au moins autour du pôle nord de la planète. Ces structures caractéristiques sont présentes à une colatitude d'environ 25°. Pour interpréter cette signature en termes de structure interne, il est nécessaire de combiner des hypothèses sur la composition du noyau et son degré de stratification. Le noyau interne de Mercure a un rayon qui pourrait être compris entre 500 et 660 km, pour une épaisseur correspondante de la couche stratifiée variant de 880 à 500 km.

Vue polaire de l'hémisphère nord du champ magnétique radial non-axisymétrique à la surface du noyau de Mercure. Les lettres indiquent l'emplacement de zones où les lignes de champ sont concentrées (B et D) ou éloignées (A et C). Elles sont localisées à une colatitude moyenne de 25°. La figure centrale associe chaque lettre à une cellule de convection. La figure de droite schématise la structure interne de Mercure, avec des mouvements convectifs axiaux localisés dans la zone comprise entre la graine solide et la zone stratifiée du noyau, qui est sous le manteau. Ces mouvements concentrent ou diffusent les lignes de champ à la surface du noyau.

(Wardinski I. / Amit H. / Langlais B. / Thébault E. / Beauvais S.)





Étoiles mal placées

Basé sur un communiqué Georgia State University

(CC0 Public Domain)

Les étoiles massives font partie des objets les plus brillants de la Voie lactée. Mais, parce qu'elles brûlent leur hydrogène rapidement, leur durée de vie est courte, peut-être 10 millions d'années contre 10 milliards d'années pour le Soleil. Cela signifie qu'elles ont peu de temps pour s'éloigner de leur lieu de naissance. La plupart des étoiles massives se trouvent dans la partie du disque plat de notre galaxie, où les nuages de gaz sont suffisamment denses pour favoriser la naissance d'étoiles et où se trouvent les amas jeunes.

Alors, comment expliquer qu'une étoile massive soit découverte loin du disque ?

Les astronomes trouvent en effet des étoiles massives très loin de leur lieu d'origine, si loin, en fait, qu'il faut plus de temps que la durée de vie de l'étoile pour y arriver. C'est le cas de HD93521 qui se trouve à environ 3 600 années-lumière au-dessus du plan de la Voie lactée. Une nouvelle étude révèle que le temps mis pour atteindre cet endroit dépasse de loin l'âge prédit de cette étoile.

Les astronomes ont utilisé les dernières estimations de distance fournies par Gaia, ainsi que des données spectrales pour déterminer la masse et l'âge de l'étoile ainsi que son mouvement dans l'espace. Ils ont découvert que HD93521 a une masse environ 17 fois supérieure à celle du Soleil, ce qui conduit à un âge d'à peu près 5 millions d'années. En revanche, le mouvement de l'étoile indique que son voyage depuis le disque a pris beaucoup plus de temps, environ 39 millions d'années.

Les astronomes expliquent cette étrange différence entre la durée de vie de l'étoile et la durée de son voyage en suggérant que HD93521 a quitté le disque galactique sous la forme de deux étoiles de masse inférieure et de plus longue durée de vie.

La clé du mystère réside dans le fait que HD93521 est l'une des étoiles qui tourne le plus vite dans la galaxie. Cette rotation peut être le résultat de la conservation du moment cinétique lors de la coalescence de deux astres.

HD93521 n'est pas le seul cas d'une étoile massive trouvée si loin de son lieu de naissance. Les astronomes examinent une binaire massive éloignée, IT Librae, qui est probablement représentative du stade juste avant une fusion. Cette étoile montre des éclipses. L'étude des variations de l'intensité lumineuse et des mouvements détectés dans les spectres permet d'estimer les masses stellaires. L'âge prédit est bien inférieur au temps de parcours de IT Librae depuis le disque. Mais l'étude révèle également que l'étoile la plus légère a déjà commencé à transférer une grande partie de sa masse à sa compagne, initiant ainsi le processus qui peut éventuellement conduire à une fusion. Cela signifie que l'étoile la plus massive est en réalité plus ancienne qu'il n'y paraît, ayant commencé sa vie comme une étoile de masse inférieure.

En plus de résoudre une énigme, ces exemples constituent des indices clés sur la façon dont les étoiles massives en rotation rapide sont capables de créer des trous noirs avec de grands spins.

Disques protoplanétaires

Basé sur un communiqué University of Warwick

Les planètes naissent de disques protoplanétaires – des nuages massifs de gaz et de poussières en rotation. Lorsque ces disques sont jeunes, ils forment des structures en spirale, avec toute la matière entraînée dans des bras denses par l'effet gravitationnel massif de la rotation du disque.

Cette structure est essentielle à la formation de planètes par instabilité gravitationnelle, mais les astronomes ont découvert un nombre surprenant de disques protoplanétaires qui, bien qu'ils soient suffisamment massifs pour avoir une structure en spirale, n'en présentent aucune trace.

Le passage rapproché d'étoiles et de nuages de gaz pourrait avoir une influence déterminante sur la formation des planètes. Les distorsions qui en résultent peuvent empêcher la formation de planètes par le biais de l'instabilité gravitationnelle. Les scientifiques ont modélisé comment des événements cosmiques de ce type peuvent déformer les disques protoplanétaires. Les structures en spirale, qui se fragmentent en amas pour finir par former des planètes, sont les endroits où la structure du disque peut être perturbée. Ces perturbations échauffent le disque en induisant de petites perturbations de la vitesse orbitale du gaz. Le gaz doit être froid pour pouvoir s'agglutiner en poches denses, si bien qu'avec la montée de la température, la structure du bras en spirale est effacée.

Un disque protoplanétaire peut être déformé de plusieurs façons. Par exemple, si un objet de grande taille, comme une étoile ou un nuage massif passe à proximité, ou encore si le disque contient une binaire dont l'orbite n'est pas alignée avec le disque.

Ces dernières années, les preuves de la présence de disques protoplanétaires déformés ont augmenté de manière significative, ce qui suggère qu'ils sont plus fréquents dans l'Univers qu'on ne le pen-

sait. Cela fournit également une explication potentielle pour le grand nombre de disques protoplanétaires massifs qui ne présentent pas de structure spirale. Ces disques ne se forment pas toujours de manière isolée. Au contraire, ils sont dans un environnement chaotique, avec beaucoup d'étoiles à proximité, et il se peut qu'une étoile passe tout près et que l'interaction gravitationnelle suffise à provoquer cette déformation.



Disque protoplanétaire avant, pendant et après une déformation.
(S. Rowther et al, 2022)

Proxima du Centaure

Basé sur un communiqué ESO

Le VLT (Very Large Telescope) de l'ESO au Cerro Paranal a fourni des signes de la présence d'une planète encore inconnue en orbite autour de Proxima du Centaure, l'étoile la plus proche du Soleil (à une distance de 4 années-lumière). Cette planète serait la troisième détectée dans le système de Proxima et la plus légère. Avec une masse équivalente à un quart de celle de la Terre, cette planète est également l'une des exoplanètes les plus légères jamais détectée.

Cette découverte montre que notre voisin semble regorger de mondes intéressants, à portée d'études et d'explorations futures.

La planète, dénommée Proxima d, tourne autour de Proxima à une distance d'environ quatre millions de kilomètres, soit moins d'un dixième de la distance de Mercure au Soleil, et ne met que cinq jours pour compléter son orbite. Elle se situe en deçà de la zone habitable, c'est-à-dire qu'il y fait trop chaud pour que de l'eau liquide puisse se maintenir en surface.

L'étoile est déjà connue pour abriter une ou deux autres planètes : Proxima b, une planète d'une masse comparable à celle de la Terre qui tourne autour de l'étoile en 11 jours et se trouve dans la zone habitable, et la candidate Proxima c, qui est sur une orbite beaucoup plus large, parcourue en cinq ans.

Proxima b a été découverte il y a quelques années à l'aide de l'instrument HARPS sur le télescope de 3,6 mètres de l'ESO à La Silla. La découverte a été confirmée en 2020 lorsque les scientifiques ont observé le système de Proxima avec un nouvel instrument plus précis du VLT, ESPRESSO (Echelle SPectrograph for Rocky Exoplanets and Stable Spectroscopic Observations). C'est au cours de ces observations récentes que les astronomes ont repéré les premiers indices d'un signal correspondant à un objet ayant une orbite de cinq jours. Comme le signal était très faible, l'équipe a dû effectuer des observations



*Vue d'artiste du système de Proxima.
(ESO/L. Calçada)*

de suivi avec ESPRESSO pour confirmer qu'il était dû à une planète, et non pas simplement à des changements dans l'étoile elle-même.

Avec à peine un quart de la masse de la Terre, Proxima d est l'exoplanète la plus légère jamais mesurée à l'aide de la technique des vitesses radiales, surpassant une planète récemment découverte dans le système planétaire L 98-59. La technique fonctionne en détectant de minuscules oscillations dans le mouvement d'une étoile, créées par l'attraction gravitationnelle d'une planète en orbite. L'effet de la gravité de Proxima d est si faible qu'il ne fait varier la vitesse radiale de Proxima Centauri que d'environ 40 centimètres par seconde (1,44 kilomètre par heure).

Cette découverte confirme que la technique des vitesses radiales a le potentiel de dévoiler une population de planètes légères, comme la nôtre, qui devraient être les plus abondantes dans notre galaxie et qui peuvent potentiellement accueillir la vie telle que nous la connaissons.

La recherche d'autres mondes par ESPRESSO sera renforcée par l'Extremely Large Telescope (ELT) de l'ESO, actuellement en construction dans le désert d'Atacama, qui sera essentiel pour découvrir et étudier de nombreuses autres planètes autour d'étoiles proches.

L'astéroïde 16 Psyché

Basé sur un communiqué Brown University

L'astéroïde 16 Psyché, que la NASA a l'intention de visiter avec un vaisseau spatial en 2026, pourrait être moins métallique et plus rocheux qu'on ne le pensait.

Psyché, qui tourne autour du Soleil dans la ceinture d'astéroïdes entre Mars et Jupiter, est le plus grand des astéroïdes de type M, qui sont composés principalement de fer et de nickel, par opposition aux roches silicatées qui constituent la plupart des autres astéroïdes. On pensait donc que Psyché pourrait être le noyau de fer d'une ancienne planète dont la croûte rocheuse et le manteau ont été détruits par une collision.

Cependant, les mesures de la masse et de la densité de Psyché racontent une histoire différente. Les interactions gravifiques avec les corps voisins suggèrent que Psyché est beaucoup moins dense qu'un bloc de fer. Si Psyché est effectivement entièrement métallique, il doit être très poreux – un peu comme une boule géante de laine d'acier avec des proportions presque égales de vide et de matière.

Les astronomes ont donc voulu vérifier s'il était possible pour un corps de fer de la taille de Psyché de maintenir cette porosité de près de 50%. Il s'avère que cela est très peu probable.

Les scientifiques ont créé un modèle informatique, basé sur les propriétés thermiques du fer métallique, pour estimer comment la porosité d'un grand corps évoluerait au fil du temps. Le modèle montre que pour rester très poreux, la température interne de Psyché devrait descendre en dessous de 800 Kelvin très peu de temps après sa formation. À des températures supérieures, le fer aurait été si malléable que la gravité de Psyché l'aurait écrasé et fait disparaître la plupart des cavités. D'après ce que l'on sait des conditions du Système solaire primitif, il est extrêmement

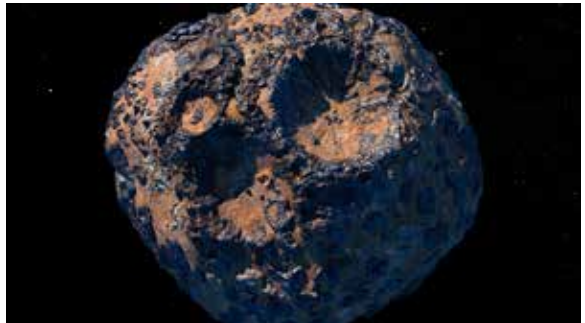
improbable qu'un corps de la taille de Psyché – plus de 200 kilomètres de diamètre – ait pu se refroidir aussi rapidement.

En outre, tout événement qui aurait pu ajouter de la porosité à Psyché après sa formation – un impact massif, par exemple – aurait probablement aussi réchauffé Psyché au-dessus de 800 Kelvin. Ainsi, toute porosité nouvellement introduite aurait eu peu de chances de durer.

Dans l'ensemble, les résultats suggèrent que Psyché n'est probablement pas un corps de fer poreux. Il est plus probable qu'il abrite une composante rocheuse cachée qui abaisse sa densité moyenne. Mais si Psyché a bien une part rocheuse, pourquoi sa surface a-t-elle un aspect aussi métallique ?

Plusieurs explications sont avancées. L'une de ces possibilités est le ferrovulcanisme – des volcans qui crachent du fer. Selon les chercheurs, il est possible que Psyché soit un corps différencié avec un manteau rocheux et un noyau de fer. L'activité ferrovulcanique généralisée a pu faire remonter à la surface des matériaux du noyau, déposant un revêtement métallique sur son manteau rocheux. Des recherches antérieures ont montré que le ferrovulcanisme est possible sur un corps comme Psyché.

Quoi qu'il en soit, les scientifiques auront bientôt une image beaucoup plus claire de ce mystérieux astéroïde. La NASA prévoit de lancer cette année une sonde qui ira à la rencontre de Psyché après un voyage de quatre ans vers la ceinture d'astéroïdes.



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

Méthane et proto-naines brunes

Basé sur un communiqué LMU

Savoir si les naines brunes – ces étoiles « ratées » – se forment comme les étoiles semblables au Soleil fait l'objet d'un débat permanent. Un moyen d'aborder la question est d'étudier les naines brunes les plus jeunes, les proto-naines brunes. Elles n'ont que quelques milliers d'années et sont encore dans les premiers stades de leur formation. Les astronomes aimeraient savoir si leur composition ressemble à celle des protoétoiles « normales », semblables au Soleil.

Le méthane est intéressant pour cet aspect. Il s'agit d'une molécule gazeuse simple et très stable qui, une fois formée, ne peut être détruite que par des processus physiques à haute énergie. On l'a trouvé dans plusieurs planètes extrasolaires. Par le passé, le méthane a joué un rôle fondamental dans l'identification et l'étude des propriétés des naines brunes les plus anciennes de notre galaxie, âgées de plusieurs centaines de millions ou de plusieurs milliards d'années.

Aujourd'hui, pour la première fois, une équipe a détecté sans ambiguïté du méthane deutéré (CH_3D) dans trois proto-naines brunes. Ce résultat inattendu constitue la première détection claire de cet « isotopologue » du méthane en dehors du Système solaire.

Les proto-naines brunes sont des objets très froids et denses et il est difficile d'y détecter les signatures du méthane qui existent dans le proche infrarouge. Contrairement au méthane (CH_4) qui n'a pas de signature spectrale dans le domaine radio en raison de la symétrie de la molécule, le méthane deutéré (CH_3D) peut être observé aux longueurs d'onde millimétriques.

La première détection de CH_3D est d'autant plus étonnante que, selon les théories de la formation des naines brunes, les proto-naines brunes sont plus froides (environ 10 K ou moins) et plus denses que les protoétoiles.

D'après la théorie chimique, le CH_3D se forme préférentiellement lorsque le gaz est chaud, c'est-à-dire à des températures de l'ordre de 20 à 30 K. Les mesures impliquent qu'au moins une fraction significative du gaz dans une proto-naine brune est plus chaude que 10 K, sinon le CH_3D devrait être totalement absent. La mesure de l'abondance de CH_3D fournit aux scientifiques une estimation de l'abondance du méthane.

On ne connaît à ce jour qu'une seule protoétoile semblable au Soleil montrant du CH_3D . En trouver dans trois proto-naines brunes est donc très étonnant. Cela signifie que ces proto-naines présentent une chimie organique riche, chaude, et que ces astres ne sont peut-être pas de simples répliques miniatures des protoétoiles normales.

Étant donné qu'un environnement chaud est propice à la formation de molécules plus complexes, les proto-naines brunes sont des objets intéressants pour la recherche de ces molécules.

Du méthane deutéré a été trouvé dans une proto-naine brune de cette nébuleuse du Serpent. (ESO)



Pontus

Basé sur un communiqué ESA

La Voie lactée est apparue il y a environ 12 milliards d'années. Depuis, elle n'a cessé de croître grâce à une série de fusions avec d'autres galaxies. Ce processus n'est pas tout à fait terminé et, grâce aux données de la sonde Gaia, les astronomes peuvent le voir se dérouler. Cela permet de reconstituer l'histoire de notre galaxie, en révélant l'arbre généalogique des petites galaxies qui ont contribué à faire de la Voie lactée ce qu'elle est aujourd'hui.

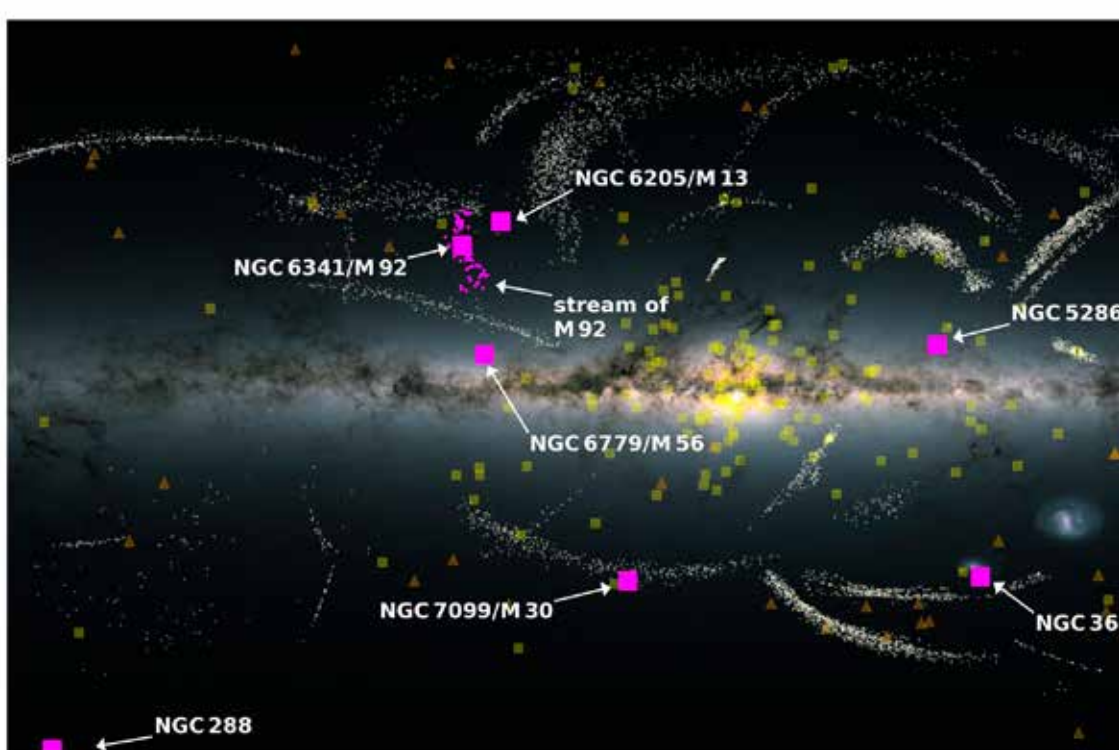
Les derniers travaux se basent sur les dernières données de Gaia (EDR3). Les astronomes ont recherché les restes de petites galaxies ayant fusionné avec la nôtre. Ces restes se trouvent dans le halo qui entoure le disque d'étoiles jeunes et le renflement central

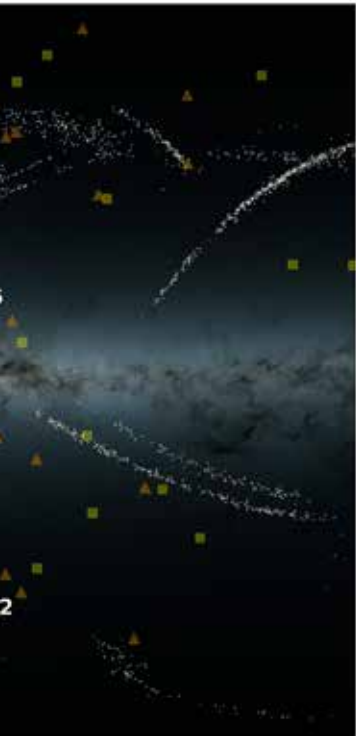
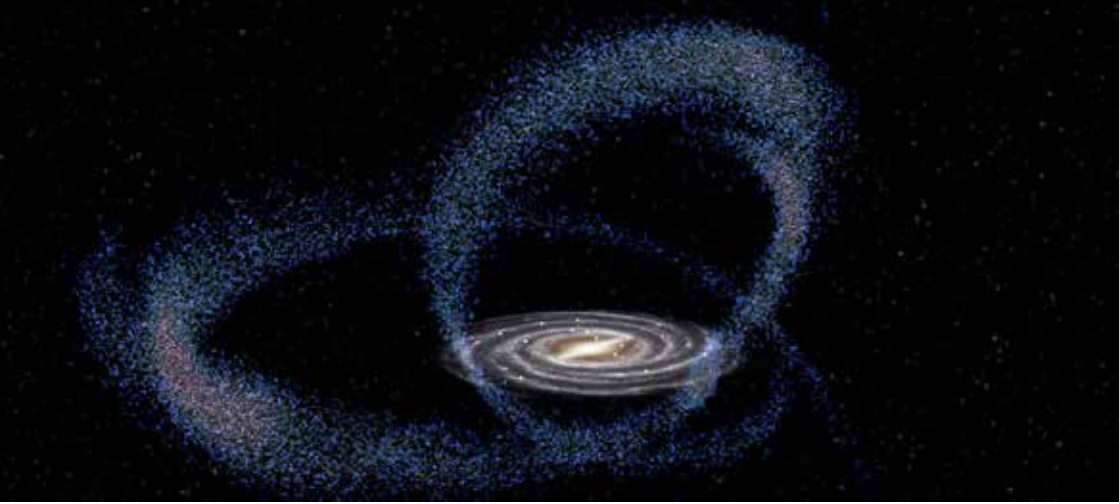
d'étoiles plus vieilles qui constituent les parties les plus lumineuses de la Voie lactée.

Lorsqu'une galaxie tombe dans la nôtre, d'importantes forces de marée la déchirent. Si le processus se déroule lentement, les étoiles de la galaxie qui fusionne forment un vaste courant stellaire que l'on peut facilement distinguer dans le halo. Si le processus se déroule rapidement, les étoiles de la galaxie

La Voie lactée vue par Gaia. Les carrés représentent l'emplacement des amas globulaires, les triangles l'emplacement des galaxies satellites, et les petits points sont des courants stellaires.

Les points et les carrés en violet sont des objets apportés dans la Voie lactée par l'ancienne galaxie Pontus. (ESA/Gaia/DPAC, CC BY-SA 3.0 IGO)





fusionnée sont éparpillées dans le halo et aucune signature claire n'est visible.

La galaxie qui fusionne peut être entourée d'une population d'amas globulaires et de petites galaxies satellites. Les scientifiques ont recherché la trace de ces objets dans les données Gaia.

Au total, ils ont étudié 170 amas globulaires, 41 courants stellaires et 46 satellites de la Voie lactée. En les classant en fonction de leur énergie et de leur quantité de mouvement, ils ont découvert que 25 % de ces objets se répartissent en six, voire sept, groupes distincts. Chaque groupe correspond à une fusion en cours avec la Voie lactée.

Cinq de ces fusions avaient déjà été identifiées lors de recensements stellaires. Il s'agit de Sagittarius, Cetus, Gaia-Sausage/Enceladus, LMS-1/Wukong et Arjuna/Sequoia/I'toi. Mais la sixième est inédite. L'équipe l'a appelée Pontus, ce qui signifie la mer. Dans la mythologie grecque, Pontus est le nom de l'un des premiers enfants de Gaia, la déesse grecque de la Terre.

La façon dont Pontus a été dépecée par la Voie lactée suggère que l'objet est tombé dans la Voie lactée il y a environ huit à dix milliards d'années. Quatre des cinq autres événements de fusion ont probablement eu lieu à cette même époque. Le sixième événement, Sagittarius, est plus récent. Il pourrait avoir eu lieu au cours des cinq ou six derniers milliards d'années. Par conséquent, la Voie lactée n'a pas encore été en mesure de le perturber complètement.

En juin, la mission Gaia publiera son troisième ensemble de données, qui fournira des informations encore plus détaillées sur le passé, le présent et le futur de la Voie lactée.

Du diméthyléther dans un disque protoplanétaire

Basé sur un communiqué ESO

Le réseau ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) a permis de découvrir du méthoxyméthane (CH_3OCH_3 , aussi appelé éther méthylique ou diméthyléther) dans un disque de formation de planètes. Avec neuf atomes, il s'agit de la plus grande molécule identifiée à ce jour dans un tel disque. Il s'agit également d'un précurseur de plus grandes molécules organiques qui peuvent conduire à l'émergence de la vie.

Le méthoxyméthane est une molécule organique souvent observée dans les nuages de formation d'étoiles. On n'en avait encore jamais trouvé dans un disque de formation de planètes. C'est maintenant chose faite, dans une zone dense – un piège à poussières – du disque protoplanétaire de Oph-IRS 48, une étoile située à 440 années-lumière de nous.

On pense que de nombreuses molécules organiques complexes comme le méthoxyméthane apparaissent dans les nuages de formation d'étoiles, avant même la naissance des étoiles. Dans ces environnements froids, les atomes et les molécules simples comme le monoxyde de carbone se collent aux grains de poussière, formant une couche de glace et subissant des réactions chimiques, qui produisent des molécules plus complexes.

Les chercheurs ont récemment découvert que le piège à poussière de IRS 48 est également un réservoir de glace abritant des grains de poussière recouverts de cette glace riche en molécules complexes. C'est dans cette région du disque qu'ALMA a maintenant repéré des traces de la molécule de méthoxyméthane : lorsque la chaleur d'IRS 48 sublime la glace en gaz, les molécules piégées héritées des nuages froids sont libérées et deviennent détectables.

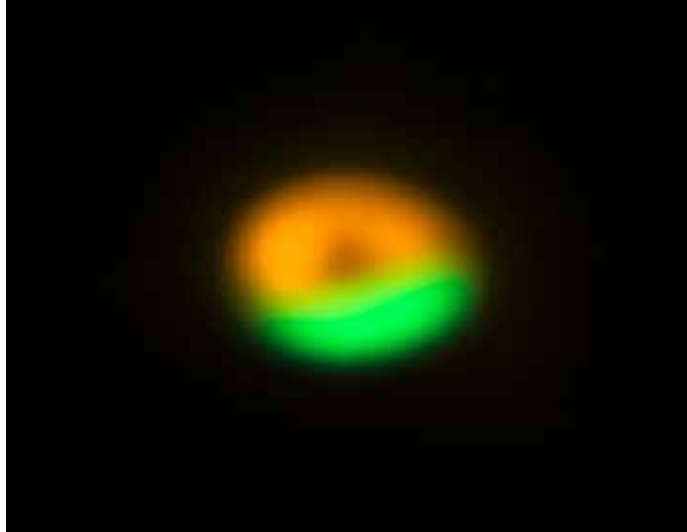


Image ALMA montrant le piège à poussière situé dans le disque qui entoure le système Oph-IRS 48. Ce piège offre un abri aux minuscules particules du disque, leur permettant de s'assembler et de croître en taille puis de survivre seules. La zone de couleur verte indique la localisation des particules de plus grande taille (de l'ordre du millimètre), et donc du piège à poussière découvert par ALMA. L'anneau orange indique la localisation de particules de poussière plus fines (de l'ordre du micron) obtenue à l'aide de l'instrument VISIR installé sur le VLT de l'ESO. (ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/Nienke van der Marel)

La découverte du méthoxyméthane suggère que de nombreuses autres molécules complexes couramment détectées dans les régions de formation d'étoiles peuvent également se cacher dans les zones glacées des disques de formation de planètes. Ces molécules sont les précurseurs de molécules prébiotiques telles que les acides aminés et les sucres, qui sont des briques élémentaires de la vie.

Cratère de Yilan

Basé sur un communiqué NASA - Earth Observatory

En 2019, des chercheurs avaient remarqué ce qui ressemblait à un cratère dans les montagnes du nord-est de la Chine. Des images satellites les ont confortés dans cette hypothèse et ils ont alors pris des dispositions pour étudier cela de près.

L'analyse d'une carotte de forage a montré que le fond du cratère était constitué de sédiments provenant d'un ancien lac, devenu par la suite un marécage. En dessous se trouvait une couche de granite bréchié de 319 mètres d'épaisseur, ainsi que des clastes et des fragments de granite, preuve de l'éclatement du substrat rocheux consécutif à une collision très violente. Ils ont rencontré des matériaux vitrifiés qui ont dû être formés à des températures élevées. Ils ont également mis en évi-

dence des déformations caractéristiques dans des quartz. L'ensemble des propriétés de la carotte constitue une preuve solide de l'impact d'un astéroïde.

Le cratère mesure 1,85 km de diamètre. Son bord sud est érodé, donnant une forme générale en croissant. Le point le plus élevé est à une altitude de 152 mètres au-dessus du sol environnant.

La datation au radiocarbone du charbon de bois présent dans la région et des sédiments lacustres anciens a montré que le cratère s'est formé il y a 46 000 à 53 000 ans – ce qui suggère que l'impact a pu être observé par les premiers humains modernes.

Ce cratère est le second cratère d'impact connu en Chine. Il vient s'ajouter aux 190 cratères répertoriés de par le monde. Le nouveau cratère a été baptisé Yilan, du nom d'une ville voisine.

(NASA)



Naissance de planètes dans un système binaire

Basé sur un communiqué IAA-CSIC

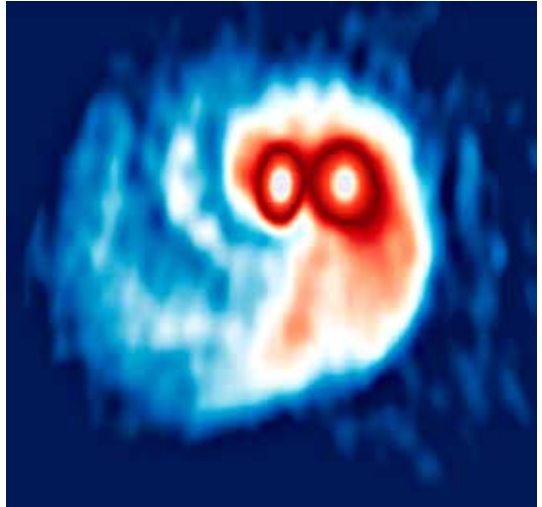
Les modèles de formation des planètes suggèrent que les planètes proviennent de l'agrégation lente de particules de glace et de poussière dans les disques entourant les étoiles en formation. Habituellement, ces modèles ne prennent en compte que des étoiles simples, comme le Soleil. Cependant, la plupart des étoiles forment des couples, et l'on sait encore très peu de choses sur la façon dont les planètes naissent autour d'étoiles jumelles alors que les interactions gravitationnelles jouent un rôle essentiel.

Une nouvelle étude, portant sur l'étoile binaire SVS 13, encore dans sa phase embryonnaire, montre du matériel primordial qui pourrait donner naissance à trois systèmes planétaires. Les observations ont en effet révélé que chaque étoile est entourée d'un disque de gaz et de poussière et qu'un troisième disque, plus grand, est en train de se former autour des deux étoiles.

Le disque extérieur présente une structure en spirale qui alimente les différents disques et, dans chacun d'eux, des systèmes planétaires pourraient se former. Il s'agit d'une preuve évidente de la présence de disques autour des deux étoiles et de l'existence d'un disque commun.

SVS 13 est composée de deux embryons stellaires dont la masse totale est comparable à celle du Soleil. Elle est relativement proche de nous, à environ 980 années-lumière dans le nuage moléculaire de Persée, ce qui permet son étude détaillée. Les deux étoiles du système sont très proches l'une de l'autre, avec une distance d'environ nonante fois celle entre la Terre et le Soleil.

Les travaux ont permis d'étudier la composition du gaz, de la poussière et de la matière ionisée dans le système. En outre, près de trente molécules différentes ont été identifiées autour des deux protoétoiles, dont treize molécules organiques complexes précurseurs de la



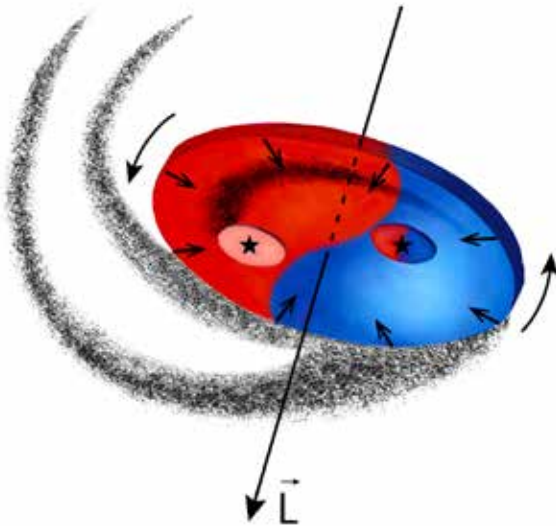
Observations ALMA de la poussière dans les disques de SVS13.

(A.K. Diaz-Rodriguez et al.)

vie (sept d'entre elles étant détectées pour la première fois dans ce système). Cela signifie que lorsque des planètes commenceront à se former autour de ces deux soleils, les éléments constitutifs de la vie seront là.

L'équipe a utilisé les observations de SVS 13 obtenues par le VLA depuis une trentaine d'années, ainsi que de nouvelles données d'ALMA. Le suivi des deux étoiles a permis de tracer leur orbite ainsi que la géométrie et l'orientation du système, de même que de nombreux paramètres fondamentaux, tels que la masse des protoétoiles, la masse des disques et leur température.

Les astronomes avaient été surpris de constater que SVS 13 était une binaire radio, car une seule étoile est visible en optique. Normalement, les embryons stellaires sont détectés en radio, mais ils ne deviennent visibles qu'à la fin du processus de gestation. Il était très étrange de découvrir une paire d'étoiles jumelles dont l'une semblait avoir évolué beaucoup plus rapidement que l'autre. Des séries d'observations ont été effectuées afin de savoir si, dans un tel cas, l'une des deux étoiles pouvait former des planètes. Cela



▲ *Modèle du système SVS 13. Les couleurs indiquent la vitesse radiale du gaz par rapport à la vitesse moyenne (en rouge s'il s'éloigne). L'aspect yin yang résulte de la combinaison des mouvements de rotation et d'accrétion. L'axe porte le vecteur moment angulaire. (A.K. Diaz-Rodriguez et al.)*

a permis de constater que les deux étoiles sont très jeunes et qu'elles peuvent toutes deux former des planètes.

SVS 13 avait suscité de nombreux débats, certaines études considérant qu'elle est extrêmement jeune et d'autres qu'elle est au contraire à un stade plus avancé. Cette nouvelle étude, probablement la plus complète d'un système stellaire binaire en formation, non seulement éclaire la nature des deux protoétoiles et de leur environnement, mais fournit également des paramètres cruciaux pour tester les simulations numériques des premières étapes de la formation des systèmes binaires et multiples.

▼ *Vue d'artiste d'un système proto-binaire. (ESO/L. Calçada)*

