



Astronomie dans le monde

Ondes gravitationnelles

Basé sur un communiqué Caltech

Des années d'observations de pulsars par le réseau NANOGrav (North American Nanohertz Observatory for Gravitational Waves) suggèrent l'existence d'un fond universel d'ondes gravitationnelles de basse fréquence. On pense que ces ondes, dont les périodes se mesurent en années, ont été créées au cours du temps par des trous noirs supermassifs tournant les uns autour des autres avant de fusionner.

Les résultats proviennent de 15 années d'observations avec les radiotélescopes d'Arecibo (Porto Rico), de Green Bank (Virginie-Occidentale) ainsi que du Very Large Array (Nouveau-Mexique), et concernent plus de soixante pulsars agissant comme un réseau de bouées flottant sur un océan d'ondes gravitationnelles. L'effet des ondes gravitationnelles sur les pulsars est extrêmement faible et difficile à détecter, et il faut donc accumuler les données pour renforcer la confiance dans les résultats.

*Le VLA (Very Large Array) au Nouveau Mexique a contribué à la détection du fond d'ondes gravitationnelles.
(NRAO/AUI/NSF)*

Les ondes gravitationnelles ont été proposées par Albert Einstein dès 1916, mais n'ont été directement détectées qu'un siècle plus tard environ, lorsque LIGO a capté pour la première fois les ondes émises lors de la collision de deux trous noirs.

LIGO détecte des ondes gravitationnelles dont la fréquence est beaucoup plus élevée que celles enregistrées par NANOGrav (le nom de NANOGrav vient du fait qu'il détecte des ondes gravitationnelles dans la gamme de fréquence des nanohertz, c'est-à-dire un cycle toutes les quelques années). Les ondes gravitationnelles de haute fréquence proviennent de la fusion de paires de trous noirs de masses stellaires, dans les dernières secondes avant leur collision, tandis que les ondes de basse fréquence sont censées être générées par d'énormes trous noirs tapis au cœur des galaxies et pesant jusqu'à des milliards de



fois autant que le Soleil, qui tournent lentement l'un autour de l'autre pendant des millions d'années avant de fusionner.

Les nouvelles études suggèrent que NANOGrav a capté le bruissement collectif d'ondes gravitationnelles provenant de nombreuses paires de trous noirs supermassifs fusionnant dans tout l'Univers. On peut comparer ce signal à un bruit de fond plutôt qu'aux cris captés par LIGO.

Les ondes gravitationnelles détectées par NANOGrav ne proviennent pas nécessairement toutes de paires de trous noirs supermassifs. D'autres propositions théoriques prévoient également des ondes dans la gamme des ultra-basses fréquences. Une théorie, par exemple, prédit que des défauts unidimensionnels appelés cordes cosmiques peuvent s'être formés dans l'univers primitif, et que ces cordes pourraient dissiper de l'énergie en émettant des ondes gravitationnelles. Une autre proposition suggère que l'Univers n'a pas commencé avec le Big Bang mais avec un Big Bounce, le rebond d'un univers antérieur qui s'était effondré sur lui-même. Les ondes gravitationnelles de l'événement se propageraient encore dans l'espace-temps.

Vue d'artiste d'un couple de trous noirs supermassifs (en haut à gauche) émettant des ondes gravitationnelles. Celles-ci compriment et étirent alternativement les ondes radio émises par les pulsars (en blanc).

(Aurore Simonnet, NANOGrav Collaboration)

Il est également possible que les pulsars ne soient pas des détecteurs parfaits. Ils pourraient présenter une variabilité inconnue qui fausse les résultats de NANOGrav.

L'équipe NANOGrav espère explorer toutes les contributions potentielles du fond d'ondes gravitationnelles tout en continuant à surveiller les pulsars. Le groupe prévoit de décomposer le fond en fonction de la fréquence et de l'origine des ondes.

Le réseau de pulsars de NANOGrav est également connu sous le nom de réseau de synchronisation de pulsars. Les pulsars, qui se sont formés à partir des explosions d'étoiles massives, tournent rapidement avec des périodicités très stables, comme des phares. Leur synchronisation est précise à un niveau de quelques dizaines de nanosecondes, souvent comparable à des horloges atomiques.

Lorsque les ondes gravitationnelles traversent le cosmos, elles étirent et compriment très légèrement le tissu de l'espace-temps, ce qui entraîne un changement infime de la distance entre la Terre et les pulsars, et donc des retards ou des avances dans la synchronisation des éclats des pulsars.

Pour rechercher le bruit de fond des ondes gravitationnelles, les scientifiques ont développé des logiciels pour comparer la synchronisation des paires de pulsars dans leur réseau. Les ondes gravitationnelles modifient cette synchronisation à des degrés différents en fonction de la proximité des pulsars dans le ciel, un schéma calculé théoriquement dès les années 1980.

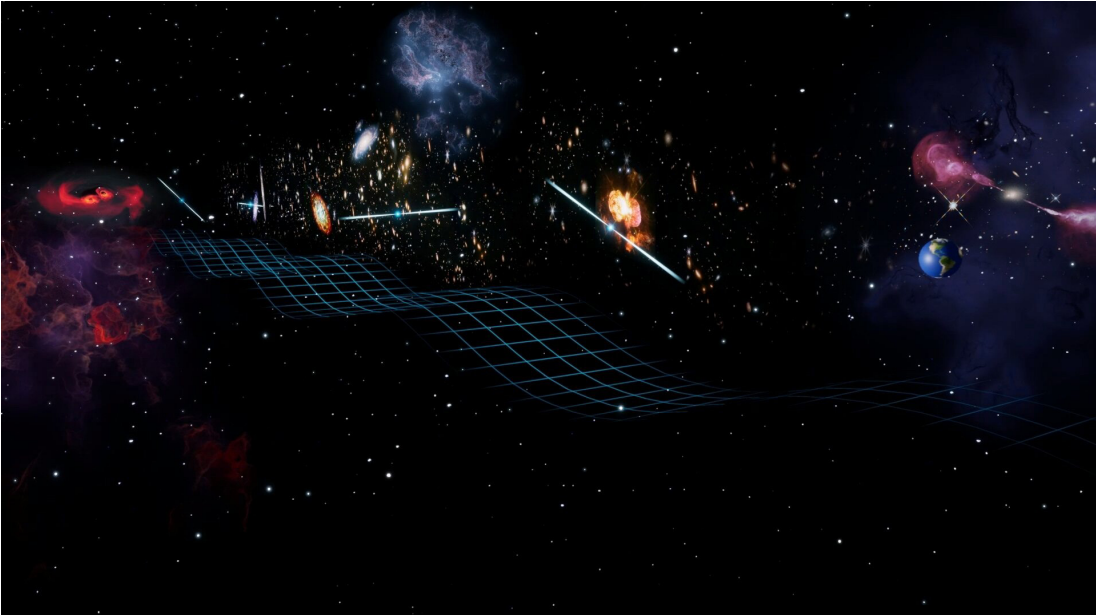
Pour démêler le fond des ondes gravitationnelles, il a fallu identifier une multitude d'effets gênants, tels que le mouvement des pulsars, les perturbations dues aux électrons libres dans notre galaxie, les instabilités des horloges de référence des observatoires radio, et même l'emplacement précis du centre du Système solaire, qui a été déterminé

avec l'aide des missions Juno et Cassini de la NASA.

Le télescope canadien CHIME a rejoint NANOGrav en 2017, et le DSA-2000 (Deep Synoptic Array-2000) devrait suivre. Ce dernier sera constitué de 2000 antennes radio dans le désert du Nevada et devrait commencer ses opérations en 2027.

En fait, des astrophysiciens du monde entier ont été occupés à rechercher ce signal d'onde gravitationnelle. Plusieurs autres collaborations utilisant des télescopes en Europe, en Inde, en Chine et en Australie font état d'indices du même signal dans leurs données. Par le biais du consortium International Pulsar Timing Array, les groupes individuels travaillent ensemble pour combiner leurs données afin de mieux caractériser le signal et rechercher de nouveaux types de sources.

*Une autre représentation des ondes gravitationnelles émises par un couple de trous noirs et rencontrant des pulsars dans leur chemin vers la Terre.
(Keyi "Onyx" Li/U.S. National Science Foundation)*



HD 45166, un nouveau type d'étoile

Basé sur un communiqué ESO

Bien qu'observée depuis plus de 100 ans, l'étoile HD 45166 restait assez mystérieuse. Tout ce que l'on savait est qu'elle est située à environ 3 000 années-lumière dans la constellation de la Licorne, qu'elle a une compagne proche, qu'elle est riche en hélium et qu'elle est plus massive que le Soleil.

L'étude d'autres étoiles similaires riches en hélium laissait penser que les champs magnétiques pourraient résoudre le problème. En effet, on sait que les champs magnétiques influencent fortement le comportement des étoiles.

Les astronomes ont entrepris d'étudier l'étoile en utilisant plusieurs installations à travers le monde. Les principales observations ont été réalisées en février 2022 à l'aide d'un instrument du télescope CFH (Canada-France-Hawaii) capable de détecter et de mesurer les champs magnétiques. L'équipe s'est également appuyée sur des données d'archives obtenues avec l'instrument FEROS (Fiber-fed Extended Range Optical Spectrograph) à l'observatoire de La Silla de l'ESO au Chili.

Il est apparu que l'étoile possède un champ magnétique incroyablement puissant (43 000 gauss), ce qui fait de HD 45166 l'étoile massive la plus magnétique découverte à ce jour. La surface entière de l'étoile à hélium est aussi magnétique que les aimants les plus puissants fabriqués par l'homme.

Cette observation marque la découverte de la toute première étoile massive magnétique à hélium. En outre, l'objet fournit des indices sur l'origine des magnétars, des étoiles mortes compactes dotées de champs magnétiques au moins un milliard de fois plus puissants que celui de HD 45166. Les calculs suggèrent que cette étoile terminera sa vie sous la forme d'un magnétar. En s'effondrant sous l'effet de sa propre gravité, son champ magnétique se renforcera et l'étoile finira par devenir un noyau très compact doté d'un champ magnétique d'environ cent mille milliards de gauss – le type d'aimant le plus puissant de l'Univers.

Les astronomes ont également découvert que HD 45166 est moins massive qu'on ne le croyait, environ deux fois la masse du Soleil, et que la distance à sa compagne est plus grande qu'on ne le pensait jusqu'à présent. HD 45166 s'est probablement formée par la fusion de deux petites étoiles riches en hélium.



Vue d'artiste de l'étoile HD 45166. Les vents intenses de particules qui s'en éloignent sont piégés par un champ magnétique intense.

Les astronomes pensent que cette étoile terminera sa vie sous la forme d'un magnétar, un cadavre stellaire compact et hautement magnétique. À l'arrière-plan, nous apercevons la compagne de HD 45166, une étoile bleue normale.
(ESO/L. Calçada)

La nébuleuse de vent de pulsar de Vela

Basé sur un communiqué NASA

Il y a environ 10 000 ans, les photons émis lors de l'explosion d'une étoile géante de la constellation Vela atteignaient la Terre. Cette supernova avait laissé derrière elle un pulsar dont l'éclat varie au rythme d'une rotation rapide.

Le pulsar Vela, situé à environ 1 000 années-lumière de la Terre, mesure environ 25 kilomètres de diamètre et tourne 11 fois par seconde, plus rapidement qu'un rotor d'hélicoptère.

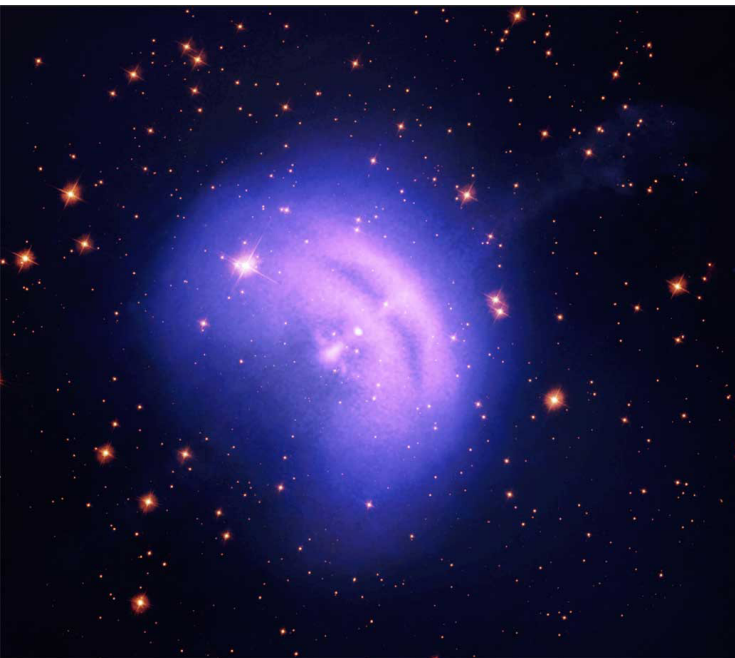
De la surface de ce pulsar émergent des vents de particules qui se déplacent à une vitesse proche de celle de la lumière, créant un méli-mélo chaotique de particules chargées et de champs magnétiques qui s'écrasent sur le gaz environnant. On appelle un tel objet une nébuleuse de vent de pulsar (PWN, pour

Pulsar Wind Nebula), ou encore un plérion (du grec πλέρης, pleres, plein).

Le télescope spatial IXPE (Imaging X-ray Polarimetry Explorer) a observé récemment ce plérion et a obtenu les toutes premières données de polarisation dans le domaine des rayons X (en bleu sur l'image ci-jointe).

Cette observation de polarisation des rayons X ajoute une pièce au puzzle de la nébuleuse du pulsar de Vela. En la cartographiant avec une résolution sans précédent, IXPE a dévoilé le champ magnétique dans la région centrale, montrant un accord avec les résultats obtenus à partir d'images radio de la nébuleuse externe.

Dans l'image ci-dessous, un trait oblique pointant vers le coin supérieur droit correspond à un jet de particules de haute énergie jaillissant du pulsar à la moitié de la vitesse de la lumière.



La nébuleuse de vent de pulsar dans Vela. Le bleu clair représente les données de polarisation X obtenues par IXPE. Les couleurs rose et violet correspondent aux données X de Chandra, qui avait observé Vela plusieurs fois auparavant. Le télescope spatial Hubble de la NASA a fourni l'arrière-plan stellaire. (IXPE/NASA/MSFC/ Fei Xie & Chandra/ NASA/CXC/SAO; NASA/ STScI Hubble/Chandra J. Schmidt, K. Arcand & N. Wolk)

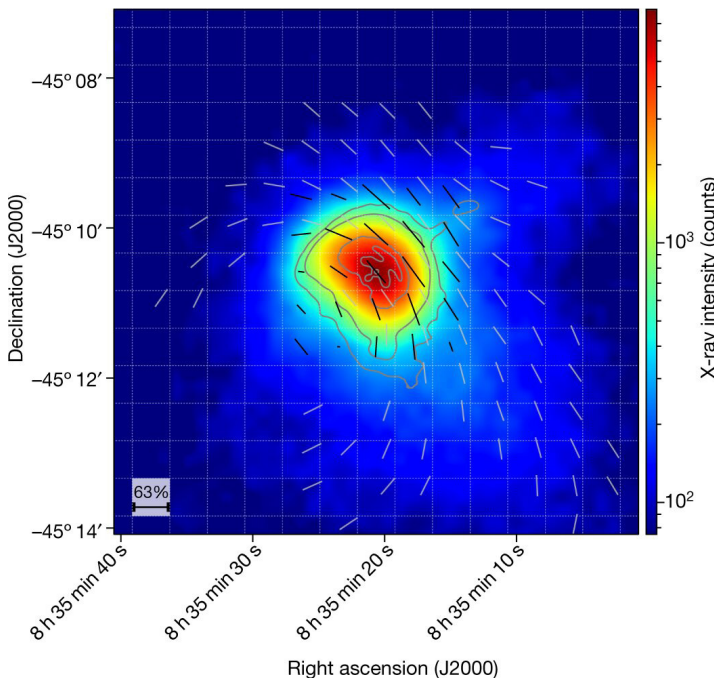
Il s'agit du plus haut degré de polarisation jamais mesuré dans une source de rayons X cosmique. Une polarisation élevée signifie que les champs électromagnétiques sont bien organisés; ils sont alignés dans des directions spécifiques et varient en fonction de leur position dans la nébuleuse. Les rayons X détectés par IXPE proviennent de l'émission synchrotron d'électrons de haute énergie tournant en spirale le long des lignes de force du champ magnétique de la nébuleuse de vent de pulsar. Les rayons X hautement polarisés signifient que ces champs magnétiques doivent également être bien organisés.

On pense que les arcs de rayons X (en rose) marquent les bords des régions où le vent du pulsar crée une onde de choc et accélère les particules jusqu'à de hautes énergies. Le pulsar lui-même est situé dans la tache blanche centrale. Les couleurs rose et violet correspondent aux données de l'observatoire X Chandra, qui a observé Vela plusieurs fois auparavant.

La mesure de la polarisation permet aux scientifiques de mieux comprendre comment un objet cosmique comme un pulsar accélère les particules à des vitesses élevées.

Contrairement aux restes de supernova qui ont une coquille de matière autour d'eux, la forte polarisation des rayons X suggère que les électrons n'ont pas été accélérés par les chocs turbulents qui semblent importants dans d'autres sources de rayons X. Au lieu de cela, il doit y avoir un autre processus impliqué, tel que la reconnexion magnétique, qui implique la rupture et la jonction des lignes de champ magnétique. C'est un moyen de convertir l'énergie magnétique en énergie cinétique de particules.

Les données IXPE suggèrent également que le champ magnétique est aligné comme une structure en forme de haricot autour de l'équateur du pulsar. Cette forme correspondait aux attentes des scientifiques.



Dans cette image IXPE de la nébuleuse du pulsar de Vela, les couleurs représentent différentes intensités de rayons X. Les traits noirs donnent les directions du champ magnétique basées sur les données IXPE et les traits blancs donnent les directions du champ magnétique basées sur les données radio de l'Australia Telescope Compact Array. Les contours en gris montrent l'intensité des rayons X estimée à partir des données de Chandra. Le pulsar est situé près du centre de l'émission X. (Xie et al, 2022, Nature)

Quand les étoiles s'alignent

Basé sur un communiqué University of Manchester

Un curieux alignement des nébuleuses planétaires avait été constaté il y a une dizaine d'années, mais il était resté inexpliqué.

De nouvelles données obtenues avec le VLT de l'ESO et le télescope spatial Hubble ont permis de confirmer cet alignement. Elles ont aussi révélé que ce phénomène est associé à un groupe particulier d'étoiles, les binaires serrées.

Pour arriver à ces résultats, les chercheurs ont étudié 136 nébuleuses planétaires confirmées, dans le renflement central de la Galaxie, à l'aide du VLT. Ils ont également réexaminé et remesuré 40 d'entre elles en utilisant des images à haute résolution prises par le télescope spatial Hubble.

Les nébuleuses planétaires sont des nuages de gaz expulsés par des étoiles en fin de vie – le Soleil en formera une dans cinq milliards d'années environ. Les nuages éjectés sont en quelque sorte des fantômes de leurs étoiles. Ils forment de belles structures, souvent symétriques, telles qu'un sablier ou un papillon.

Les astronomes ont étudié un groupe de nébuleuses planétaires se trouvant dans le ren-

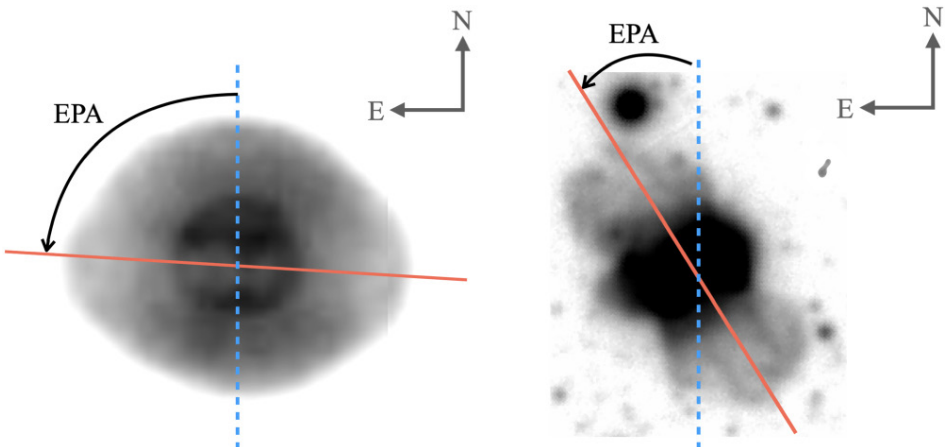
flement du centre galactique. Ces nébuleuses sont nées à des moments différents et ont passé leur vie dans des endroits complètement différents. Cependant, leurs formes semblent s'aligner dans l'espace presque parallèlement au plan de la Voie lactée.

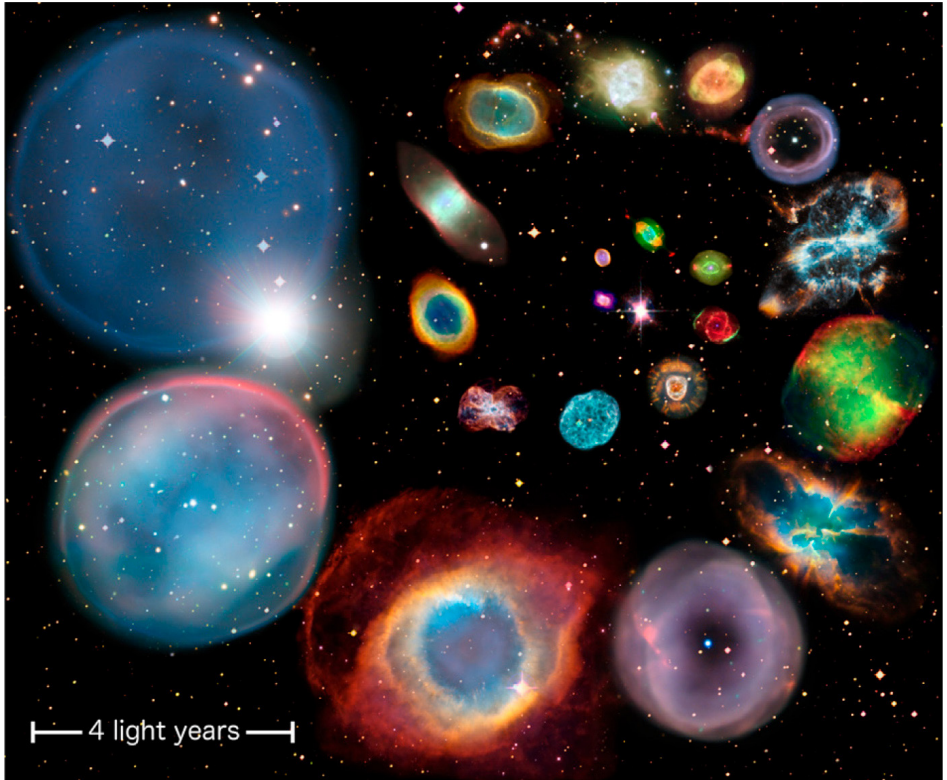
La nouvelle recherche a révélé que l'alignement n'est présent que dans les nébuleuses planétaires entourant des binaires serrées dont l'orbite relative est plus petite que celle de Mercure autour du Soleil.

Les nébuleuses planétaires autour d'étoiles simples ne montrent pas d'alignement particulier, ce qui suggère que l'alignement pourrait être lié à la distance entre les composants des binaires au moment de leur naissance.

Les nébuleuses planétaires ouvrent ainsi une fenêtre sur le cœur de notre galaxie et ces nouveaux résultats permettent d'approfondir

Estimation de l'orientation de l'axe qui représente le mieux la symétrie de nébuleuses planétaires. L'image de gauche montre une nébuleuse elliptique typique, M 1-20 observée par le télescope spatial Hubble. Le panneau de droite montre la nébuleuse bipolaire M 1-34 observée au VLT.
(Shuyu Tan et al., 2023)





notre connaissance de la dynamique et de l'évolution de la région centrale de la Voie lactée.

La formation d'étoiles dans le renflement de la Galaxie est un processus complexe qui implique divers facteurs tels que la gravité, la turbulence et les champs magnétiques. Jusqu'à présent, les preuves manquaient pour déterminer lequel de ces mécanismes pourrait être à l'origine de cet alignement.

Les astronomes suggèrent que les nébuleuses pourraient être façonnées par le mouvement orbital rapide de l'étoile compagne, qui pourrait finir par orbiter à l'intérieur même de l'étoile principale. L'alignement des nébuleuses peut signifier que les systèmes binaires

Montage présentant 22 nébuleuses planétaires classées selon leurs dimensions réelles.

(ESA/Hubble, NASA, ESO, NOAO/AURA/NSF, Q. A. Parker, I. Bojičić.)

serrés se forment préférentiellement avec leurs orbites dans le même plan.

Bien que d'autres études soient nécessaires pour comprendre pleinement les mécanismes à l'origine de l'alignement, les résultats fournissent des preuves importantes de la présence d'un processus général qui a influencé la formation d'étoiles pendant des milliards d'années et dans un vaste volume.

Émission radio d'une naine brune

Basé sur un communiqué University of Sydney

L'étoile WISE J062309.94-045624.6, distante d'environ 37 années-lumière a été découverte en 2011. Bien qu'il ne s'agisse pas de l'étoile la plus froide jamais découverte, c'est la plus froide analysée à ce jour en ondes radio. C'est une naine brune ultra-froide, avec une température de surface de 425°C.

Contrairement aux étoiles normales, les naines brunes sont trop peu massives pour entretenir des réactions de fusion nucléaire. Elles constituent en quelque sorte un chaînon manquant entre les plus petites étoiles qui brûlent de l'hydrogène dans leur cœur et les plus grandes planètes géantes gazeuses, comme Jupiter.

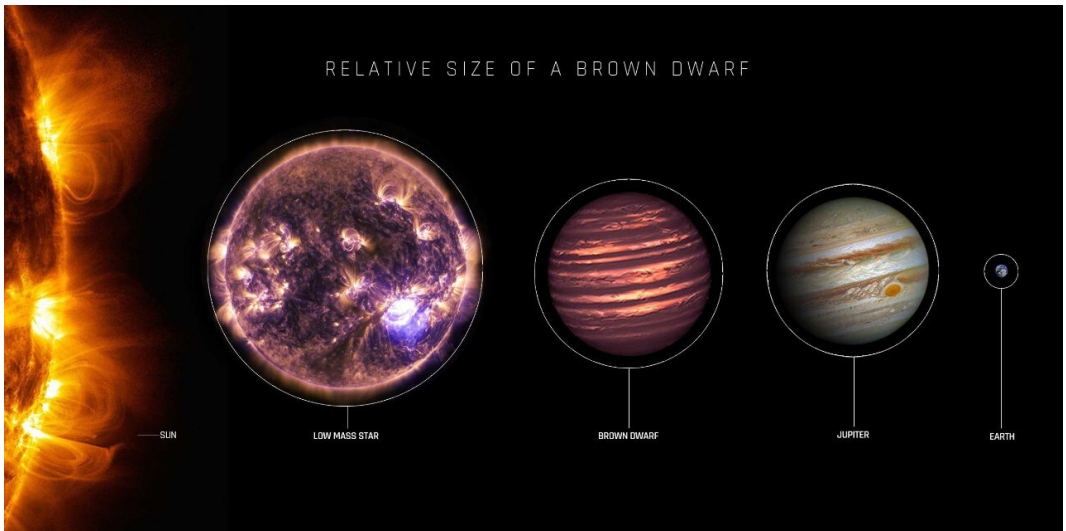
Les observations ont été réalisées avec les réseaux de radiotélescopes ASKAP (Australian Square Kilometre Array Pathfinder) en Australie-Occidentale, ATCA (Australia Telescope Compact Array) près de Narrabri en Nouvelle-Galles du Sud et MeerKAT en Afrique du Sud.

Il est très rare de trouver des étoiles naines brunes ultra-froides produisant des émissions radio comme WISE J062309.94-045624.6. En effet, leur dynamique ne produit généralement pas les champs magnétiques qui génèrent des émissions radio détectables depuis la Terre.

Approfondir nos connaissances sur les naines brunes ultra-froides comme celle-ci devrait aider à comprendre l'évolution des étoiles, y compris la façon dont elles génèrent des champs magnétiques.

Comment la dynamique interne des naines brunes peut produire des ondes radio est une question ouverte. Bien que les astronomes aient une bonne idée de la façon dont les plus grandes étoiles de la séquence principale comme le Soleil génèrent des champs magnétiques et des émissions radio, ils ne savent toujours pas exactement pourquoi moins de 10% des étoiles naines brunes produisent une telle émission.

Tailles relatives de divers objets, dont une étoile naine brune typique. WISE J062309.94-045624.6 fait entre 0,65 et 0,95 fois la taille de Jupiter. (NASA/JPL)



On pense que la rotation rapide des naines ultra-froides joue un rôle dans la génération de leurs puissants champs magnétiques. Lorsque le champ magnétique tourne à une vitesse différente de celle de l'atmosphère ionisée de la naine, il peut créer des courants électriques. Les ondes radio seraient produites par l'afflux d'électrons dans la région polaire magnétique de l'étoile. La rotation de celle-ci entraînerait alors des sursauts radio se répétant régulièrement.

Le rayon de l'étoile est compris entre 0,65 et 0,95 fois celui de Jupiter. On estime que sa masse est plus de quatre fois, mais moins de 44 fois celle de Jupiter. En comparaison, le Soleil est 1 000 fois plus massif que Jupiter.

En ouvrant cette fenêtre sur le ciel radio, les astronomes espèrent améliorer leurs connaissances sur les étoiles qui nous entourent et l'habitabilité des systèmes d'exoplanètes qu'elles hébergent.

Cinq des six antennes du réseau ATCA. Elles sont disposées sur des rails afin d'opérer dans différentes configurations. (CSIRO, John Masterson)



Évolution des galaxies

Basé sur un communiqué RAS

La Voie lactée n'a pas toujours été une spirale. De nouveaux travaux révèlent comment se produit la spéciation des galaxies.

Dans les années 1920 et 1930, l'astronome Edwin Hubble et d'autres ont établi une séquence morphologique des galaxies, maintenant connue sous le nom de séquence de Hubble ou diagramme en diapason de Hubble. Ce schéma ne résout pas le problème de l'évolution des galaxies, mais il est encore largement utilisé pour les classer en fonction de leur apparence visuelle.

Les galaxies peuvent contenir des milliards d'étoiles suivant des orbites circulaires ordonnées dans un disque encombré ou se déplaçant de manière chaotique dans un espace sphérique ou en forme d'ellipsoïde.

Les disques peuvent comporter une structure en spirale. Ces galaxies spirales peuplent un côté de la séquence de Hubble. Les elliptiques constituent l'autre côté.

Dans cette séquence, les galaxies lenticulaires avec une bosse centrale et ne montrant pas de spirale, étaient considérées comme faisant la transition entre les galaxies spirales dominées par le disque comme notre Voie lactée et les galaxies de forme elliptique comme M87.

La nouvelle étude est basée sur les images d'une centaine de galaxies proches, prises dans le visible et l'infrarouge par les télescopes spatiaux Hubble et Spitzer. En com-

parant la masse stellaire et celle des trous noirs centraux, il apparaît qu'il y a deux types de galaxies lenticulaires : les vieilles, pauvres en poussière, et celles riches en poussière.

Les galaxies lenticulaires riches en poussière viennent de la fusion de galaxies spirales. Les galaxies spirales peuvent avoir un petit bulbe central en plus d'un disque contenant les bras spiraux d'étoiles, de gaz et de poussière qui s'enroulent à partir du centre. Les galaxies lenticulaires poussiéreuses ont des bulbes et des trous noirs centraux nettement plus importants que les galaxies spirales et les galaxies lenticulaires pauvres en poussière.

L'étude montre que les galaxies spirales se placent à mi-chemin entre les deux types de galaxies lenticulaires.

Si les galaxies lenticulaires pauvres en poussière accumulent du gaz et de la matière, cela peut perturber gravitationnellement leur disque, induisant un motif en spirale et alimentant la formation d'étoiles, ce qui modifie leur structure et leur forme.

La Voie lactée compte plusieurs galaxies satellites plus petites, telles que Sagittarius et Canis Major, et sa structure révèle une riche histoire d'acquisitions. La Voie lactée était probablement autrefois une galaxie lenticulaire pauvre en poussière qui accrétait de la matière, y compris la galaxie satellite Gaia Sausage-Encelade. L'imagerie profonde par

Diagramme de la classification de Hubble, sous la forme d'un diapason ou d'une fourchette.

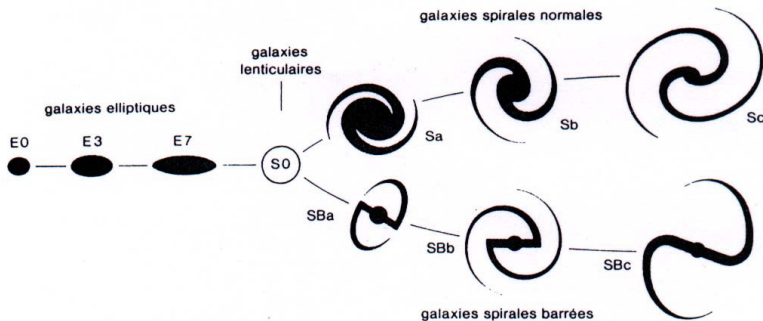




Image prise avec le télescope Gemini North (Hawaii) et montrant les spirales NGC 4568 (en bas) et NGC 4567 sur le point de fusionner pour former une galaxie elliptique dans un demi-milliard d'années. (International Gemini Observatory/NOIRLab/NSF/AURA, University of Alaska Anchorage, T.A. Rector, J. Miller, M. Zamani & D. de Martin)

de nombreux télescopes a montré qu'il s'agit d'une caractéristique commune aux galaxies spirales.

Certaines acquisitions sont plus spectaculaires. Ce sera le cas dans 4 à 6 milliards d'années, lorsque la Voie lactée et la galaxie d'Andromède entreront en collision.

Leur collision détruira les bras spiraux des deux galaxies, produisant une galaxie fusionnée dotée d'un bulbe plus important. Elle projettera beaucoup de nuages de poussière et s'accompagnera d'une augmentation de la masse du trou noir central. Elle conduira à la naissance d'une galaxie lenticulaire riche en poussière.

La fusion de deux galaxies lenticulaires poussiéreuses semble suffisante pour effacer complètement leurs disques et créer une galaxie de forme elliptique, incapable de retenir des nuages de gaz froids abritant de la poussière.

À certains égards, les galaxies lenticulaires pauvres en poussière apparaissent comme des versions fossiles des galaxies primordiales de l'Univers. Ces galaxies dominées par des disques sont très anciennes et communes. La fusion de deux d'entre elles dans l'univers jeune peut expliquer l'observation récente par le télescope spatial JWST d'une galaxie massive dotée d'un gros bulbe central alors que l'Univers n'avait que 700 millions d'années.

La nouvelle recherche a également révélé que la fusion de deux galaxies elliptiques est suffisante pour expliquer les galaxies les plus massives de l'univers actuel, et que l'on voit au centre d'amas contenant plus d'un millier de galaxies.

Les galaxies ont maintenant leur arbre généalogique, une séquence évolutive dans laquelle la spéciation des galaxies se produit par le mariage inévitable des galaxies ordonnées par la gravité.

Spirales de gaz de la protoétoile IRAS 04239+2436

Basé sur un communiqué NAOJ

La plupart des étoiles de masse semblable au Soleil naissent dans des systèmes multiples. Aussi est-il important de comprendre leur processus de formation. La complexité des phénomènes et le manque de données détaillées ont laissé les astronomes avec de nombreux points d'interrogation. En particulier, des observations récentes de protoétoiles ont souvent montré la présence de courants de gaz (« streamers ») se dirigeant vers elles.

Ainsi, des observations d'ALMA du système triple L1448 IRS3B ont révélé un disque possédant une structure spirale et nourrissant les protoétoiles.

On ne sait toujours pas exactement comment ces streamers se forment. Pour tenter de mieux appréhender le problème, les astronomes ont utilisé le réseau ALMA afin d'observer le système triple de protoétoiles

IRAS 04239+2436, situé à 460 années-lumière dans la constellation du Taureau. Ils ont découvert que les émissions de monoxyde de soufre (SO) tracent trois bras en spirale autour des étoiles en formation.

La comparaison avec des simulations numériques indique que ces bras spiraux sont effectivement des streamers gazeux alimentant en matériaux les protoétoiles. Ce sont ces étoiles qui suscitent l'apparition des spirales et perturbent le gaz environnant dans leurs mouvements orbitaux.

Répartition du gaz autour des protoétoiles du système IRAS 04239+2436. À gauche on voit les observations ALMA des émissions de SO. Les sources bleues A et B sont les émissions radio de la poussière enveloppant les protoétoiles. (A contiendrait deux des trois protoétoiles non résolues.) Le panneau de droite donne le résultat des simulations numériques. Les emplacements des trois protoétoiles sont indiqués par les croix bleues.

(ALMA/ESO/NAOJ/NRAO, J.-E. Lee et al.)

Arm 1

Arm 2

Arm 3

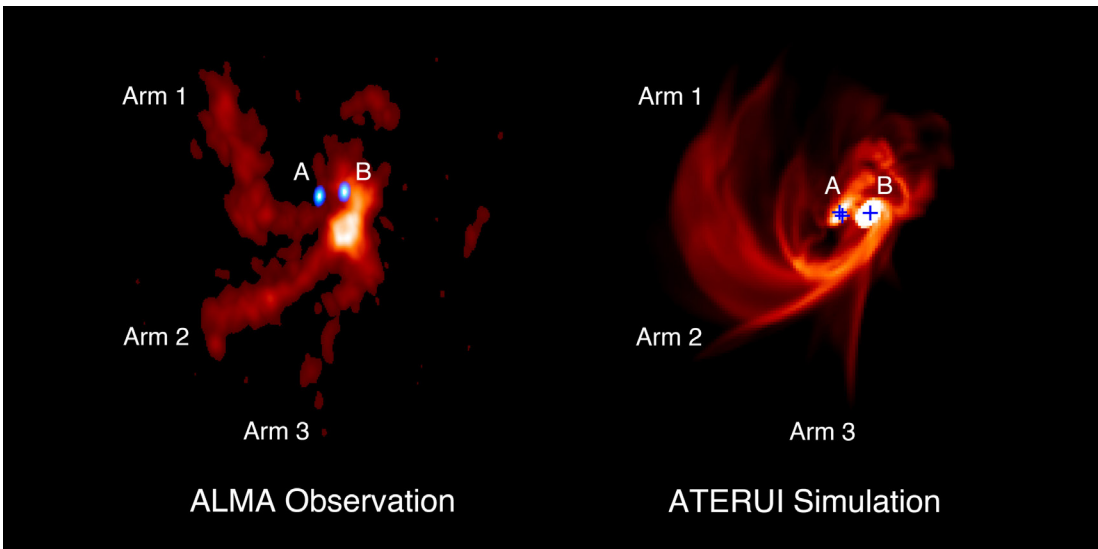
ALMA Observation

Arm 1

Arm 2

Arm 3

ATERUI Simulation





El Gordo

Basé sur un communiqué Webb

L'amas de galaxies ACT-CL J0102-4915 (surnommé El Gordo, le « gros » en espagnol) a été photographié en infrarouge par le télescope spatial James Webb (JWST). L'image affiche une variété de galaxies d'arrière-plan, à peine visibles dans les images qu'avait prises le télescope spatial Hubble.

El Gordo est un amas de centaines de galaxies que l'on voit lorsque l'Univers avait 6,2 milliards d'années, ce qui en fait un « adolescent cosmique ». C'est l'amas le plus massif connu à cette époque.

Les astronomes ont ciblé El Gordo parce que son énorme masse le fait agir comme une forte loupe cosmique naturelle en raison du phénomène de lentille gravitationnelle. Cette lentille cosmique accroît la luminosité et la taille des galaxies lointaines, ouvrant ainsi une fenêtre unique sur l'univers lointain.

L'une des caractéristiques les plus frappantes de l'image est un arc lumineux (en haut à droite). Il s'agit de l'image d'une galaxie d'arrière-plan. Sa forme chantournée lui a valu le surnom d'« El Anzuelo » (L'Hameçon). La lumière de cette galaxie a mis 10,6 milliards d'années pour atteindre la Terre. Sa couleur distinctive est due au rougissement provoqué par la poussière de la galaxie, combiné à un redshift cosmologique extrême.

En corrigeant les distorsions créées par la lentille, les chercheurs ont pu déterminer que la galaxie a la forme d'un disque, de 26 000 années-lumière de diamètre, soit environ le quart de la taille de la Voie lactée. On a pu déterminer que la formation d'étoiles déclinait déjà rapidement au centre de la galaxie, une extinction connue sous le nom de « quenching ».

Une autre caractéristique importante de l'image est un long trait fin à gauche du centre. Connue sous le nom de « La Flaca » (La Maigre), c'est une autre galaxie d'arrière-plan étirée par la lentille, et dont la lumière a mis près de 11 milliards d'années pour nous arriver.

Non loin de La Flaca se trouve l'image déformée d'une autre galaxie. Lorsque les chercheurs l'ont examinée de près, ils ont trouvé trois images d'une même étoile géante rouge qu'ils ont surnommée Quyllur (« étoile » en quechua). Le télescope Hubble avait déjà trouvé les images d'autres étoiles, comme Earendel située derrière la lentille de l'amas WHL0137-08. Ces étoiles étaient toutes des supergéantes bleues. Quyllur est la première étoile géante rouge observée au-delà d'un milliard d'années-lumière de la Terre. De telles étoiles de grands redshifts ne sont détectables qu'en utilisant les filtres infrarouges et la sensibilité de Webb.

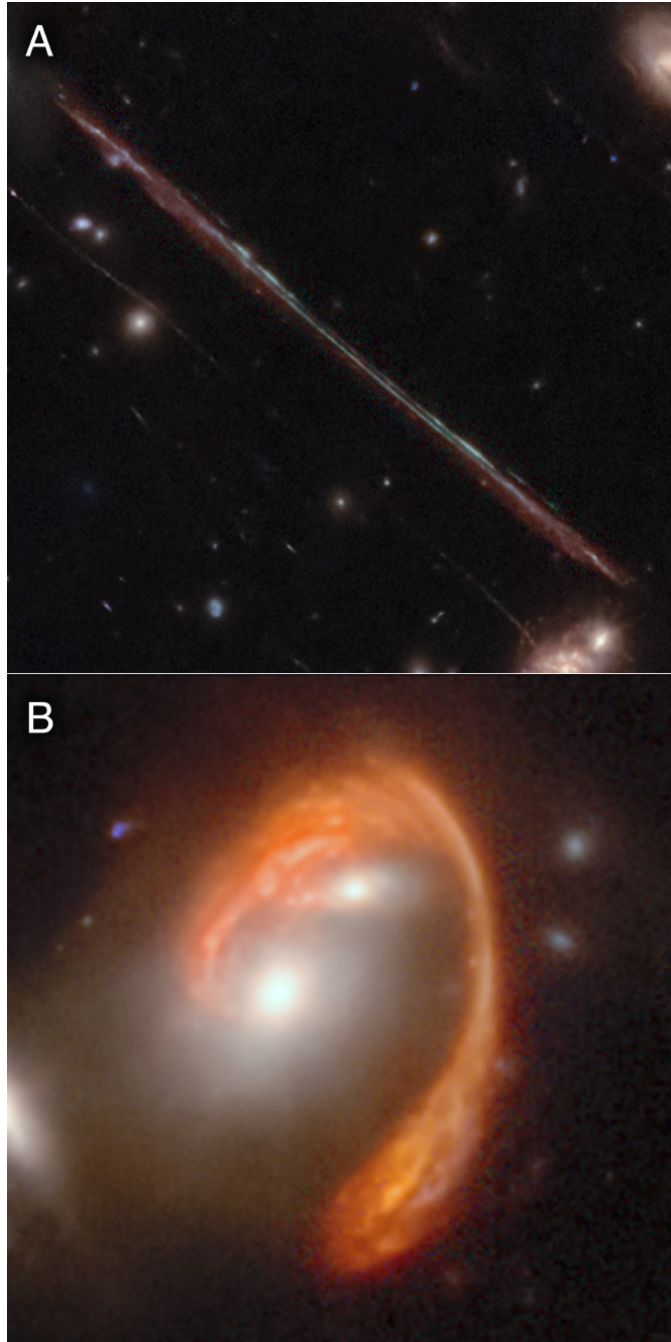
D'autres objets de l'image JWST, bien que moins spectaculaires, sont tout aussi intéressants sur le plan scientifique. Par exemple, les astronomes ont identifié les images multiples de cinq

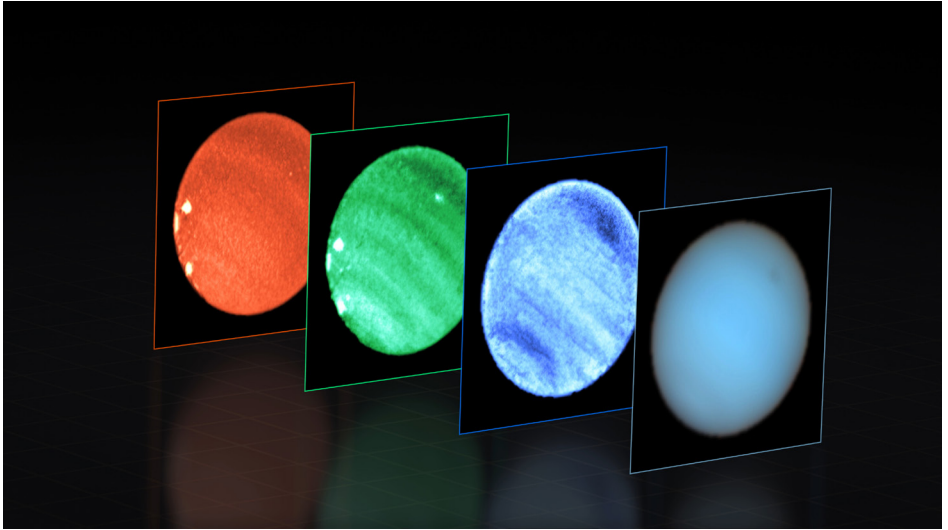


galaxies qui semblent appartenir à un amas jeune formé il y a environ 12,1 milliards d'années. Une douzaine d'autres galaxies observées par le JWST pourraient également faire partie de ce bébé amas.

Une autre étude a porté sur des galaxies très faibles, dites ultra-diffuses. Comme leur nom l'indique, ces objets, dispersés dans tout l'amas d'El Gordo, ont leurs étoiles largement disséminées dans l'espace. On a pu identifier ainsi certaines des galaxies ultra-diffuses les plus éloignées jamais observées, dont la lumière a parcouru 7,2 milliards d'années pour nous atteindre. L'examen des propriétés de ces galaxies montre quelques différences avec les galaxies ultra-diffuses de l'univers local. En particulier, elles sont plus bleues, plus jeunes, plus étendues et uniformément réparties dans l'amas. Cela suggère que résider dans un amas au cours des 6 derniers milliards d'années a eu un effet significatif sur ces galaxies.

Agrandissements de deux galaxies dans l'image d'El Gordo. En A, La Flaca. En B, El Anzuelo. (NASA, ESA, CSA)





La tache noire de Neptune

Basé sur un communiqué ESO

Les grandes taches sont des structures courantes dans l'atmosphère des planètes géantes, la plus célèbre étant la Grande Tache rouge de Jupiter. Sur Neptune, une tache sombre a été découverte pour la première fois par Voyager 2 de la NASA en 1989, avant de disparaître quelques années plus tard.

Les astronomes ont utilisé les données du VLT de l'ESO pour écarter l'hypothèse selon laquelle les taches sombres seraient causées par une éclaircie dans les nuages. Les nouvelles observations indiquent plutôt que ces taches sont probablement le résultat de l'assombrissement des aérosols sous la principale couche de brume visible, lorsque les glaces et les brumes se mélangent dans l'atmosphère de Neptune.

Arriver à cette conclusion n'a pas été une mince affaire, car les taches sombres ne sont pas des structures permanentes de l'atmosphère de Neptune et les astronomes n'avaient encore jamais pu les étudier de manière suffisamment détaillée. L'occasion s'est présentée suite à la découverte par le télescope spatial Hubble de plusieurs taches sombres dans

Neptune observée avec l'instrument MUSE du Very Large Telescope (VLT) de l'ESO.

Les trois images de gauche ont été obtenues dans des longueurs d'onde spécifiques : 848 nm (représentée en rouge), 831 nm (vert) et 551 nanomètres (bleu). L'image de droite est une combinaison des trois, donnant une apparence plus naturelle.

La tache sombre apparaît le mieux aux courtes longueurs d'onde (les plus bleues). Près de la tache sombre, un petit nuage brillant apparaît dans l'image à 831 nm. Situé profondément dans l'atmosphère, ce type de nuage n'avait jamais été vu sur la planète. Les images montrent également plusieurs autres taches lumineuses moins profondes vers le bord inférieur gauche de Neptune, observées à de grandes longueurs d'onde. (ESO/P. Irwin et al.)

l'atmosphère de Neptune, dont une dans l'hémisphère nord de la planète, remarquée pour la première fois en 2018.

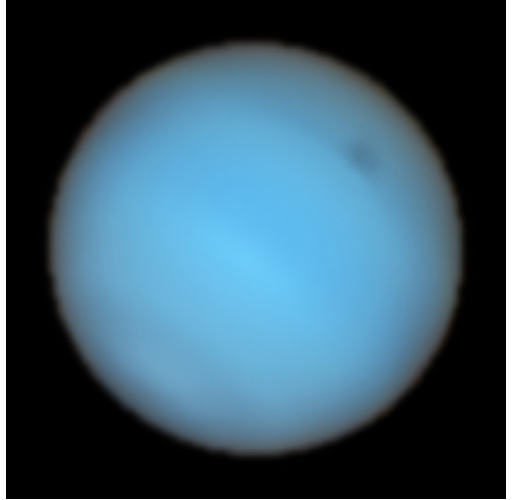
Grâce à l'instrument MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer) du VLT, les chercheurs ont pu décomposer la lumière solaire réfléchi par Neptune et sa tache en ses différentes longueurs d'onde, et obtenir un spectre

Neptune observée avec l'instrument MUSE et combinant toutes les couleurs en une vue « naturelle ».
(ESO/P. Irwin et al.)

en 3D¹. Ils ont ainsi pu étudier la tache de manière plus détaillée qu'auparavant.

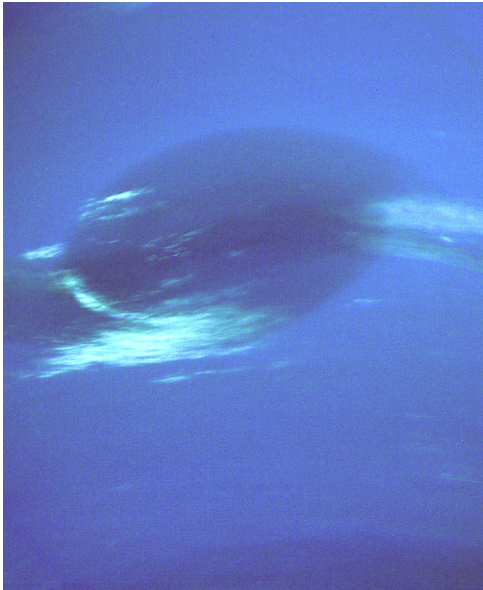
Étant donné que différentes longueurs d'onde sondent différentes profondeurs de l'atmosphère de Neptune, le spectre a permis aux astronomes de mieux déterminer la hauteur à laquelle se trouve la tache sombre dans l'atmosphère de la planète. Le spectre

¹ MUSE est un spectrographe 3D qui permet aux astronomes d'observer l'intégralité d'un objet astronomique en une seule fois. Pour chaque pixel, l'instrument mesure l'intensité de la lumière en fonction de sa couleur ou de sa longueur d'onde. Les données obtenues forment un ensemble 3D dans lequel chaque pixel de l'image possède un spectre complet. Au total, MUSE mesure plus de 3 500 couleurs. L'instrument est conçu pour tirer parti de l'optique adaptative, qui corrige les turbulences de l'atmosphère terrestre.



a également fourni des informations sur la composition chimique des différentes couches de l'atmosphère, ce qui a permis de comprendre pourquoi la tache apparaissait sombre.

Les observations ont également apporté une découverte, un type de nuage profond et brillant qui n'avait jamais été identifié auparavant, même depuis l'espace. Ce nuage est apparu comme une tache brillante juste à côté de la grande tache sombre, les données du VLT montrant qu'il se trouvait à la même altitude qu'elle. Il s'agit donc d'un type de nuage totalement nouveau par rapport aux petits nuages de glace de méthane de haute altitude observés précédemment.



Une grande tache noire a été observée pour la première fois par le vaisseau spatial Voyager 2 de la NASA en 1989, L'image a été obtenue d'une distance de 2,8 millions de kilomètres et montre des structures aussi petites que 50 kilomètres. La structure suggère un système de tempête tournant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.
(NASA/JPL)

Quand les océans se vaporisent

Basé sur un communiqué INSU/CNRS

Vaporisés, les océans terrestres formeraient une atmosphère 270 fois plus massive que notre atmosphère actuelle, alors qu'ils ne constituent que 0,02% de la masse de notre planète. À l'issue de la formation de la Terre, ce réservoir d'eau était sous forme de vapeur et il s'est condensé en océan une fois la planète refroidie. L'augmentation de la luminosité solaire devrait vaporiser à nouveau les océans dans moins d'un milliard d'années. Sur Vénus, l'insolation plus élevée a empêché la condensation en un océan et l'atmosphère de vapeur a perduré, laissant place à une atmosphère de dioxyde de carbone après sa lente érosion par le rayonnement UV solaire et l'échappement d'hydrogène dans l'espace.

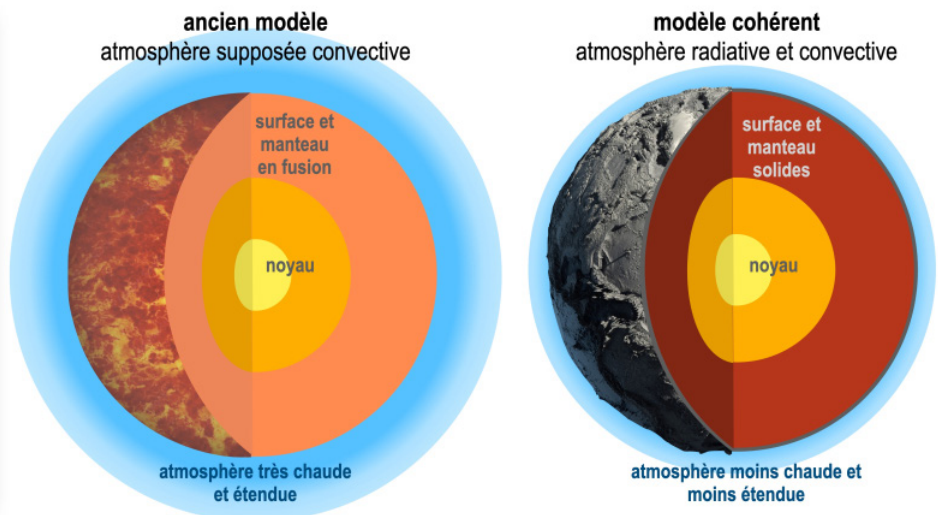
Ces atmosphères de vapeur jouent ainsi un rôle clé dans l'histoire des planètes de type terrestre et on estimait jusqu'à présent que leur effet de serre provoquait invariablement la fusion de la croûte rocheuse en un océan de magma. Les chercheurs ont développé un nouveau modèle permettant de décrire ces atmosphères de façon plus cohérente. Les simulations montrent des propriétés très dif-

férentes des précédents modèles qui faisaient l'hypothèse d'une structure convective et négligeaient le transport de chaleur par le rayonnement. Ces atmosphères s'avèrent moins chaudes et ne s'accompagnent pas forcément d'océans magmatiques. Elles sont aussi plus sensibles au type de l'étoile hôte et au flux géothermique.

L'évolution de Vénus doit ainsi être repensée. La phase d'océan de magma y aurait été 100 fois plus courte que dans le scénario standard, limitant les échanges entre le manteau et l'atmosphère et préservant le réservoir d'eau interne de l'échappement vers l'espace.

Les conséquences sont majeures pour les planètes de petites étoiles rouges, cibles du télescope spatial JWST. Les océans de magma doivent y être rares et la relation qui relie rayon, masse et teneur en eau est à réviser, de même que les signatures spectrales de telles atmosphères.

À gauche, ancien modèle montrant une Terre soumise à une insolation augmentée de 10% et les implications pour l'intérieur et la surface, en supposant une structure atmosphérique convective. À droite un modèle plus cohérent, incluant le transport de chaleur par rayonnement. (F. Selsis et al., 2023)



SN1987A, la supernova du Grand Nuage

Basé sur un communiqué Webb

Située à 168 000 années-lumière dans le Grand Nuage de Magellan, la supernova 1987A est, depuis sa découverte en février 1987, la cible constante d'observations dans des domaines allant des rayons gamma aux ondes radio.

Le télescope spatial JWST a révélé de nouveaux détails sur SN 1987A grâce à son instrument NIRCam (Near-Infrared Camera). Ces structures, certaines uniquement visibles dans les longueurs d'onde infrarouges, fournissent des indices sur le développement des supernovæ.

L'image jointe révèle un nuage central en forme de trou de serrure, rempli de gaz et de poussières agglomérés éjectés par l'explosion de la supernova. La poussière est si dense que même les photons infrarouges ne peuvent pas la pénétrer, formant ainsi le « trou » sombre de la serrure.

L'anneau équatorial, formé à partir de matériaux éjectés des dizaines de milliers d'années avant l'explosion de la supernova, contient des points chauds brillants, apparus lorsque l'onde de choc de la supernova a frappé l'anneau.

On trouve maintenant des taches brillantes même à l'extérieur de l'anneau, au sein d'une émission diffuse. Ce sont également les marques de chocs entre les matériaux de la supernova et le milieu extérieur.

Venant compléter les observations des télescopes spatiaux Hubble, Spitzer (pour l'infrarouge) et Chandra (pour les rayons X), la sensibilité et la résolution spatiale inégalées du JWST ont révélé une nouvelle caractéristique de ce reste de supernova : de petites structures en forme de croissant.

On pense que ces croissants font partie des couches externes de gaz projetées par l'explosion de la supernova. Ils sont peut-être les bords bien définis de nuages.

La haute résolution de ces images est remarquable. Avant le JWST, le télescope

Spitzer, aujourd'hui à la retraite, a observé cette supernova dans l'infrarouge tout au long de sa vie, fournissant des données clés sur l'évolution des émissions au fil du temps. Cependant, il n'a jamais été en mesure d'observer la supernova avec autant de clarté et de détails.

Malgré les décennies d'études depuis la découverte de la supernova, plusieurs mystères demeurent, notamment concernant l'étoile à neutrons qui aurait dû se former à la suite de l'explosion de la supernova. Comme Spitzer, le JWST continuera à observer la supernova au fil du temps. Ses instruments NIRSpec (Near-Infrared Spectrograph) et MIRI (Mid-Infrared Instrument) offriront aux astronomes la possibilité de capturer de nouvelles données infrarouges de haute qualité au fil du temps et d'acquérir de nouvelles connaissances sur les structures en croissant. De plus, le télescope continuera de collaborer avec Hubble, Chandra et d'autres observatoires pour fournir des informations sur le passé et l'avenir de cette supernova légendaire.

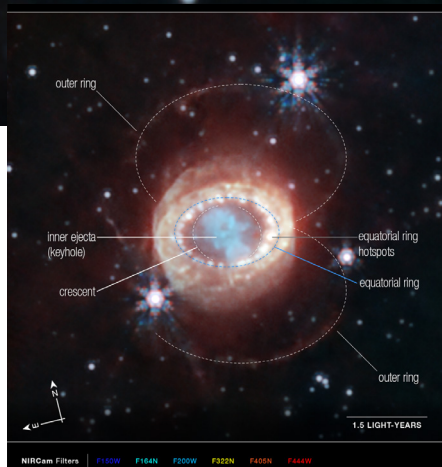
► ***La caméra NIRCam (Near-Infrared Camera) de Webb a capturé cette image détaillée de SN 1987A.***

Au centre, la matière éjectée de la supernova forme un trou de serrure. Juste à gauche et à droite se trouvent de faibles croissants récemment découverts par Webb. Au-delà d'eux, un anneau équatorial, formé de matériaux éjectés des dizaines de milliers d'années avant l'explosion de la supernova, contient des points chauds brillants. À l'extérieur de ces structures, au-dessus et au-dessous d'elles, se trouvent de très faibles anneaux orange de gaz et de poussière.



On peut voir plusieurs étoiles brillantes, dont trois présentent un motif de diffraction provoqué par la structure du télescope spatial Webb. D'autres étoiles parsèment l'image. Le bleu représente la lumière à 1,5 microns, le cyan à 1,64 et 2,0 microns, le jaune à 3,23 microns, l'orange à 4,05 microns et le rouge à 4,44 microns.

(NASA, ESA, CSA, M. Matsuura/Cardiff University, R. Arendt/NASA-GSFC, UMBC, C. Fransson/Stockholm University, J. Larsson/KTH, A. Pagan/STScI)



Des trous noirs dans les Hyades ?

Basé sur un communiqué Universitat de Barcelona

Les astronomes pensent que plusieurs trous noirs pourraient être présents dans l'amas des Hyades, ce qui en ferait les plus proches de nous.

Les trous noirs sont l'un des phénomènes les plus mystérieux et fascinants de l'Univers. Cela est particulièrement vrai pour les petits trous noirs. Depuis la première détection d'ondes gravitationnelles en 2015, on a pu observer de nombreux événements fantastiques les concernant, correspondant à des fusions de paires de trous noirs de faible masse.

Les amas ouverts sont des groupes liés de centaines d'étoiles qui partagent certaines propriétés telles que l'âge et les caractéristiques chimiques. Pour la nouvelle étude, les chercheurs ont réalisé des simulations du mouvement et l'évolution des étoiles des Hyades pour reproduire leur état actuel. Les résultats ont été comparés aux positions et vitesses réelles des membres de l'amas, désormais connues avec précision grâce aux observations effectuées par le satellite Gaia.

Il apparaît qu'un bon accord, à la fois avec la masse et les dimensions de l'amas, ne peut être atteint que si des trous noirs sont présents au centre de l'amas.

Les propriétés observées des Hyades sont le mieux reproduites par des simulations impliquant deux ou trois trous noirs qui seraient présents à l'heure actuelle, ou qui auraient été éjectés il y a moins de 150 millions d'années, soit environ le quart de l'âge de l'amas. En effet, l'évolution de l'ensemble n'aurait pas pu effacer les traces d'une population antérieure de trous noirs.

Les nouveaux résultats indiquent que les trous noirs nés des Hyades sont toujours à l'intérieur de l'amas, ou très proches de celui-ci. Cela en fait les trous noirs les plus proches du Soleil, bien plus proches que le candidat précédent (à savoir le trou noir Gaia BH1, qui se trouve à 480 parsecs).

***Distant de 150 années-lumière, l'amas des Hyades est le plus proche de nous. Les trous noirs qu'il contiendrait seraient aussi les plus proches que l'on connaisse.
(NASA, ESA et STScI)***



Molécules carbonées sur K2-18 b

Basé sur un communiqué Webb

Le télescope spatial JWST a permis de découvrir des molécules contenant du carbone, notamment du méthane et du dioxyde de carbone, dans l'atmosphère de l'exoplanète K2-18 b, 8,6 fois plus massive que la Terre et située dans la zone habitable de son étoile.

Cette découverte s'ajoute à des études récentes suggérant que K2-18 b pourrait être une exoplanète hycéenne. Ce vocable, venant de la combinaison d'« hydrogène » et « océan », désigne des planètes plus grosses que la Terre, recouvertes d'un océan, et d'une épaisse atmosphère d'hydrogène. Cela en fait de bonnes candidates pour abriter la vie, et elles sont « facilement » détectables.

Traditionnellement, la recherche de vie sur les exoplanètes s'est concentrée principalement sur les planètes rocheuses plus petites, mais les mondes hycéens plus grands sont nettement plus propices aux observations atmosphériques.

La naine rouge K2-18 se trouve à 120 années-lumière de la Terre dans la constellation du Lion. Les exoplanètes telles que K2-18 b, dont la taille se situe entre celles de la Terre et de Neptune, ne ressemblent à rien de ce qui existe dans le Système solaire. Cette absence de planètes proches équivalentes signifie

que les « sous-Neptunes » sont mal comprises et la nature de leur atmosphère fait l'objet d'un débat actif parmi les astronomes.

L'abondance de méthane et de dioxyde de carbone, ainsi que la pénurie d'ammoniac, confortent l'hypothèse selon laquelle il pourrait y avoir un océan d'eau sous une atmosphère riche en hydrogène dans K2-18 b. Les premières observations par le JWST ont également permis de détecter du sulfure de diméthyle (DMS). Sur Terre, cette molécule n'est produite que par le vivant. La majeure partie du DMS présent dans notre atmosphère vient du phytoplancton.

Bien que située en zone habitable et hébergeant des molécules carbonées, K2-18 b n'abrite peut-être pas la vie. Les dimensions de la planète – 2,6 fois la Terre – signifient que l'intérieur de la planète contient probablement un épais manteau de glace, comme Neptune, mais avec une atmosphère plus mince, riche en hydrogène et une surface océanique. Il est également possible que cet océan soit trop chaud pour permettre la vie ou pour être liquide.

Illustration d'une planète et de son étoile naine rouge. (L'éclat bleu de la planète est exagéré.) En arrière-plan se trouve également une autre planète, qui apparaît comme un petit croissant.
(NASA, ESA, CSA, Joseph Olmsted /STScI)

