

Astronomie dans le monde

La Voie lactée en ondes gravitationnelles

Basé sur un communiqué NASA

Depuis 2015, les observatoires au sol ont détecté une centaine d'événements représentant la fusion de trous noirs de masse stellaire, d'étoiles à neutrons, ou des deux types d'objets. Les signaux durent généralement moins d'une minute, ont des fréquences relativement élevées, peuvent apparaître n'importe où dans le ciel et leurs sources se trouvent bien au-delà de notre galaxie.

Les systèmes binaires abondent dans la Voie lactée, et beaucoup d'entre eux contiennent certainement des objets compacts comme des naines blanches, des étoiles à neutrons et/ou des trous noirs. Si les orbites sont serrées, on parle de systèmes UCB (ultracompact binaries). Ces binaires perdent de l'énergie en émettant des ondes gravitationnelles mais celles-ci bourdonnent à des fréquences trop basses pour les détecteurs au sol.

Les astronomes s'attendent à ce que les futurs observatoires comme LISA (Laser Interferometer Space Antenna) en détectent des dizaines de milliers. Les UCB sont généralement difficiles à repérer – ils sont faibles dans le domaine optique, et les astronomes n'en connaissent actuellement qu'une poignée avec des périodes orbitales inférieures à une

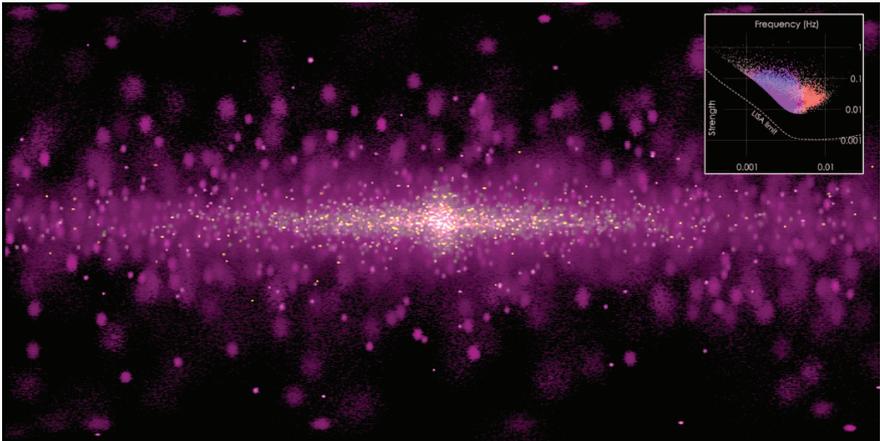
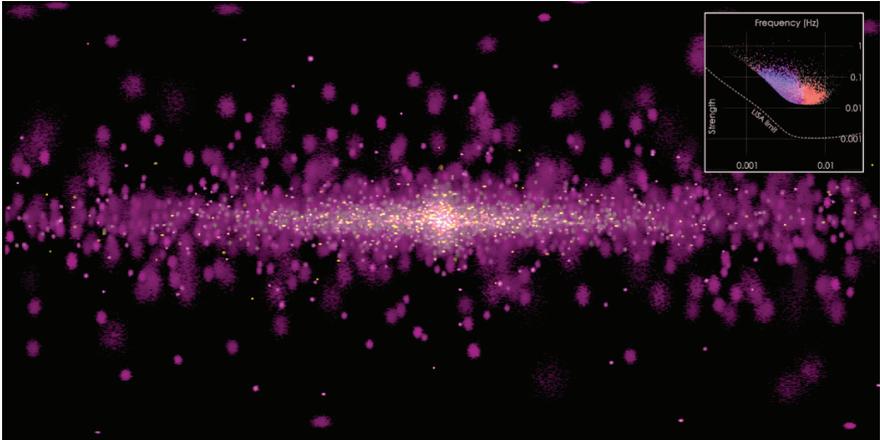
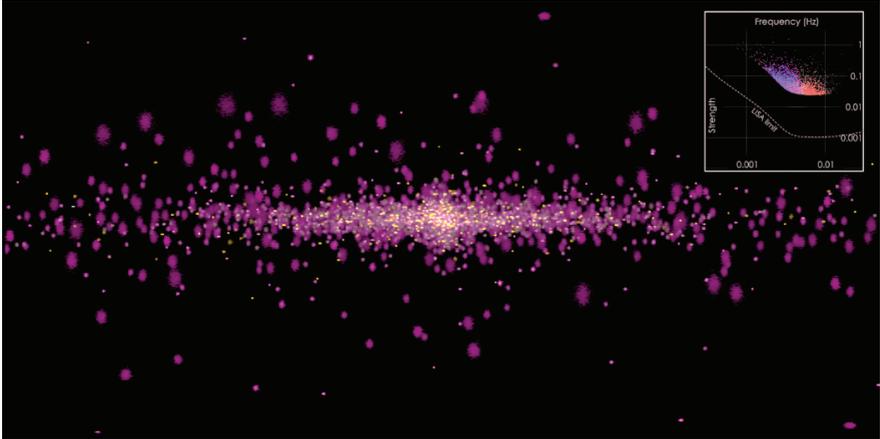
Cette carte synthétique et celles de la page suivante montrent le ciel entier en ondes gravitationnelles, avec une population simulée de systèmes binaires compacts. Les cartes correspondent à 4 seuils de sensibilité. Des cartes comme celles-ci, mais utilisant des données réelles, seront possibles une fois que les observatoires spatiaux d'ondes gravitationnelles deviendront actifs au cours de la prochaine décennie. Les points les plus brillants indiquent les sources avec des signaux plus forts et les couleurs plus claires indiquent celles avec des fréquences plus élevées. Des taches colorées plus grandes montrent des sources dont les positions sont moins connues. L'encadré montre la fréquence et la force du signal gravitationnel, ainsi que la limite de sensibilité du futur détecteur LISA qui sera lancé dans les années 2030.

(NASA / Goddard Space Flight Center)

heure. Découvrir de nombreux nouveaux UCB est l'un des principaux objectifs de LISA.

À l'aide de données simulant la distribution attendue et les signaux d'ondes gravitationnelles de ces systèmes, les chercheurs ont développé un moyen de combiner les données pour obtenir une vue panoramique du ciel des UCB de la Galaxie.

Cette image est directement analogue à une vue globale du ciel dans un type particulier de lumière, comme les rayons visibles, infrarouges ou X.



PSR J1023+0038, un pulsar fantasque

Bsé sur un communiqué ESO

Un pulsar est une étoile morte, magnétique et en rotation rapide, qui émet un faisceau de rayonnement électromagnétique balayant l'espace comme un phare. Si l'orientation est bonne, la Terre voit ainsi la source pulser.

PSR J1023+0038, ou J1023 en abrégé, est un pulsar d'un type particulier au comportement étrange. Situé à environ 4 500 années-lumière dans la constellation du Sextant, il est en orbite autour d'une autre étoile. Au cours de la dernière décennie, le pulsar a activement aspiré de la matière de son compagnon. Cette matière s'est accumulée dans un disque circumstellaire et tombe lentement sur lui.

Depuis le début de ce processus d'accrétion de matière, le faisceau lumineux a pratiquement disparu et le pulsar a commencé à basculer sans cesse entre deux modes. En mode « haut », le pulsar émet des rayons X, des ultraviolets et de la lumière visible, tandis qu'en mode « bas », il est plus faible à ces fréquences et émet davantage d'ondes radio. Le pulsar peut rester dans chaque mode pendant plusieurs secondes ou minutes, puis passer à l'autre mode en quelques secondes seulement. Cette alternance a jusqu'à présent laissé les astronomes perplexes.

La campagne d'observation visant à comprendre le comportement de ce pulsar a impliqué une douzaine de télescopes au sol et dans l'espace. Parmi eux, le VLT et le NTT de l'ESO, qui ont permis de détecter la lumière visible et proche infrarouge, ainsi qu'ALMA en ondes radio.

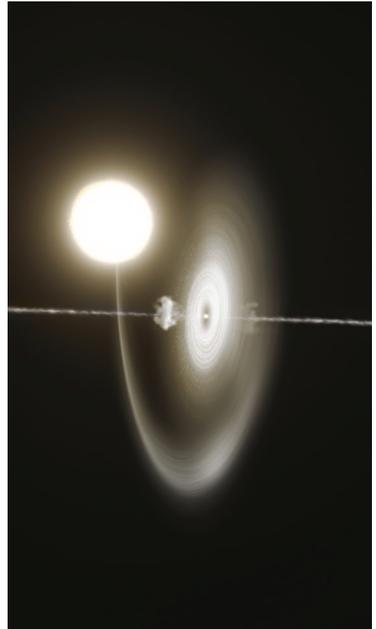
Au cours de deux nuits de juin 2021, on a vu le système effectuer plus de 280 basculements entre ses modes haut et bas. Il est apparu que le changement de mode résulte d'une interaction complexe entre le vent du pulsar, un flux de particules de haute énergie qui s'éloigne du pulsar, et la matière qui va vers le pulsar.

Dans le mode bas, la matière qui tombe vers le pulsar est expulsée en un jet étroit perpendiculaire au disque. Progressivement, cette matière s'accumule de plus en plus près du pulsar et est frappée par le vent, ce qui provoque un échauffement. Le système se trouve alors dans un mode haut, rayonnant fortement dans les rayons X, les ultraviolets et la lumière visible. Le pulsar finit par évacuer ces masses de matière chaude par l'intermédiaire du jet. Avec moins

de matière chaude dans le disque, le système brille moins fort et repasse en mode bas.

Bien que cette découverte ait permis de percer le mystère du comportement étrange de J1023, les astronomes ont encore beaucoup à apprendre de l'étude de ce système unique. En particulier, l'ELT (Extremely Large Telescope) de l'ESO, actuellement en construction au Chili, devrait permettre de comprendre comment l'abondance, la distribution, la dynamique et l'énergie de la matière entrant autour du pulsar sont affectées par ces changements de mode.

Vue d'artiste du pulsar PSR J1023+0038 en train de dérober du gaz à sa compagne. Les observations ont révélé que ce pulsar bascule sans cesse entre deux états en quelques secondes ou quelques minutes. (ESO/M. Kornmesser)



La tension de Hubble

Basé sur un communiqué Webb

La vitesse d'expansion de l'Univers (la constante de Hubble) est l'un des paramètres fondamentaux pour comprendre l'évolution et le destin ultime du cosmos. Cependant, une différence persistante appelée « tension de Hubble » est observée entre l'estimation de la vitesse basée sur toute une gamme d'indicateurs de distance indépendants et sa valeur prédite à partir de la rémanence du Big Bang.

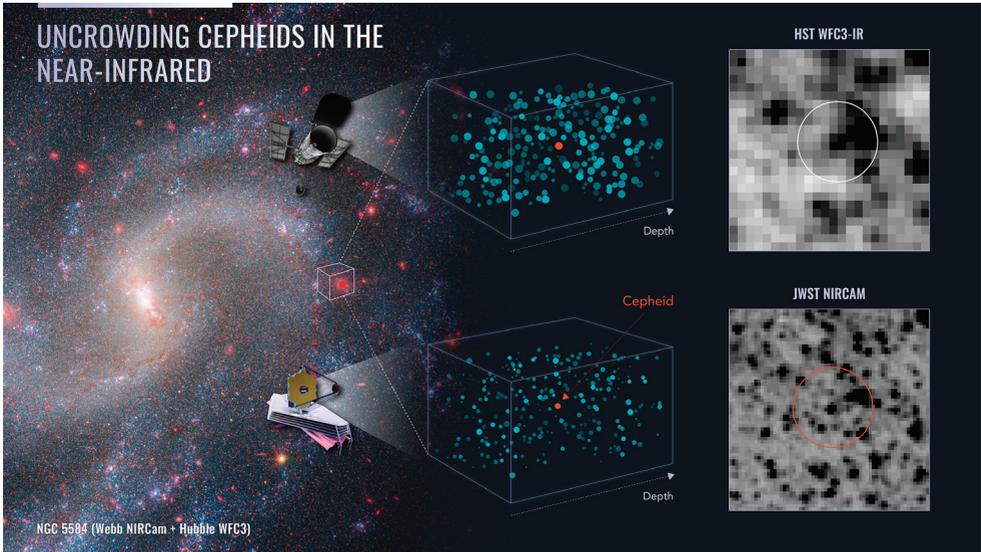
Le télescope spatial JWST offre de nouvelles capacités pour examiner certaines des preuves observationnelles les plus solides de cette tension. Les astronomes l'ont utilisé pour améliorer la précision des mesures locales de la constante de Hubble.

Une classe particulière d'étoiles, les variables céphéides, a fourni les mesures de distance les plus précises parce que ces étoiles sont extraordinairement brillantes : ce sont des étoiles supergéantes, cent mille fois la luminosité du Soleil. Elles pulsent avec une période de plusieurs semaines, et cette période est liée à leur luminosité. Plus la période est longue, plus elles sont intrinsèquement brillantes. Elles

constituent l'outil de référence pour mesurer les distances des galaxies situées à une centaine de millions d'années-lumière ou plus, une étape cruciale pour déterminer la constante de Hubble. Malheureusement, la résolution des télescopes est souvent insuffisante pour mesurer ces étoiles isolément.

L'une des principales justifications de la construction du télescope spatial Hubble était précisément de résoudre ce problème. Avant le lancement de Hubble en 1990 et les mesures ultérieures des céphéides, le taux d'expansion de l'Univers était si incertain que les astronomes ne savaient pas si l'Univers était en expansion depuis 10 ou 20 milliards d'années. En effet, un taux d'expansion plus rapide

Les télescopes spatiaux Hubble et JWST ont été utilisés pour déterminer les distances précises de céphéides afin de calibrer le taux d'expansion de l'Univers. La contamination lumineuse des étoiles environnantes peut rendre la mesure de la luminosité d'une céphéide moins précise. La vision infrarouge plus nette de Webb permet d'isoler plus clairement une cible parmi les étoiles environnantes,
(NASA, ESA, J. Kang/STScI, A. Riess/STScI).



signifie un Univers plus jeune, et un taux d'expansion plus lent, un Univers plus âgé.

Hubble a une meilleure résolution en longueur d'onde visible que n'importe quel télescope au sol, car il n'est pas affecté par les effets de flou de l'atmosphère terrestre. En conséquence, il peut identifier les variables céphéides dans les galaxies situées à plus de cent millions d'années-lumière et mesurer leurs variations de luminosité.

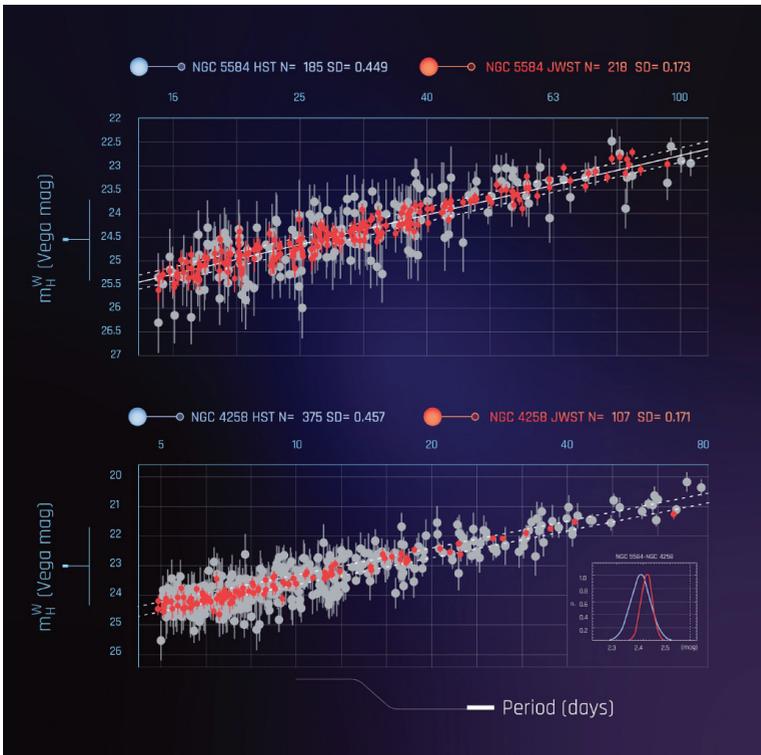
Il faut également observer les céphéides dans la partie proche infrarouge du spectre pour s'affranchir de l'absorption par les poussières interstellaires. Malheureusement, la résolution de Hubble dans le rouge n'est pas aussi bonne que dans le bleu, de sorte que les images des céphéides sont mélangées à celles des étoiles voisines. On peut prendre en compte cet effet statistiquement, de la même manière qu'un médecin calcule votre poids en

soustrayant le poids moyen des vêtements de la lecture de la balance, mais cela ajoute du bruit aux mesures. Les vêtements de certaines personnes sont plus lourds que d'autres.

C'est là qu'intervient l'un des super-pouvoirs du télescope spatial JWST. Grâce à son grand miroir et à ses optiques sensibles, il peut plus facilement isoler les céphéides des étoiles voisines.

Lors de la première année d'opérations du JWST, les astronomes ont collecté des observations de céphéides découvertes par Hubble à deux niveaux de ce que l'on appelle l'échelle des distances cosmiques. Le premier échelon consiste à observer les céphéides dans une galaxie avec une distance géométrique connue qui nous permet d'étalonner la véritable luminosité des céphéides. La galaxie choisie était NGC 4258. La deuxième étape consiste à observer les céphéides dans les

Comparaison des relations période–luminosité des céphéides utilisées pour mesurer les distances. Les points rouges proviennent du JWST et les points gris de Hubble. Le panneau supérieur concerne la galaxie NGC 5584, hôte d'une supernova de type Ia. Le panneau inférieur concerne NGC 4258, une galaxie dont la distance est bien connue. En vignette le profil d'une même céphéide vue par chaque télescope.
(NASA, ESA, CSA, J. Kang/STScI, A. Riess/STScI)



galaxies hôtes de récentes supernovæ de type Ia.

Les premières mesures peuvent déjà se comparer à celles de Hubble. Elles ont considérablement réduit les erreurs sur la luminosité grâce à la résolution dans le proche infrarouge. Ce genre d'amélioration fait rêver les astronomes ! Plus de 320 céphéides ont été utilisées. Les résultats antérieurs du télescope spatial Hubble sont confirmés. Ils étaient corrects, mais plus bruyants.

Ce que les résultats n'expliquent toujours pas, c'est pourquoi l'Univers semble se développer si rapidement. On peut prédire le taux d'expansion de l'Univers en observant son image de bébé, le fond diffus cosmologique, puis en modélisant sa croissance au fil du temps pour nous dire à quelle vitesse l'Univers devrait s'étendre aujourd'hui. Le fait que la mesure actuelle du taux d'expansion dépasse largement les prévisions constitue le problème lancinant de la tension de Hubble.

La possibilité la plus excitante est que la tension soit l'indice de quelque chose qui fait défaut dans notre compréhension du cosmos. Cela pourrait être de l'énergie noire exotique, de la matière noire exotique, une révision de notre compréhension de la gravité ou la présence d'une nouvelle particule ou d'un champ exotique.

L'explication la plus banale serait celle de multiples erreurs de mesure conspirant dans la même direction. C'est pourquoi il est si important de refaire les mesures avec une plus grande fidélité. La confirmation par le JWST des mesures de Hubble fournit la meilleure preuve à ce jour que les erreurs systématiques dans la photométrie des Céphéides de Hubble ne jouent pas un rôle significatif dans la tension de Hubble actuelle. En conséquence, les possibilités les plus intéressantes restent sur la table et le mystère de la tension s'approfondit.

Les observations combinées des caméras NIRCam du JWST et WFC3 de Hubble montrent la galaxie spirale NGC 5584, qui réside à 72 millions d'années-lumière de la Terre. (NASA, ESA, CSA et A. Riess/STScI).



La matière de l'Univers

Basé sur un communiqué Chiba University

Les cosmologistes s'accordent à penser qu'un cinquième seulement de la matière totale de l'Univers est normale, « baryonique », ce qui comprend les étoiles, les galaxies, les atomes et la vie. Le restant de la matière est dite « noire ». Sa nature est mystérieuse mais elle pourrait être constituée de particules subatomiques encore inconnues.

La matière n'est elle-même qu'une partie relativement petite du contenu de l'Univers. Elle est accompagnée d'« énergie noire ». Les astronomes viennent de procéder à une nouvelle détermination de la proportion relative matière/énergie en calculant la quantité totale de matière. Pour cela ils ont utilisé une technique éprouvée, qui consiste à comparer le nombre et la masse d'amas de galaxies par unité de volume avec les prédictions de simulations numériques. Le nombre d'amas observés à l'heure actuelle est très sensible aux conditions cosmologiques et, en particulier, à la quantité totale de matière.

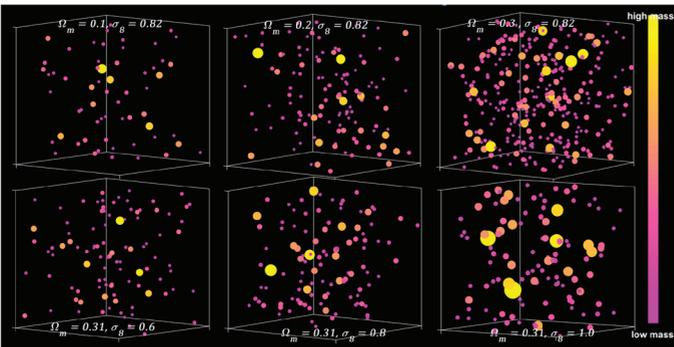
Un pourcentage plus élevé de matière totale dans l'Univers entraînerait la formation d'un plus grand nombre d'amas. Mais il est difficile de mesurer avec précision la masse des amas car la majeure partie de la matière est sombre et nous ne pouvons pas la voir directement avec des télescopes.

Pour surmonter cette difficulté, l'équipe a été contrainte d'utiliser un traceur indirect de la masse des amas. Ils se sont appuyés sur le

fait que les amas massifs contiennent plus de galaxies que les amas moins massifs (relation masse richesse : MRR). Le nombre de galaxies dans chaque amas peut être utilisé pour déterminer indirectement sa masse totale. En mesurant le nombre de galaxies dans chaque amas de leur échantillon du Sloan Digital Sky Survey, les chercheurs ont donc pu estimer leur masse. Ils ont ensuite comparé le nombre et la masse des amas par unité de volume avec les prédictions de simulations numériques. La meilleure correspondance entre les observations et les simulations était celle d'un Univers constitué de 31 % de matière, une valeur en excellent accord avec celle obtenue à l'aide des observations du fond diffus cosmologique (CMB) faites avec le satellite Planck. – une technique totalement indépendante.

Ce travail démontre que l'abondance des amas est une technique concurrentielle pour contraindre les paramètres cosmologiques, et complémentaire des autres techniques telles que les anisotropies du fond CMB, les oscillations acoustiques baryoniques, les supernovæ de type Ia ou les lentilles gravitationnelles.

Le succès de l'équipe tient à l'utilisation de la spectroscopie pour déterminer avec précision la distance de chaque amas et pour identifier les galaxies effectivement liées gravitationnellement à l'amas plutôt que celles d'avant ou d'arrière-plan le long de la ligne de mire. Des études antérieures qui tentaient d'utiliser la méthode MRR reposaient sur des techniques d'imagerie beaucoup plus grossières et moins précises, telles que des images obtenues à plusieurs longueurs d'onde.



*Simulation d'amas d'abondances variées. Chaque cercle représente un amas avec sa taille. La couleur (de magenta à jaune) indique une masse de faible à élevée. Le nombre d'amas dépend de la masse totale de matière.
(M. Abdullah, The National Research Institute of Astronomy and Geophysics, Egypt/Chiba University, Japan)*

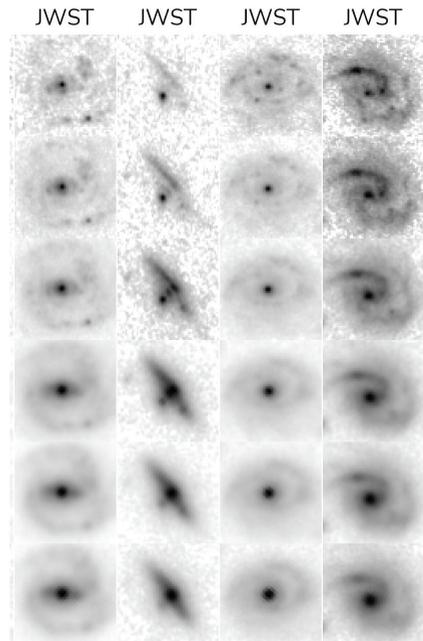
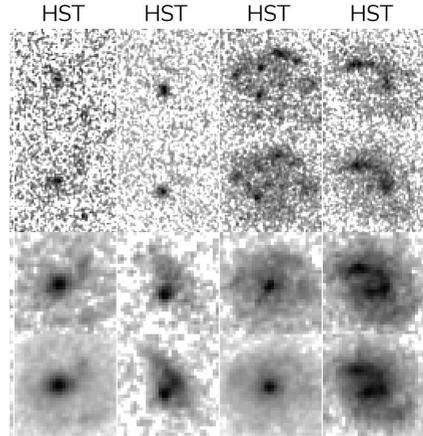
Galaxies

Basé sur un communiqué University of Manchester

À l'aide du télescope spatial James Webb (JWST), les chercheurs ont découvert que les galaxies comme la Voie lactée sont étonnamment communes et qu'elles dominent partout dans l'Univers. La Voie lactée est une galaxie à « disque » typique, ressemblant à une crêpe en rotation et contenant souvent des bras spiraux. Ce sont les plus courantes dans l'Univers proche et ce pourrait être le type de galaxies le plus favorable au développement de la vie compte tenu de la nature de leur histoire de formation.

Les astronomes considéraient que ces galaxies étaient trop fragiles pour exister dans l'Univers lointain, primitif. Les collisions et fusions de galaxies étaient alors plus courantes, détruisant leurs formes délicates.

La nouvelle découverte révèle qu'en fait ces galaxies à disques sont dix fois plus courantes que ce que les observations faites avec le télescope spatial Hubble semblaient indiquer. On pensait qu'elles étaient quasi inexistantes jusqu'à ce que l'Univers ait environ six milliards d'années. Ces nouveaux résultats du JWST repoussent presque au début de l'Univers le moment où les galaxies du type de la Voie lactée se sont formées. Ces résultats du JWST montrent que ces galaxies à disques ont toujours été majoritaires. Cela implique que la plupart des étoiles existent et se forment au sein de ces galaxies, ce qui modifie notre compréhension complète de la manière dont se produit la formation des galaxies. Ces résultats suggèrent également d'importantes questions sur la matière noire dans l'Univers primitif, sur lesquelles nous savons très peu de choses.



*Comparaison d'images prises par les télescopes spatiaux Hubble (au-dessus) et JWST, et montrant quatre galaxies du type Voie lactée découvertes aux confins de l'Univers. Une galaxie par colonne et une couleur par rang. Le JWST permet de voir des détails qui sont hors de portée pour Hubble.
(L. Ferreira, C. Conselice)*

IRS13

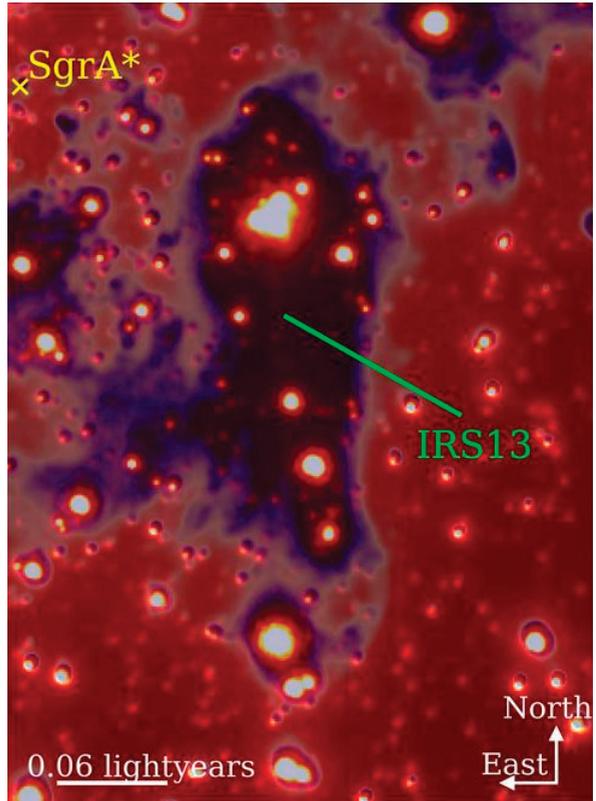
Basé sur un communiqué Université de Cologne

L'analyse d'un amas d'étoiles jeunes proche du trou noir supermassif de la Galaxie, Sagittarius A* (Sgr A*), a montré qu'il est nettement plus jeune qu'on ne le pensait. L'amas, IRS13, a été découvert il y a plus de vingt ans, mais ce n'est que maintenant qu'il a été possible d'en étudier individuellement les étoiles en combinant une grande variété d'observations réalisées avec différents télescopes sur une période de plusieurs décennies. Âgées d'une centaine de milliers d'années, ces étoiles sont extraordinairement jeunes. À titre de comparaison, le Soleil a environ 5 milliards d'années. En raison du rayonnement de haute énergie ainsi que des forces de marée de la

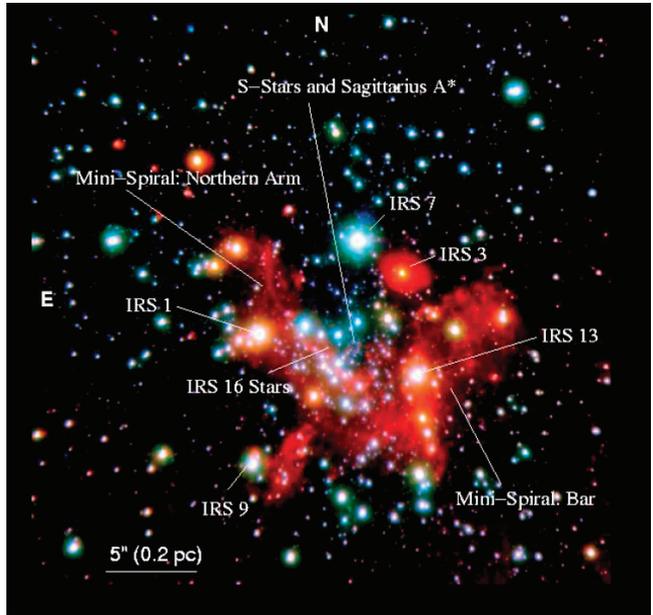
Galaxie, il est difficile de comprendre comment un si grand nombre d'étoiles jeunes ont pu se trouver réunies à proximité directe du trou noir supermassif.

Un autre résultat exceptionnel a été obtenu. Pour la première fois, le télescope spatial James Webb (JWST) a été utilisé pour enregistrer un spectre provenant du centre galactique et exempt des effets délétères que l'atmosphère provoque sur les observations réalisées par des observatoires terrestres. Le spectre a révélé la présence de glace d'eau dans le centre galactique – un matériau que l'on trouve souvent dans les disques de poussière entourant les bébés étoiles. Cela plaide aussi en faveur du jeune âge de certaines étoiles proches du trou noir.

Vue multi-longueurs d'onde de la région du trou noir supermassif Sgr A de la Voie lactée. Les étoiles sont vues en rouge, la poussière en bleu.*
(Florian Peißker / Université de Cologne)



Vue plus étendue du centre galactique. (ESO/MPE/S. Gillessen et al. ;OCA)



Outre la détection inattendue d'étoiles jeunes et de glace d'eau par le JWST, les chercheurs ont également découvert que l'amas IRS13 avait connu une évolution tourmentée. Les résultats de l'étude suggèrent que IRS13 a migré vers le trou noir supermassif en interagissant avec l'environnement interstellaire et en subissant des collisions avec d'autres amas d'étoiles. À une certaine distance, l'amas a été capturé par l'attraction du trou noir. Au cours de ce processus, un choc d'étrave s'est probablement formé à l'avant de l'amas, comme l'onde qui précède la proue d'un navire en mouvement. L'augmentation de la densité de la poussière et du gaz a ensuite été suffisante pour stimuler la formation d'étoiles. Cela expliquerait pourquoi des étoiles jeunes se trouvent surtout à l'avant de l'amas.

Cette analyse est la première tentative visant à percer un mystère vieux de dix ans sur les étoiles étonnamment jeunes du centre ga-

lactique. Outre IRS13, il existe un autre amas d'étoiles, appelé l'amas S, qui est encore plus proche du trou noir et qui est également peuplé d'étoiles jeunes, beaucoup plus jeunes que ce que permettent les théories actuelles. Les résultats concernant IRS13 offrent l'opportunité d'établir un lien entre le voisinage direct du trou noir et des régions de la Galaxie situées à plusieurs années-lumière du centre.

C'est également la première fois que l'on peut identifier des populations stellaires d'âges différents – des étoiles chaudes de la séquence principale aussi bien que des étoiles émergentes – dans un amas aussi proche du centre de la Voie lactée.

En conclusion, l'amas d'étoiles IRS13 semble être la clé pour élucider l'origine de la population stellaire dense du centre de la Galaxie. Tout indique que des étoiles très jeunes, situées à portée du trou noir supermassif, ont pu s'être formées dans des amas.

Dentelles du Cygne

Basé sur un communiqué NASA

La nébuleuse des dentelles du Cygne, SNR G074.0-08.6, forme une bulle d'environ 120 années-lumière de diamètre. Distante de 2 600 années-lumière, sa largeur apparente atteint six fois celle de la Pleine Lune. Elle est le reste d'une supernova qui a explosé il y a environ 20 000 ans.

Les astronomes ont utilisé le télescope spatial Hubble pour zoomer sur un filament au bord de cette bulle en expansion, là où l'onde de choc de la supernova s'enfonce dans la matière environnante. Le filament se trouve au-delà de NGC 6992, l'arc oriental de la nébuleuse.

On explique la forme filamenteuse de certaines régions de la nébuleuse par la finesse de la surface de la bulle. Elle se révèle lorsqu'elle est vue exactement de côté, ce qui arrive naturellement sur les bords.

Les images prises entre 2001 et 2020 montrent clairement comment le front du choc s'étend au cours du temps, et permettent d'en mesurer sa vitesse. Le choc n'a pas du tout ralenti au cours des 20 dernières années. Il fonce dans l'espace interstellaire à plus de 800 000 kilomètres par heure, de quoi parcourir la distance Terre-Lune en moins d'une demi-heure.

Les images nous renseignent sur les fluctuations de la densité du gaz rencontré par le choc de la supernova lors de sa propagation dans l'espace, ainsi que sur les turbulences qui y règnent.

Une fois créé, le choc engendré par la supernova entame son expansion dans le milieu circumstellaire – provenant en partie des vents de l'étoile elle-même. Il rencontre rapidement les régions ténues de gaz et de poussière de l'espace interstellaire. Il s'agit d'une phase très transitoire dans l'expansion de la bulle de supernova où le gaz est chauffé à un million de degrés K ou plus par le passage de l'onde de choc.

Il se forme une coquille de gaz circumstellaire et interstellaire choqué. La

température élevée entraîne une intense émission de rayons X. Cette coquille se refroidit et forme une mince enveloppe d'une épaisseur de l'ordre d'une année-lumière. À l'intérieur de la bulle la température du gaz atteint plusieurs millions de degrés K.

La coquille est clairement visible dans le domaine optique grâce aux émissions « interdites » qui suivent la recombinaison des ions – hydrogène principalement, mais aussi oxygène, azote ... – avec les électrons libres. Les atomes excités émettent des photons de longueurs d'onde caractéristiques lorsqu'ils redescendent dans des états de basse énergie.¹ C'est dans cette phase que se trouve la nébuleuse des Dentelles.

L'intérieur de la bulle finira par se refroidir tandis que l'enveloppe continuera de s'étendre sur son élan. C'est alors l'émission radio de l'atome d'hydrogène neutre qui permettra de voir l'objet.

Finalement, après des centaines de siècles, les débris de la supernova auront été freinés au niveau des vitesses aléatoires du milieu environnant, et ils se mélangeront dans celui-ci.

Certaines supernovæ donnent naissance à un pulsar dont les vents interagissent avec l'environnement et apportent constamment de l'énergie. On a alors affaire à des nébuleuses de vents de pulsars, ou « plériens », qui survivent à la dissipation des restes classiques de la supernova. C'est le cas de la nébuleuse du Crabe.

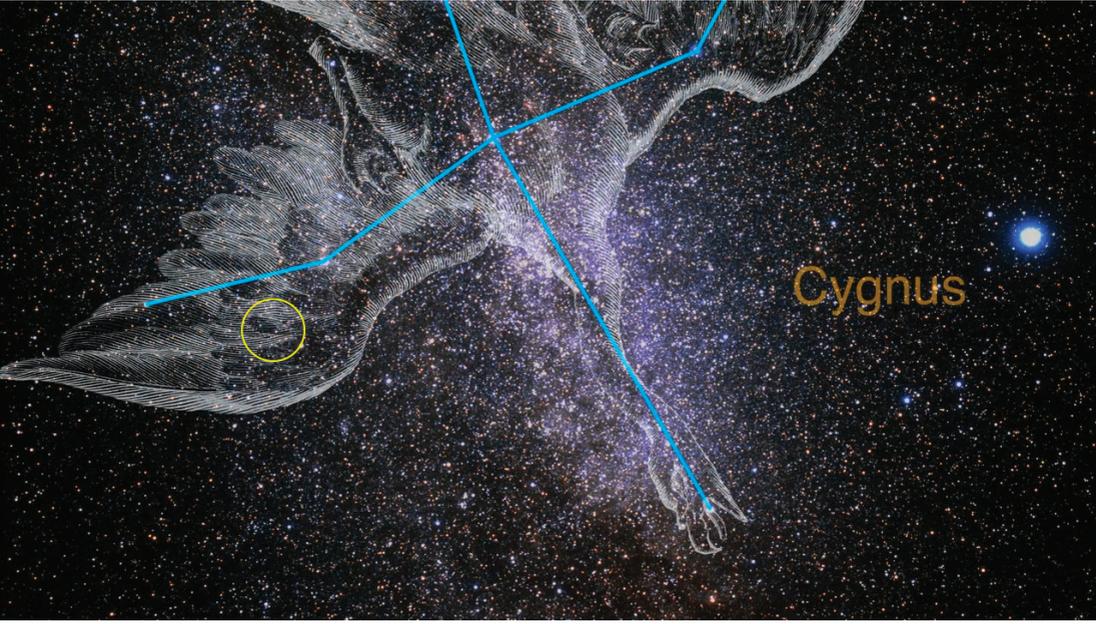
La nébuleuse des dentelles du Cygne a été découverte en 1784 par William Herschel, à l'aide d'un simple télescope de 18 pouces. Il n'aurait jamais pu imaginer qu'un peu plus de deux siècles plus tard, les astronomes auraient un télescope suffisamment puissant pour zoomer sur une toute petite partie de la nébuleuse et obtenir cette vue spectaculaire.

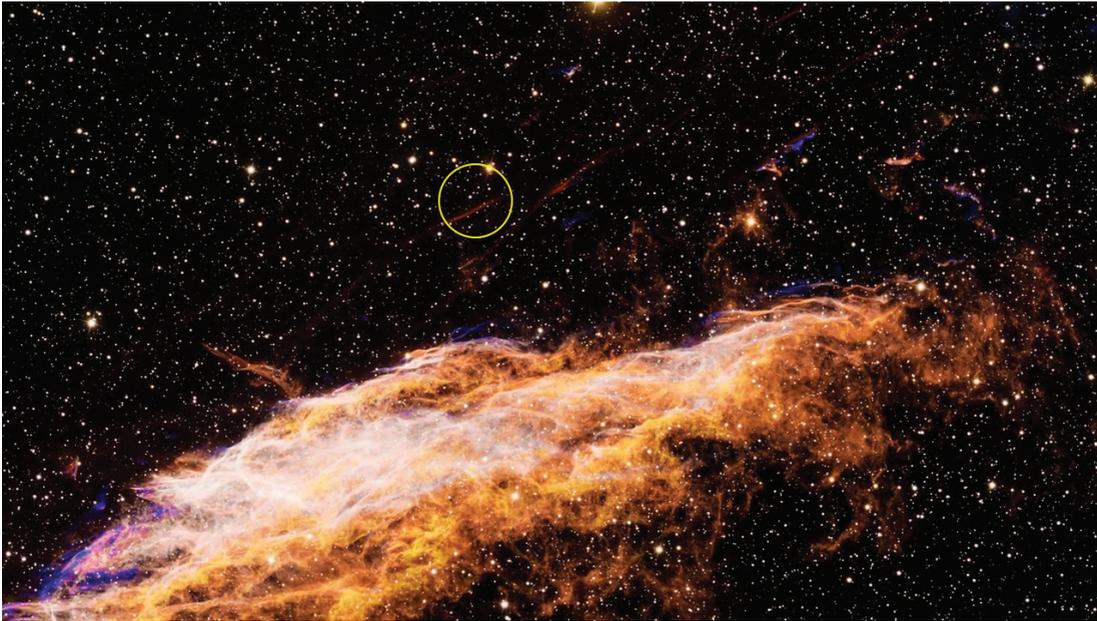
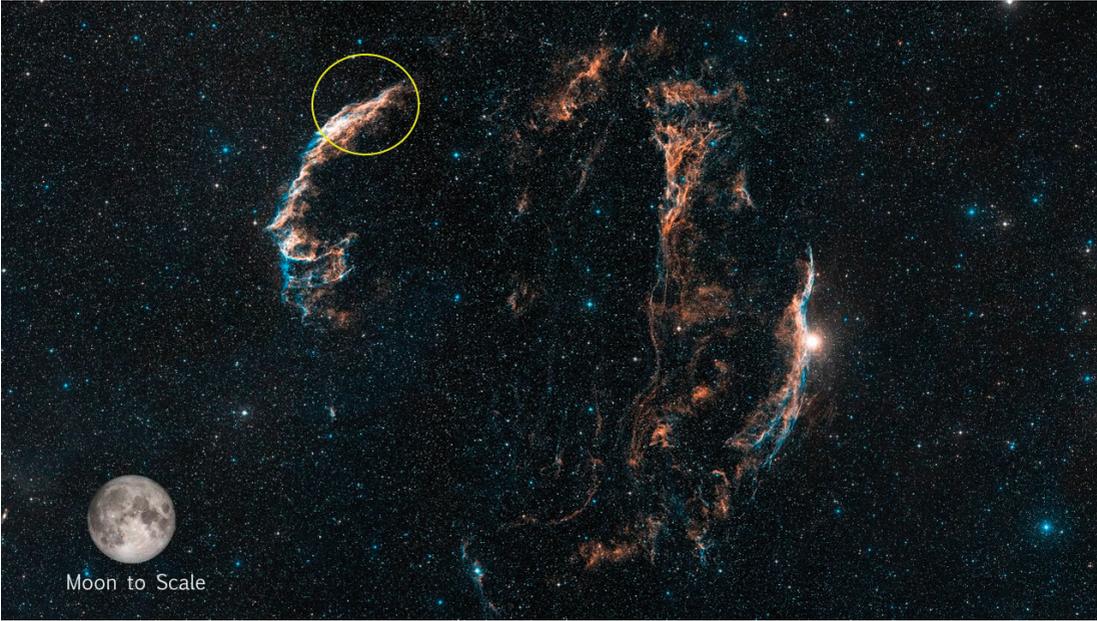
¹ Les émissions sont dites interdites car, sauf conditions particulières d'extrême dilution comme dans le milieu interstellaire ou la magnétosphère terrestre, les collisions empêchent les atomes de s'attarder dans les états excités en question.



Zoom sur une section de près de deux années-lumière de filaments d'hydrogène et d'oxygène. On voit les filaments d'hydrogène et d'oxygène se déplacer devant les étoiles tout en gardant leur forme. (Hubble/NASA/ESA/STScI, NOIRLab/NSF, A. Fujii, J. Hester, D. De Martin, T.A. Rector, R. Sankrit, DSS)

Zooms progressifs sur le Cygne et la nébuleuse des Dentelles.
(Hubble/NASA/ESA/STScI, NOIRLab/NSF, A. Fujii, J. Hester,
D. De Martin, T.A. Rector, R. Sankrit, DSS)





Gaia

Basé sur un communiqué ESA

Les chercheurs de la mission Gaia de l'ESA publient de nouveaux résultats sur notre galaxie et au-delà. Entre autres découvertes, l'étude dépasse son objectif initial en révélant un demi-million de nouvelles étoiles dans un amas globulaire, identifie plus de 380 lentilles cosmiques et localise avec précision la position de plus de 150 000 astéroïdes dans le Système solaire.

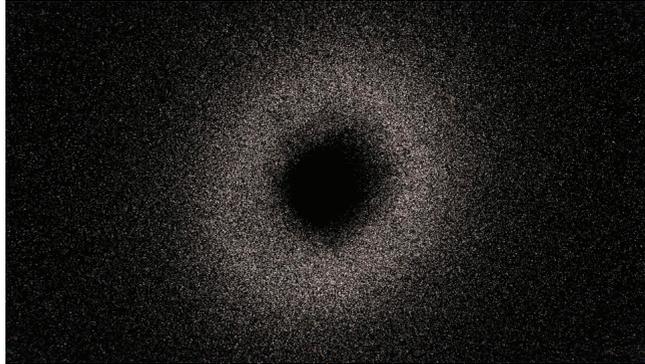
Gaia cartographie notre galaxie et au-delà avec une précision inédite. La mission dresse ainsi un tableau détaillé de notre place dans l'Univers, nous permettant de mieux comprendre les divers objets qui s'y trouvent.

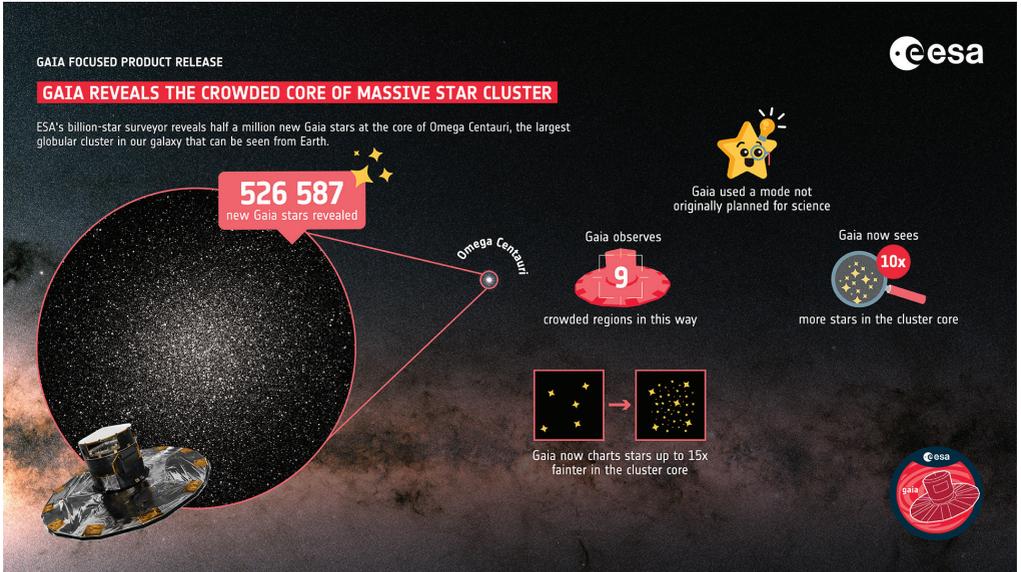
La troisième édition des résultats de Gaia (DR3) contenait des données sur plus de 1,8 milliard d'étoiles, créant ainsi une vue assez complète de la Voie lactée et au-delà. Cependant, des lacunes subsistent dans cette cartographie. Gaia n'avait pas encore pleinement exploré les zones du ciel qui étaient particulièrement densément peuplées d'étoiles, les laissant relativement inexplorées et négligeant les étoiles les plus faibles.

*Les observations par Gaia de l'amas globulaire Oméga Centauri révèlent 526 587 étoiles que la sonde n'avait jamais vues auparavant car trop faibles, ou trop proches les unes des autres. La nouvelle image est comparée à une image précédente de la version 3 de Gaia pour mettre en évidence les nouvelles sources qui ont été imagées au centre de l'amas.
(M. Trabucchi, N. Mowlavi, T. Lebzelter, ESA/Gaia/DPAC, CC BY-SA 3.0 IGO)*

Les amas globulaires en sont un exemple clé. Ces amas font partie des objets les plus anciens de l'Univers, ce qui les rend particulièrement précieux pour les scientifiques qui étudient notre passé cosmique. Malheureusement, leurs noyaux brillants, regorgeant d'étoiles, éblouissent les détecteurs. Il faut donc user d'astuces pour en obtenir une vision claire.

L'équipe de Gaia a sélectionné Omega Centauri, le plus grand amas globulaire visible depuis la Terre et un excellent exemple d'amas typique. Plutôt que de se concentrer uniquement sur des étoiles individuelles, comme c'est généralement le cas, Gaia a activé un mode spécial pour cartographier véritablement une zone de ciel plus large entourant le noyau de l'amas à chaque fois que l'amas est visible. Plus d'un demi-million de nouvelles étoiles ont ainsi été découvertes dans un seul amas. Les astronomes peuvent maintenant étudier la





structure de l'amas, la façon dont les étoiles qui le composent sont distribuées, comment elles se déplacent, et créer une carte complète à grande échelle d'Omega Centauri. Elle utilise Gaia à son plein potentiel.

Outre le fait de combler les lacunes de la cartographie, ces données ont permis de détecter des étoiles trop proches les unes des autres pour être correctement mesurées dans le « pipeline » normal de réduction des observations de Gaia.

Cette découverte non seulement atteint mais dépasse en réalité le potentiel prévu de Gaia. L'équipe a utilisé un mode d'observation conçu pour garantir le bon fonctionnement de tous les instruments de Gaia et non pour des fins scientifiques, ce qui rend ce résultat encore plus excitant.

Gaia explore actuellement huit autres régions de cette manière, les résultats devant être inclus dans la publication DR4 (Gaia Data Release 4). Ces données aideront les astronomes à véritablement comprendre ce qui se passe au sein de ces éléments constitutifs cosmiques, une étape cruciale pour les scientifiques visant à confirmer l'âge de notre galaxie, localiser son centre, déterminer si elle

*L'amas Oméga Centauri a été scruté en détail par Gaia.
(Gaia Collaboration, ESA, ATG)*

a subi des collisions passées, vérifier comment les étoiles changent. tout au long de leur vie, contraindre nos modèles d'évolution galactique et finalement en déduire l'âge possible de l'Univers lui-même.

Bien que Gaia n'ait pas été conçue pour la cosmologie, ses observations permettent d'explorer les profondeurs de l'Univers, à la recherche d'objets insaisissables et passionnants qui contiennent des indices sur certaines des plus grandes questions de l'humanité sur le cosmos : les lentilles gravitationnelles.

La lentille gravitationnelle se produit lorsque l'image d'un objet lointain est déformée par une masse inquiétante – une étoile ou une galaxie, par exemple – située entre nous et l'objet. Cette masse intermédiaire agit comme une loupe géante qui peut amplifier la luminosité de la lumière et projeter plusieurs images de la source lointaine sur le ciel. Ces configurations curieuses et rares possèdent une immense valeur scientifique, révélant des

indices uniques sur les tout premiers jours et les habitants de l'Univers.

Grâce à Gaia, les astronomes ont découvert que certains des objets d'aspect stellaire sont en réalité les images gravitationnelles de quasars très lointains – des noyaux galactiques extrêmement brillants et énergétiques alimentés par des trous noirs. Gaia présente désormais 381 candidats sérieux pour de tels objets, dont 50 très probables. Il s'agit du plus grand ensemble de candidats jamais publiés en même temps, une véritable mine d'or pour les cosmologistes.

L'équipe a identifié ces candidats parmi une longue liste de quasars possibles (y compris ceux révélés dans Gaia DR3). Cinq des lentilles possibles sont peut-être des croix d'Einstein, des systèmes de lentilles rares avec quatre sous-images disposées en croix.

Trouver ces images de quasars est un défi. Elles peuvent se regrouper dans le ciel de manière trompeuse, et la plupart sont très éloignées, ce qui les rend faibles et difficiles à repérer.

L'intérêt de Gaia est qu'elle regarde partout. On peut donc trouver des lentilles sans avoir besoin de savoir où chercher. Gaia est la première mission à réaliser une étude de tout le ciel des lentilles gravitationnelles à haute résolution.

L'incursion inattendue de Gaia en cosmologie permet une synergie avec la mission Euclid de l'ESA, récemment lancée dans sa quête d'exploration de l'Univers sombre. Alors que les deux se concentrent sur différentes parties du cosmos – Euclid sur la cartographie de milliards de galaxies, Gaia sur la cartographie de milliards d'étoiles – les quasars à lentilles découverts par Gaia peuvent être utilisés pour guider l'exploration future d'Euclid.

Les nouveaux résultats de Gaia en dévoilent davantage sur 156 823 astéroïdes déjà identifiés dans la publication DR3. Le nouvel ensemble de données identifie les positions

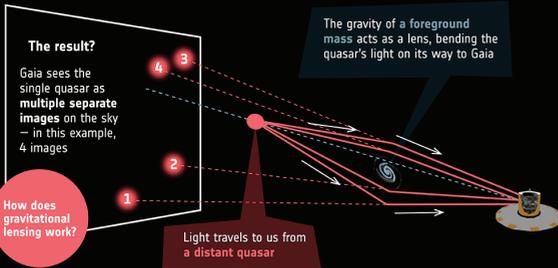
Description du phénomène de lentille gravitationnelle. À droite, six cas de lentille identifié dans Gaia DR3. (Gaia Collaboration, ESA, ATG)

GAIA FOCUSED PRODUCT RELEASE



A GOLDMINE FOR COSMOLOGISTS: GAIA LOCATES HUNDREDS OF LENSED QUASARS

ESA's Gaia telescope has peered deep into the distant Universe on the hunt for gravitational lenses: elusive objects that hold key clues to some of our biggest questions about the cosmos.



DR3Gaia193647.137-320217.79 DR3Gaia221540.110-520404.66 DR3Gaia210752.320-161131.67
Lensed systems as seen by the Dark Energy Spectroscopic Instrument (DESI) and PanSTARRS (bottom right) and identified in Gaia's Data Release 3 (DR3).

3 760 032

quasar candidates analysed

381

suspected to be lensed quasars...

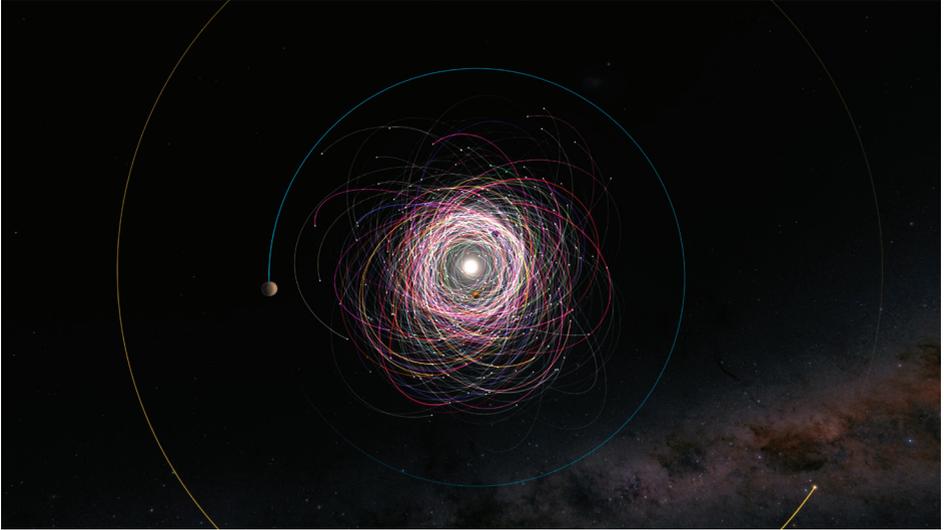
50

that are highly likely...

5

...and predicted to be especially rare quadruply-lensed quasars





Gaia a aussi permis de préciser les trajectoires de nombreux astéroïdes. (S. Jordan, T. Sagristà, P. Tanga ; Gaia Sky, Gaia DR3, ESA/Gaia/DPAC, CC BY-SA 3.0 IGO)

de ces corps rocheux sur un intervalle de temps deux fois plus long, rendant la plupart de leurs orbites – basées uniquement sur les observations de Gaia – 20 fois plus précises. À l’avenir, Gaia DR4 complétera l’ensemble et inclura des comètes, des satellites planétaires et doublera le nombre d’astéroïdes, améliorant ainsi notre connaissance des petits corps dans l’espace proche.

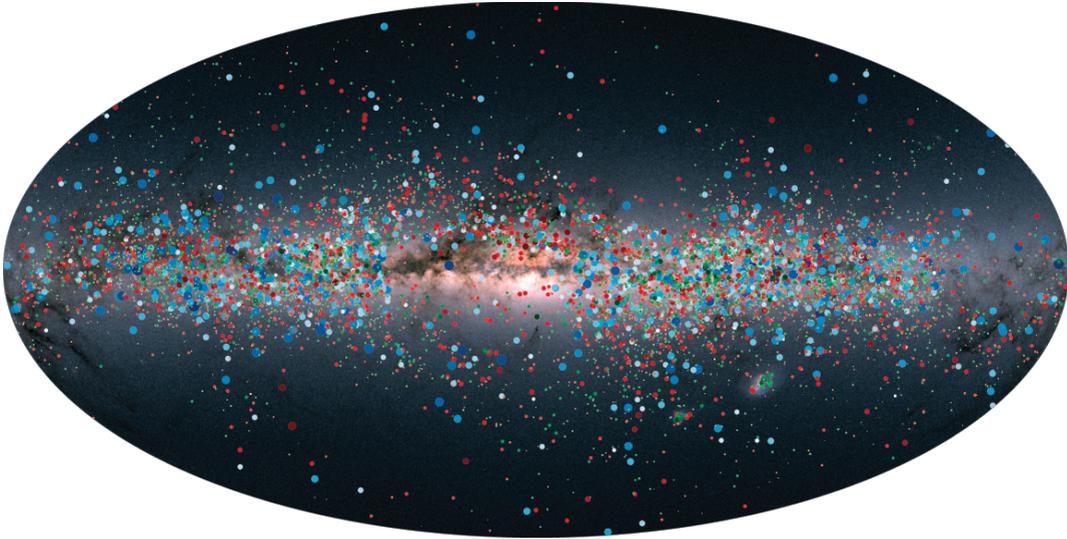
Une autre étude cartographie le disque de la Voie lactée en mesurant l’empreinte du gaz et des poussières interstellaires sur le spectre de six millions d’étoiles, formant ainsi un ensemble de données incroyablement vaste de caractéristiques faibles qui n’avaient jamais été mesurées auparavant sur un échantillon aussi vaste. L’ensemble de données devrait permettre aux scientifiques de préciser enfin la source de ces empreintes spectrales, que l’ont pense due à une molécule organique complexe. En savoir plus sur l’origine de ce signal aidera à étudier les processus physiques et chimiques complexes actifs dans toute notre galaxie, et à mieux comprendre la matière située entre les étoiles.

Finalement, Gaia a permis de caractériser la dynamique de 10 000 étoiles géantes rouges pulsantes et binaires, ce qui en fait la plus grande base de données de ce type disponible à ce jour sur le sujet. Ces étoiles faisaient partie d’un catalogue de deux millions d’étoiles candidates variables publiées dans Gaia DR3 et sont essentielles au calcul des distances cosmiques, à la confirmation des caractéristiques stellaires et à la clarification de la façon dont les étoiles évoluent dans le cosmos. La nouvelle version permet de mieux comprendre comment ces étoiles fascinantes évoluent au fil du temps.

Cette publication de données démontre une fois de plus la valeur vaste et fondamentale de Gaia, même sur des sujets pour lesquels elle n’était pas initialement conçue. Bien que son objectif principal soit d’étudier les étoiles,

Gaia explore tout, depuis les corps rocheux du Système solaire jusqu'aux multiples quasars imagés situés à des milliards d'années-lumière, bien au-delà des limites de la Voie lactée. La mission offre une véritable aperçu unique de l'Univers et des objets qu'il contient.

La prochaine publication de données de la mission, Gaia DR4, n'est pas attendue avant la fin de 2025. Elle s'appuiera sur Gaia DR3 et sur cette version intermédiaire de produit pour améliorer encore notre compréhension de la Voie lactée multidimensionnelle.



L'une des nouvelles études de l'équipe Gaia caractérise la dynamique de 10 000 étoiles géantes rouges pulsantes et binaires dans la plus grande base de données de ce type disponible à ce jour. Ces étoiles faisaient partie d'un catalogue de deux millions d'étoiles candidates variables publiées dans Gaia DR3 et sont essentielles au calcul des distances cosmiques, à la confirmation des caractéristiques stellaires et à la clarification de la façon dont les étoiles évoluent dans le cosmos. La nouvelle version permet de mieux comprendre comment ces étoiles fascinantes évoluent au fil du temps. Chaque symbole sur cette carte du ciel indique la position d'une des sources du catalogue. Chacune est codée par couleur en fonction du type de variabilité de l'étoile vue par Gaia. Les symboles rouges sont des variables à longue période (LPV) dont la variabilité est pilotée par la pulsation de l'étoile. Les points verts représentent les étoiles dites à « longue

période secondaire » (LSP), dont la cause de la variabilité est encore débattue mais qui serait liée à un nuage de poussière en orbite autour de l'étoile. Les symboles bleus sont des variables ellipsoïdales : des géantes rouges qui font partie d'un système binaire avec un objet compact et dense, et dont la forme est déformée en forme d'œuf en raison de la forte attraction gravitationnelle de ce compagnon. Chaque source change de luminosité à peu près périodiquement et sa vitesse radiale varie. Cela signifie que la surface stellaire s'approche ou s'éloigne de nous de manière cyclique lorsque l'étoile pulse, ou que l'étoile elle-même s'approche/s'éloigne lorsqu'elle se déplace tout au long de son orbite. Plus le point représenté est grand et sombre, plus la vitesse de l'étoile change tout au long de son cycle. (M. Trabucchi, N. Mowlavi, T. Lebzelter, ESA/Gaia/DPAC, CC BY-SA 3.0 IGO)

Wasp-17 b

Basé sur un communiqué Webb

Les chercheurs utilisant le télescope spatial JWST ont détecté des traces de nanocristaux de quartz dans les nuages de haute altitude de WASP-17 b, une Jupiter chaude distante de 1 300 années-lumière. La détection, faite avec le spectrographe MIRI (Mid-Infrared Instrument), est la première de particules de silice (SiO_2) dans l'atmosphère d'une exoplanète.

Les chercheurs savaient grâce aux observations antérieures de Hubble qu'il devait y avoir des aérosols dans l'atmosphère de WASP-17 b, mais ils ne s'attendaient pas à ce que cela soit du quartz.

Les silicates, des minéraux riches en silicium et en oxygène, constituent la majeure partie de la Terre et de la Lune ainsi que d'autres objets rocheux du Système solaire. Ils s'en trouvent partout dans toute la Galaxie. Mais les grains de silicate précédemment détectés dans l'atmosphère des exoplanètes et des naines brunes semblent être constitués de silicates riches en magnésium comme l'olivine et le pyroxène, et non de quartz seul – qui est de la silice pure.

Les résultats donnent une nouvelle tournure à notre compréhension de la formation et de l'évolution des nuages, d'exoplanètes. Ces poussières sont probablement les minuscules

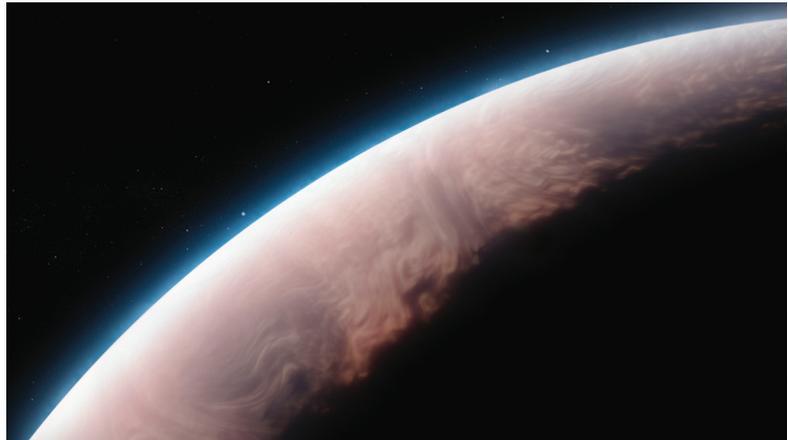
graines qui s'agglomèrent pour former les plus grosses particules de silicate que l'on détecte dans les exoplanètes plus froides et les naines brunes.

Avec un volume plus de sept fois supérieur à celui de Jupiter et une masse inférieure à la moitié de celle de cette planète, WASP-17 b est l'une des exoplanètes les plus enflées connues. Ceci, ajouté à sa courte période orbitale de seulement 3,7 jours terrestres, rend la planète idéale pour la spectroscopie par transmission – une technique qui consiste à mesurer les effets de filtrage et de diffusion de l'atmosphère d'une planète sur la lumière des étoiles.

Webb a observé le système WASP-17 pendant près de 10 heures, collectant plus de 1 200 mesures de luminosité dans l'infrarouge moyen de 5 à 12 microns, alors que la planète passait devant son étoile. En comparant les observations lorsque la planète était devant l'étoile de celles de l'étoile seule, l'équipe a pu estimer le spectre de la lumière bloquée par l'atmosphère de la planète.

Ce qui est apparu était une « bosse » à 8,6 microns, une caractéristique à laquelle on ne s'attendrait pas si les nuages étaient constitués de silicates de magnésium ou d'autres aérosols possibles à haute température comme l'oxyde d'aluminium, mais qui est parfaitement normale s'ils sont constitués de quartz.

Vue d'artiste de l'atmosphère de la planète géante WASP-17 b. On y trouve principalement de l'hydrogène et de l'hélium, mais aussi un peu d'eau, de gaz carbonique et d'autres molécules. (NASA, ESA, CSA, R. Crawford/STScI)



Bien que ces cristaux aient probablement une forme semblable aux prismes hexagonaux pointus trouvés dans les géodes et les magasins de pierres précieuses sur Terre, chacun ne mesure qu'environ 10 nanomètres de diamètre, soit un millionième de centimètre.

Contrairement aux particules minérales trouvées dans les nuages terrestres, les cristaux de quartz détectés dans les nuages de WASP-17 b ne sont pas balayés d'une surface rocheuse. Ils proviennent de l'atmosphère elle-même. WASP-17 b est extrêmement chaude – environ 1 500 degrés Celsius – et la pression à laquelle ils se forment dans l'atmosphère ne représente qu'un millième environ de celle que nous connaissons à la surface de la Terre. Dans ces conditions, des cristaux solides peuvent se former directement à partir du gaz, sans passer par une phase liquide au préalable.

Savoir de quoi sont constitués les nuages est crucial pour comprendre la planète dans son ensemble. Les Jupiters chaudes comme WASP-17 b sont principalement constituées d'hydrogène et d'hélium, avec de petites quantités d'autres gaz comme la vapeur d'eau (H₂O) et le dioxyde de carbone (CO₂). Si l'on considère uniquement l'oxygène présent dans ces gaz et que l'on néglige d'inclure tout l'oxygène enfermé dans des minéraux comme

le quartz, on sous-estime considérablement l'abondance totale. Ces cristaux nous renseignent sur l'inventaire de différents matériaux et sur la manière dont ils s'assemblent pour façonner l'environnement de cette planète.

La quantité exacte de quartz et l'omniprésence des nuages sont difficiles à déterminer. Les nuages sont probablement présents le long du terminateur, qui est la région sondée par les observations. Étant donné que la planète est bloquée dans sa rotation par les marées, avec un côté jour très chaud et un côté nuit plus frais, il est probable que les nuages circulent autour de la planète mais se vaporisent lorsqu'ils atteignent le côté jour. Les vents pourraient souffler ces minuscules particules vitreuses à des milliers de kilomètres par heure.

WASP-17 b est l'une de trois planètes ciblées par DREAMS (Deep Reconnaissance of Exoplanet Atmospheres using Multi-instrument Spectroscopy), un programme du JWST conçu pour rassembler un ensemble complet d'observations d'une représentante de chaque classe clé d'exoplanètes : une Jupiter chaude, une Neptune chaude et une planète rocheuse tempérée.

Le spectre de WASP-17 b montre la présence de quartz (SiO₂). C'est la première fois que l'on en trouve sur une exoplanète. (NASA, ESA, CSA, R. Crawford/STScI, N. Lewis/Cornell University, D. Grant/University of Bristol, H. Wakeford/University of Bristol/STScI)

