



Astronomie dans le monde

Euclid Q1

Basé sur des données ESA et CNRS

La mission Euclid de l'Agence spatiale européenne a publié sa première série de données d'observation (Quick-release 1 ou Q1), dont un aperçu de ses « champs profonds ». Des centaines de milliers de galaxies de formes et de tailles variées y occupent une place centrale et offrent un aperçu de leur organisation à grande échelle dans la toile cosmique. Avec des prises de vue très détaillées de portions entières de l'Univers, ce relevé spatial, qui n'est encore qu'à 0,5% de la couverture complète attendue, est déjà plein de promesses.

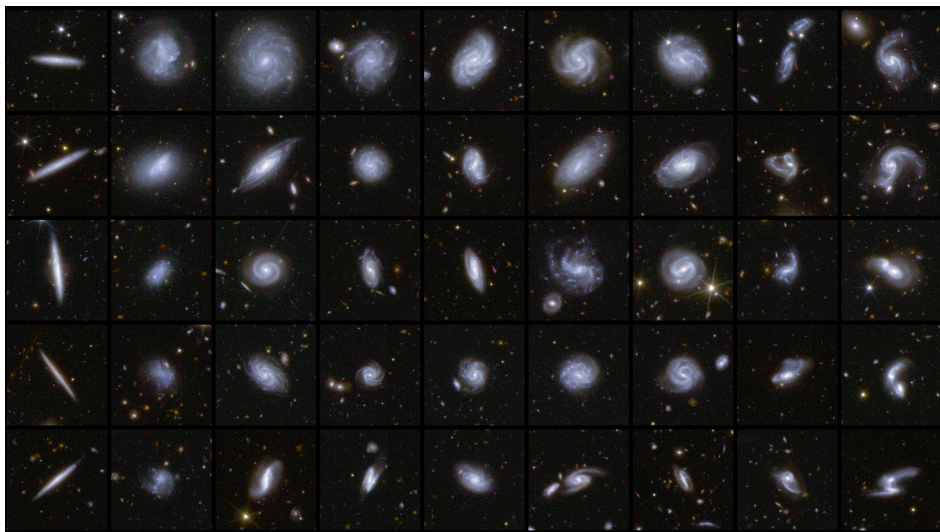
Cette mission révolutionnaire vise à percer l'un des plus grands mystères de la cosmologie moderne : la nature de l'énergie noire et de la matière noire, qui ensemble constituent 95% de l'Univers mais restent encore mystérieuses.

Cette première livraison de données Q1 constitue une étape majeure pour vérifier le potentiel scientifique de la mission. Euclid conduit un vaste relevé en très haute définition du tiers de la voûte céleste, qui s'étendra sur 6 ans. Équipé d'un large champ de vue et utilisant de longs temps de pose (70 minutes),

Emplacement des premières régions du ciel observées par Euclid (champs Q1). Ces observations ont la même sensibilité que celle prévue pour l'ensemble de la mission, permettant de détecter des objets aussi faiblement lumineux que dans le futur programme principal. Ces mêmes régions seront également observées plus longuement dans le cadre des « champs profonds » pour détecter des objets encore plus lointains. La carte en arrière-plan combine les données des satellites Gaia et Planck. La bande horizontale lumineuse est la Voie lactée. (ESA/Euclid/Consortium Euclid/NASA; ESA/Gaia/DPAC; ESA/Planck Collaboration)

il capte la lumière des objets les plus ténus du cosmos. Au total, 40 000 images seront prises, constituant une vue très détaillée de l'Univers riche de milliards de galaxies.

Euclid devrait capturer des images de plus de 1,5 milliard de galaxies, générant environ 100 Go de données par jour. Un ensemble de données d'une telle ampleur offre d'incroyables possibilités de découverte, mais pose d'énormes défis en matière de recherche, d'analyse et de catalogage des galaxies.



▲ *L'immense diversité des galaxies observées par Euclid. Par centaines de milliers, ces galaxies sont répertoriées dans un vaste catalogue en fonction de leurs caractéristiques morphologiques spécifiques, comme la présence de bras spiraux, de barres centrales, ou de queues de marée, témoignant d'interactions entre elles.*

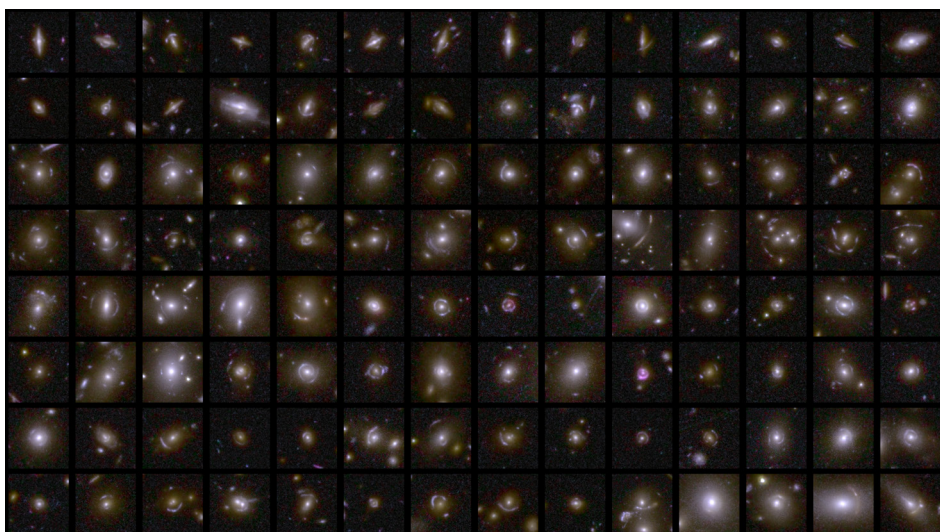
(ESA/Euclid/Consortium Euclid/NASA, M. Walmsley, M. Huertas-Company, J.-C. Cuillandre)

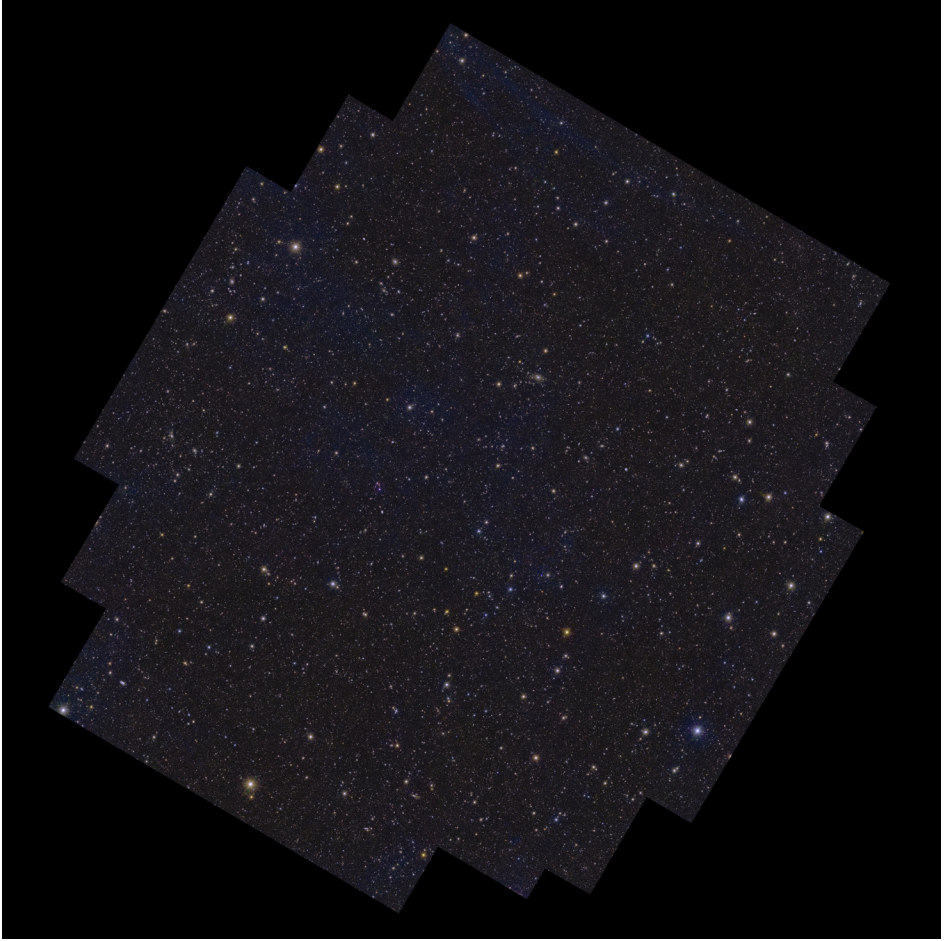
▼ *Exemples de lentilles gravitationnelles capturées par Euclid.*

Grâce à un premier balayage par des modèles d'intelligence artificielle, suivi d'une inspection scientifique citoyenne, d'une validation par des experts et d'une modélisation, un premier catalogue de 500 candidats à la lentille forte galaxie-galaxie a été créé, presque tous jusqu'alors inconnus.

Euclid devrait capturer quelque 100 000 lentilles d'ici la fin de la mission, soit environ 100 fois plus que ce qui est actuellement connu.

(ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA, J.-C. Cuillandre, E. Bertin, G. Anselmi)





Champ profond nord d'Euclid. Après une seule observation, le télescope spatial a déjà repéré plus de dix millions de galaxies dans ce champ. Euclid effectuera 32 observations de ce champ pour en atteindre toute la profondeur. Sous le centre gauche de l'image se trouve la nébuleuse de l'Œil de Chat (cf. images suivantes). Un peu plus haut à droite du centre de l'image, un grand groupe de galaxies est dominé par la grande galaxie NGC 6505. Cette galaxie abrite le premier anneau d'Einstein découvert par Euclid, à 590 millions d'années-lumière. On peut distinguer de faibles nuées lumineuses, les « cirrus galactiques » reflétant la lumière de la Voie lactée.

Le champ profond nord d'Euclid a une superficie de 22,9 degrés carrés et est situé très près du pôle nord de l'écliptique, dans la constellation du Dragon. La proximité du pôle écliptique garantit une couverture maximale tout au long de l'année; la position exacte a été choisie pour obtenir un chevauchement maximal avec l'un des champs profonds étudiés par le télescope spatial Spitzer, le cheval de bataille de la NASA dans le domaine de l'infrarouge. (ESA/Euclid/Consortium Euclid/NASA; ESA/Gaia/DPAC; ESA/Planck Collaboration)



▲ *Agrandissement 16× du champ profond sud d'Euclid. De nombreuses galaxies, d'âges et de distances différents, sont visibles dans ce champ. À l'extrême droite on distingue des galaxies en interaction. Des amas de galaxies, notamment en bas au centre, montrent des structures en arcs représentant l'effet de lentille gravitationnelle.*

▼ *Ci-dessous, un agrandissement 70× du champ profond sud. L'amas central J041110.98-481939.3 est situé à 6 milliards d'années-lumière.
(ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA, J.-C. Cuillandre, E. Bertin, G. Anselmi)*





*Zoom sur la nébuleuse de l'Œil de Chat
(NGC 6543), distante de 3 000 années-lumière.
L'étoile mourante est en train d'éjecter ses
couches superficielles.
(ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA,
J.-C. Cuillandre, E. Bertin, G. Anselmi)*

Les progrès des algorithmes d'intelligence artificielle et l'implication de milliers de bénévoles et d'experts en sciences citoyennes, jouent un rôle crucial. L'IA est un élément fondamental et nécessaire pour exploiter pleinement le vaste ensemble de données d'Euclid.

Euclid a repéré les trois zones du ciel où il fournira les observations les plus approfondies de sa mission. En seulement une semaine d'observations, avec un balayage de chaque région jusqu'à présent, Euclid a déjà repéré 26 millions de galaxies, les plus éloignées se situant jusqu'à 10,5 milliards d'années-lumière.

Ces champs contiennent également une petite population de quasars brillants, visibles beaucoup plus loin. Au cours des prochaines années, Euclid survolera ces trois régions des dizaines de fois, capturant ainsi un nombre bien plus important de galaxies lointaines, rendant ces données véritablement profondes d'ici la fin de la mission nominale, en 2030.

Mais le premier aperçu de 63 degrés carrés du ciel, soit l'équivalent de plus de 300 fois la pleine lune, donne déjà un aperçu impressionnant de l'ampleur du grand atlas cosmique d'Euclid une fois la mission terminée. Cet atlas couvrira un tiers du ciel – 14 000 degrés carrés avec ce niveau de détail de haute qualité.

La mission combine deux instruments sophistiqués : un imageur visible (VIS) d'une précision exceptionnelle pour un télescope de grand champ disposant d'une résolution de 0,16 seconde d'arc et un spectromètre et photomètre infrarouge (NISP) qui permet de mesurer la distance des cibles. Cette combinaison unique permet non seulement d'étudier avec une précision sans précédent les mystérieuses composantes que sont la matière noire et l'énergie noire, mais aussi toute une myriade d'autres phénomènes astrophysiques.

La première année de collecte de données tient ses promesses et le recensement des galaxies ou encore des lentilles gravitationnelles

fortes bat son plein. Les premières se comptent déjà par centaines de milliers tandis que les secondes sont identifiées par centaines.

L'effet de lentille gravitationnelle, véritable loupe cosmique qui déforme et multiplie l'image des galaxies lointaines, nous révèle comment la matière noire tisse sa toile. Mais ces phénomènes sont extrêmement rares, nous n'en connaissons que quelques centaines. Avec Euclid, nous nous attendons à en trouver des dizaines de milliers.

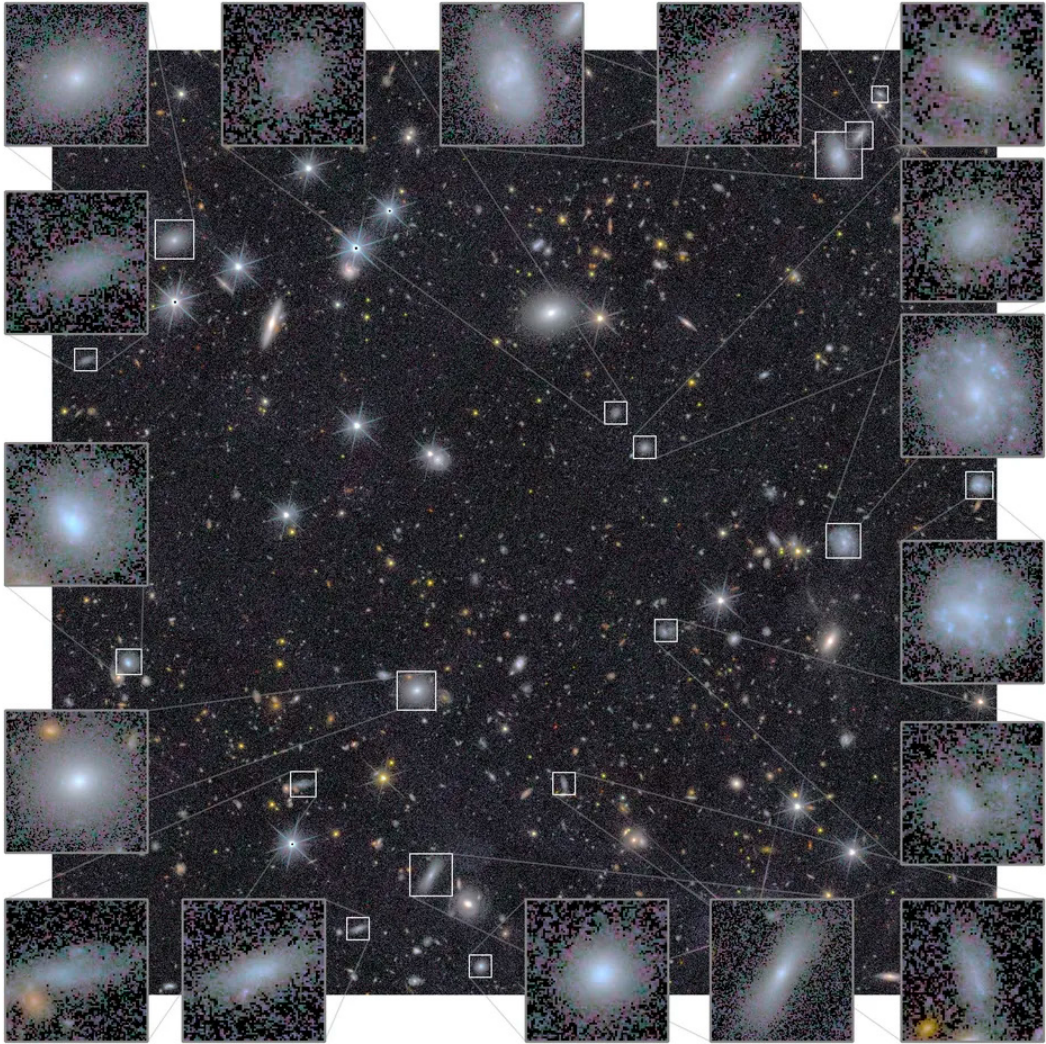
Euclid sera également capable de mesurer les effets de lentille « faibles », qui se manifestent lorsque les distorsions des sources d'arrière-plan sont minuscules. De telles distorsions subtiles ne peuvent être détectées qu'en analysant statistiquement un grand nombre de galaxies. Dans les années à venir, Euclid mesurera les formes altérées de milliards de galaxies représentant 10 milliards d'années d'histoire cosmique, offrant ainsi une vision 3D de la distribution de la matière noire dans l'Univers.

Dans le cadre du projet Euclid, les astronomes étudient aussi particulièrement la formation et le développement des galaxies naines, les galaxies les plus nombreuses de l'Univers, dont l'abondance et la distribution fournissent des tests critiques pour les modèles cosmologiques.

La page suivante montre 25 images qui ont permis aux scientifiques de découvrir 2 674 galaxies naines et de créer un catalogue de galaxies naines candidates, et ce grâce à une méthode semi-automatique.

Parmi les galaxies identifiées, 58 % sont des galaxies naines elliptiques, 42 % sont des galaxies irrégulières et quelques-unes sont riches en amas globulaires (1 %), en noyaux galactiques (4 %) et une fraction notable (6,9 %) de naines à centre compact bleu.

Cette étude apporte des éclairages sur la morphologie, la distance, la masse stellaire et le contexte environnemental de ces objets.



*Quelques-unes des galaxies naines
découvertes par Euclid.
(Euclid, University of Innsbruck)*

La nébuleuse de la Lyre

Basé sur un communiqué RIT

Messier 57, la nébuleuse de la Lyre (ou de l'Anneau) est l'un des objets les plus photographiés du ciel nocturne, depuis sa première image en 1886.

Sa structure tridimensionnelle, qui a toujours fait l'objet de débats, a maintenant été dévoilée. Les astronomes ont déterminé que la nébuleuse avait une forme ellipsoïdale en utilisant le réseau SMA (Submillimeter Array) pour observer les émissions du monoxyde de carbone (CO). Ce traceur révèle un gaz moléculaire froid qui enveloppe le gaz chaud et la poussière observés sur des images telles que celles des télescopes spatiaux Hubble (HST) et James Webb (JWST).

Les astronomes pensaient que la nébuleuse avait la forme d'un anneau ou d'une bulle, mais le modèle créé à partir des données du SMA ont montré qu'il s'agissait d'un ellipsoïde. Les observations de CO donnent la vitesse et la position des molécules de dioxyde de carbone éjectées par l'étoile mourante qui a généré la nébuleuse de l'Anneau et révèlent sa forme 3D. Celle-ci ne pouvait être déduite à partir d'images télescopiques seules, même en utilisant les puissants observatoires spatiaux de la NASA comme le HST et le JWST.

La modélisation a permis aux astronomes d'estimer qu'environ 6 000 ans se sont écoulés depuis que l'étoile, alors géante rouge, a éjecté le gaz qui enveloppe la nébuleuse. Les don-

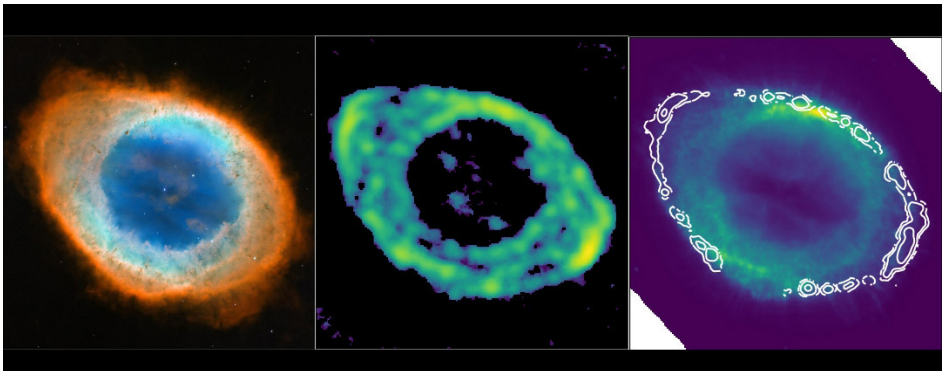
nées du SMA montrent l'influence d'une étoile compagne au centre de la nébuleuse, sous la forme de bouffées de gaz qui semblent s'être échappées à grande vitesse de chaque extrémité de la coquille ellipsoïdale.

Ces résultats font suite à des recherches similaires menées sur la nébuleuse de l'Anneau austral, (NGC 3132), l'un des premiers objets observés par le JWST. Cette nouvelle approche consistant à utiliser la combinaison de la cartographie SMA et de l'imagerie JWST pour faire ressortir les structures 3D de ces objets, offre aux scientifiques une nouvelle façon de comprendre les dernières étapes de la mort des étoiles semblables au Soleil.

Les étoiles qui génèrent des nébuleuses planétaires comme l'Anneau et l'Anneau austral pourraient avoir produit une grande partie du carbone de l'Univers. On observe donc dans ces objets étonnants, le carbone en train d'être recyclé pour la prochaine génération d'étoiles et de planètes.

M57 vue en optique par Hubble, à gauche ; en émission radio des molécules de CO par le réseau SMA, au centre ; et en infrarouge par le JWST, à droite. L'image est superposée aux contours de l'émission du CO qui se déplace perpendiculairement à la ligne de visée, montrant comment le gaz moléculaire imagé par le SMA enveloppe le gaz ionisé vu par le JWST.

(NASA/ESA/O'Dell/Ferland/Henney/Peimbert/Thompson, SMA/JWST, J. Kastner/RIT)



Leo P

Basé sur un communiqué STScI

Les galaxies grossissent en accumulant du gaz et en fusionnant les unes avec les autres, mais il subsiste de nombreuses petites galaxies restées à l'état de « germes ». Les astronomes étudient ces galaxies naines pour comprendre comment elles ont évolué au fil du temps. Les galaxies naines isolées qui n'ont pas été affectées par les fusions sont particulièrement intéressantes et peuvent leur fournir un aperçu des processus qui fonctionnent à l'échelle cosmique.

Les recherches ont mené à une galaxie naine, isolée et proche, dont la formation d'étoiles avait largement cessé au début de l'Univers, et qui s'est rallumée plus tard, connaissant une renaissance que de nombreuses autres petites galaxies n'ont pas connue.

Leo P, découverte en 2013, est une naine située à environ 5,3 millions d'années-lumière, suffisamment éloignée du Groupe local, un regroupement de galaxies qui comprend la Voie lactée, pour ne pas être affectée par ce voisinage. Le P dans Leo P signifie « pristine » et traduit le fait que la galaxie contient très peu d'éléments chimiques en dehors de l'hydrogène et de l'hélium – trois pour cent de la proportion solaire.

Leo P offre un laboratoire unique pour explorer en détail l'évolution précoce d'une galaxie de faible masse. Elle a été étudiée à l'aide du télescope spatial JWST. Les astronomes en ont pris des images à l'aide de la NIRCam (Near-Infrared Camera) pour déterminer la luminosité et les couleurs de milliers d'étoiles, données qui ont fourni des informations sur l'histoire de la formation des étoiles dans la galaxie.

Leo P a formé des étoiles très tôt, mais a cessé d'en produire peu après l'époque de réionisation, une période clé dans l'histoire de l'Univers. Après quelques milliards d'années, la galaxie s'est rallumée et a recommencé à former de nouvelles étoiles.

On ne connaît que trois autres galaxies de ce genre, qui sont toutes isolées de la Voie lac-

tée, et qui ont eu la même évolution. Les observations de galaxies naines au sein du Groupe local montrent que, si la production d'étoiles a bien cessé après l'époque de réionisation, elle n'a jamais repris.

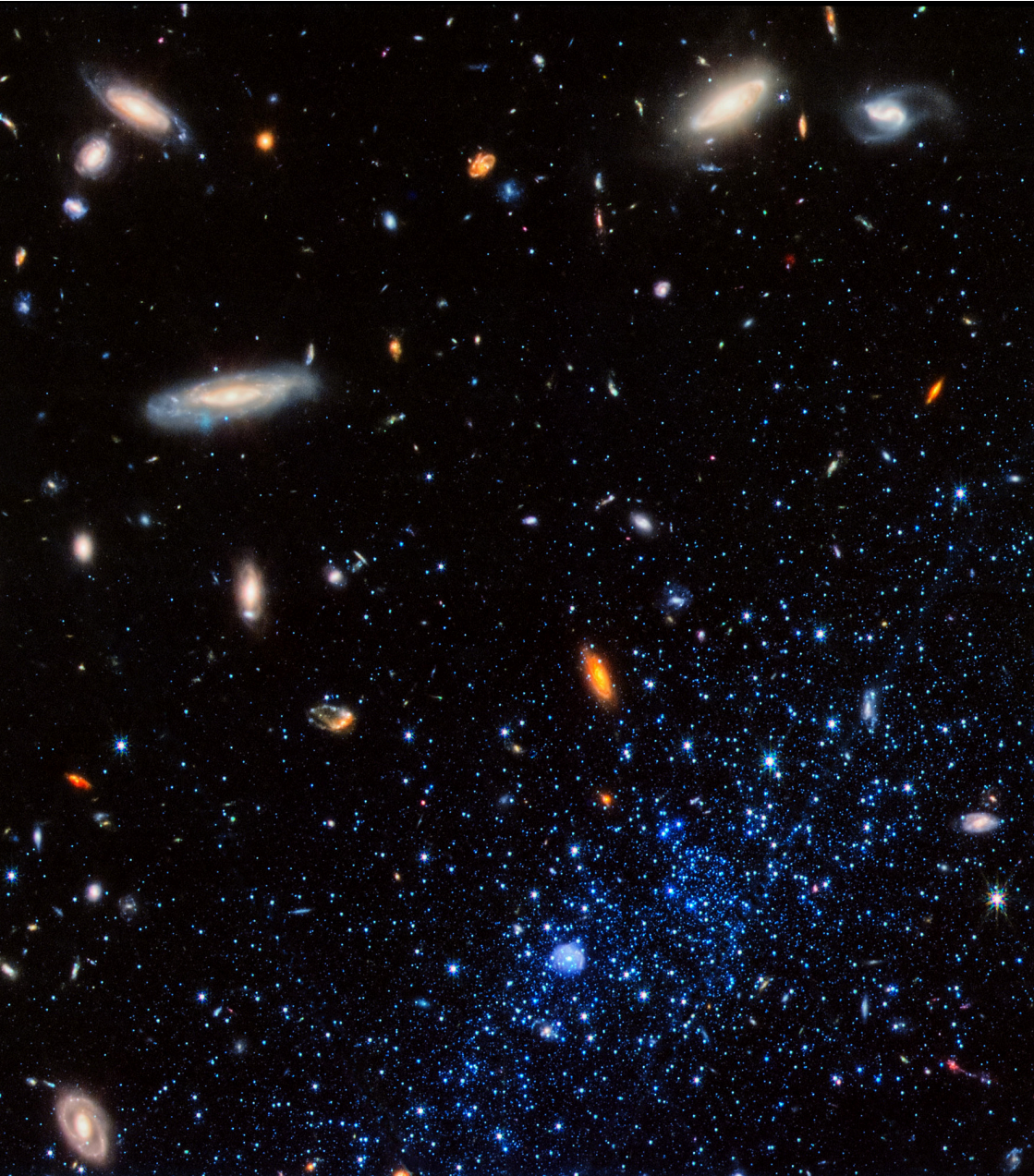
Le contraste entre la production d'étoiles des galaxies naines isolées et celles du Groupe local prouve de manière convaincante que ce n'est pas seulement la masse d'une galaxie au moment de la réionisation qui détermine si sa formation d'étoiles sera arrêtée ou éteinte. Son environnement, c'est-à-dire le fait qu'elle soit isolée ou satellite d'un système plus vaste, est un facteur important.

► **Image NIRCam/JWST montrant la galaxie naine Leo P (en bas à droite). Les astronomes ont mesuré 15 000 de ses étoiles pour déduire l'histoire de la galaxie. Elle a traversé trois phases : une première vague de formation d'étoiles, une pause de plusieurs milliards d'années, puis un nouveau cycle de formation d'étoiles, qui se poursuit encore aujourd'hui. L'image combine des longueurs d'onde de 0,9 micron (représentée en bleu), 1,5 micron (vert) et 2,77 microns (rouge).**

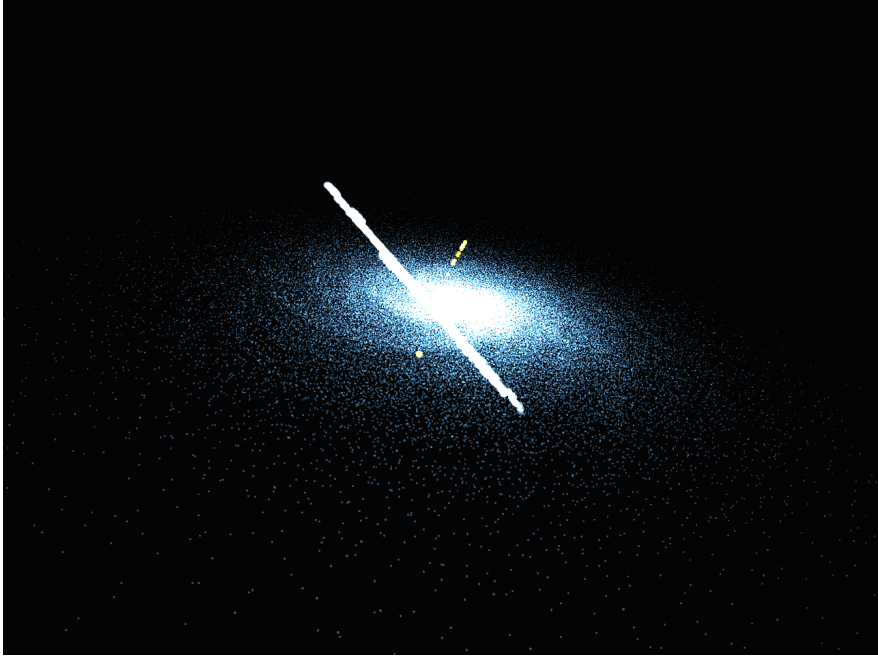
Les étoiles de Leo P apparaissent bleues par rapport aux galaxies d'arrière-plan pour plusieurs raisons. Les étoiles jeunes et massives, courantes dans les galaxies à formation d'étoiles, sont principalement bleues et brillent le plus aux courtes longueurs d'onde. Leo P est extrêmement pauvre en éléments plus lourds que l'hydrogène et l'hélium et les étoiles pauvres en métaux qui en résultent ont tendance à être plus bleues que les étoiles comme le Soleil.

La bulle bleue dans la galaxie est une région d'hydrogène ionisé entourant une étoile massive et chaude de type O.





(NASA, ESA, ASC, K. McQuinn/STScI)



Le courant galactique GD-1

Basé sur un communiqué UC Riverside

Une solution est proposée à l'énigme qui entoure le courant galactique GD-1, l'un des flux les plus étudiés du halo de la Voie lactée et qui se distingue par sa longueur et sa forme tourmentée.

Les chercheurs suggèrent qu'un « sous-halo » de matière noire (SIDM, Self-Interacting Dark Matter) – un petit halo satellite au sein du halo galactique – est responsable des caractéristiques particulières des « éperons » et des « trous » observés dans GD-1. Ce résultat pourrait avoir des implications importantes pour la compréhension des propriétés de la matière noire dans l'Univers.

Un courant stellaire est un groupe d'étoiles se déplaçant collectivement le long d'une trajectoire commune. Un « trou » fait référence à une sous-densité localisée d'étoiles le long du flux, tandis qu'un « éperon » est une surdensité d'étoiles s'étendant vers l'exté-

Le courant GD-1 se profile sur la Voie lactée. En jaune, le Soleil et le courant Ophiuchus. (Image générée à l'aide de l'outil interactif <https://adrian.pw/visualizations/mwstreams/>)

rieur à partir du corps principal du flux. Étant donné que la matière noire régit le mouvement des flux stellaires, les astronomes peuvent les utiliser pour suivre la matière noire dans une galaxie.

Les caractéristiques des éperons et des trous du flux stellaire GD-1 ne peuvent s'expliquer par l'influence gravitationnelle d'amas globulaires connus ou de galaxies satellites de la Voie lactée. Ces caractéristiques pourraient cependant être le fait d'un objet perturbateur inconnu, tel qu'un sous-halo. Mais la densité de l'objet devrait être significativement plus élevée que celle prédite par les sous-halos traditionnels de matière noire froide (CDM).

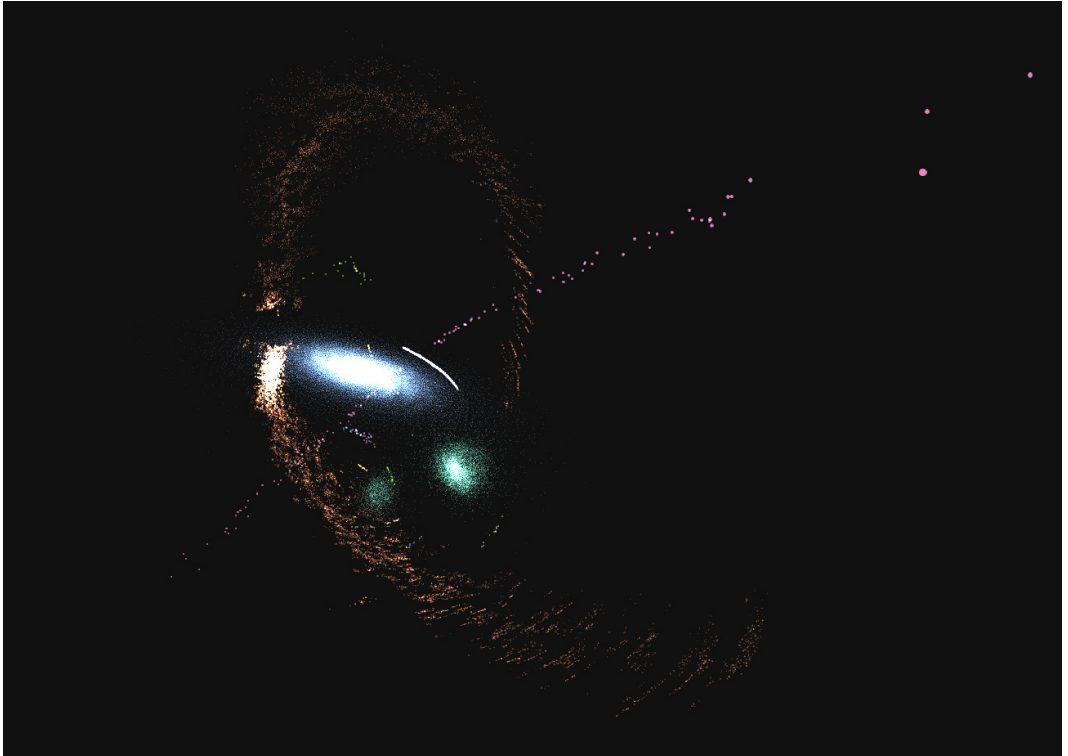
La nouvelle étude démontre qu'un sous-halo SIDM en effondrement pourrait atteindre la densité nécessaire et susciter les perturbations observées dans le flux GD-1.

La matière noire représenterait 85 % de la matière de l'Univers. Sa nature n'est pas bien comprise. La théorie CDM suppose que les particules de matière noire n'entrent pas en collision entre elles. La SIDM, une forme théorique de la matière noire, propose que les particules de matière noire interagissent entre elles par le biais d'une nouvelle force « noire ».

Les chercheurs ont effectué des simulations « à N-corps » pour modéliser le comportement d'un sous-halo SIDM en cours d'effondrement. Les résultats offrent une nouvelle explication aux caractéristiques observées dans GD-1. L'objet perturbateur est un sous-halo SIDM, qui perturbe les distributions spatiales et de vitesse des étoiles dans le flux et crée les caractéristiques distinctives que l'on observe dans GD-1.

Ces travaux ouvrent une voie prometteuse pour étudier les propriétés d'auto-interaction de la matière noire à travers les flux stellaires. Ils constituent une avancée passionnante dans la compréhension de la matière noire et de la dynamique de la Voie lactée.

Le halo galactique de la Voie lactée, une région à peu près sphérique entourant la galaxie, contient de la matière noire et s'étend bien au-delà du bord visible de la galaxie. Cette image montre des courants stellaires bien connus autour de la Voie lactée (blanc-bleu au centre). Le grand courant brunâtre est celui du Sagittaire. GD-1 est le trait blanc près de la Voie lactée. Les nuages de Magellan sont en turquoise. (Image générée à l'aide de l'outil interactif <https://adrian.pw/visualizations/mwstreams/>)



Dans le mille

Basé sur un communiqué NASA

Le télescope spatial Hubble de la NASA, avec l'aide de l'observatoire Keck d'Hawaii, a permis d'identifier neuf anneaux dans le disque de LEDA 1313424, une galaxie deux fois et demie plus grande que la nôtre, avec un diamètre de 250 000 années-lumière. Les autres galaxies montrent au maximum deux ou trois anneaux. Cet ensemble d'anneaux est dû à l'impact d'une petite galaxie qui a traversé le noyau de LEDA 1313424 comme une flèche il y a environ 50 millions d'années – d'où le nom « Bullseye » (« mille », « centre de cible »). Les astronomes ont identifié ce projectile comme étant une galaxie naine bleue (à gauche du centre du cliché). Une fine traînée de gaz relie désormais les deux galaxies, bien qu'elles soient actuellement séparées de 130 000 années-lumière.

Comme les vaguelettes provoquées par la chute d'un caillou dans une mare, les anneaux ne durent pas longtemps. Bullseye est observée à un moment très particulier de son histoire, durant la fenêtre très étroite après l'impact pendant laquelle une galaxie comme celle-ci a autant d'anneaux.

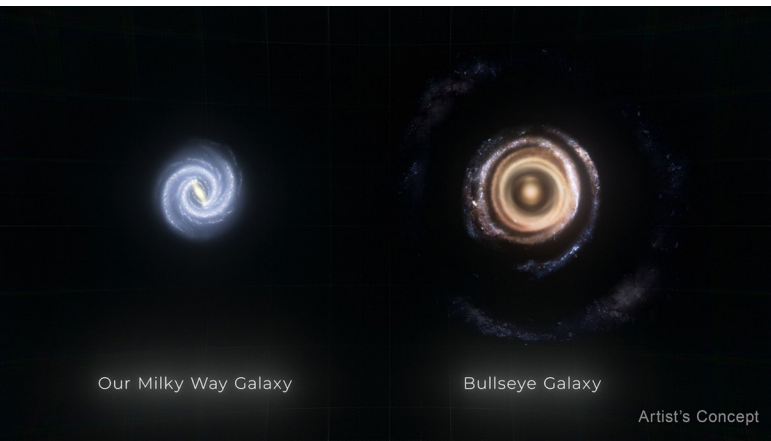
Les galaxies entrent en collision ou se frôlent assez fréquemment à l'échelle cosmique, mais il est rare qu'une galaxie perce le centre d'une autre. La trajectoire rectiligne de la galaxie naine bleue à travers le centre de la cible a provoqué des déplacements de matière par vagues, déclenchant de nouvelles régions de formation d'étoiles.

Les chercheurs soupçonnent qu'un dixième anneau existait également, qui s'est dissipé. Ils estiment qu'il pourrait se trouver trois fois plus loin que l'anneau le plus large vu sur l'image de Hubble.

Ces anneaux sont en accord avec une théorie déjà ancienne qui prédit leur déplacement vers l'extérieur, mais qui attendait une confirmation observationnelle.

Les anneaux de la galaxie ne sont pas uniformément espacés comme ceux d'une cible de fléchettes. Ils sont groupés au centre et s'espacent progressivement au fur et à mesure qu'ils s'en éloignent.

Les chercheurs pensent que les deux premiers anneaux de Bullseye se sont formés rapidement et se sont étendus en cercles plus larges. La formation des anneaux supplémentaires a peut-être été légèrement décalée, car le passage de la galaxie naine a eu un impact plus important sur les premiers anneaux.



Comparaison de la taille de notre galaxie, la Voie lactée, avec celle de la gigantesque galaxie Bullseye. La Voie lactée mesure environ 100 000 années-lumière de diamètre, et Bullseye est presque deux fois et demie plus grande, avec 250 000 années-lumière de diamètre. (NASA, ESA, R. Crawford/STScI)



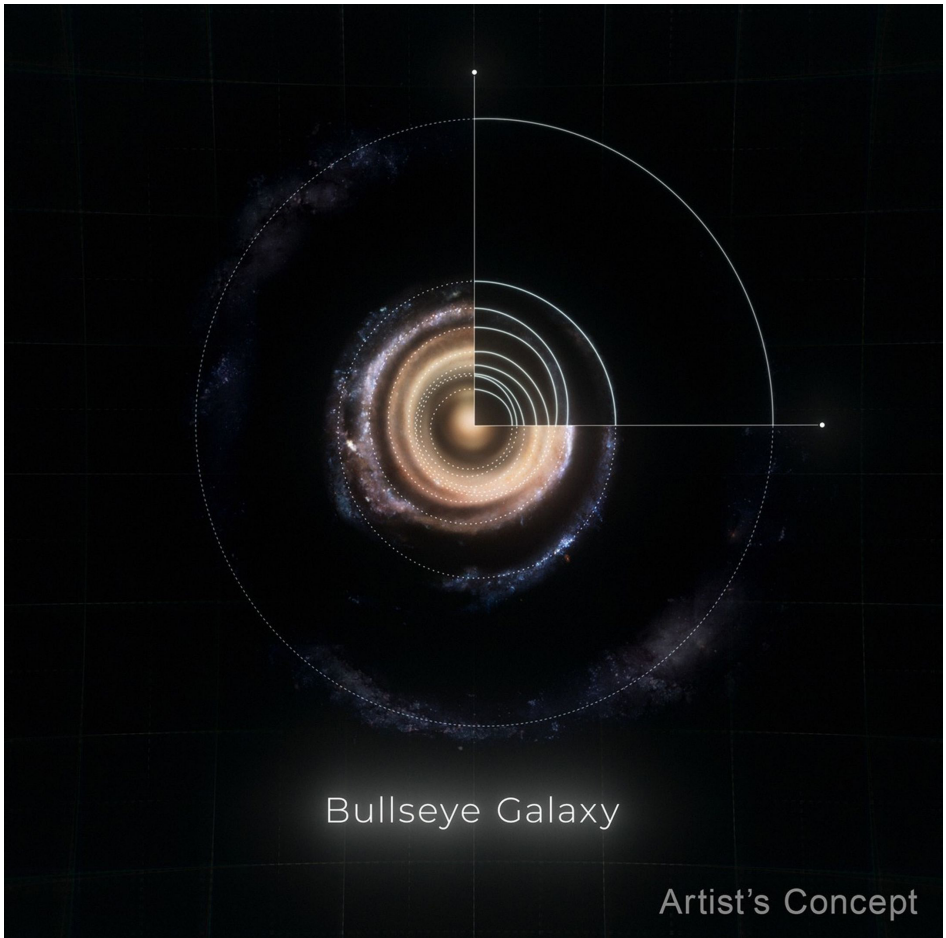
LEDA 1313424, surnommée à juste titre Bullseye, est deux fois et demie plus grande que la Voie lactée et possède neuf anneaux, soit six de plus que toute autre galaxie connue. Les images haute résolution du télescope spatial Hubble de la NASA ont confirmé la présence de huit anneaux et les données de l'observatoire

WM Keck à Hawaï ont confirmé la présence d'un neuvième. Hubble et Keck ont également confirmé quelle galaxie a traversé Bullseye, créant ces anneaux : la galaxie naine bleue qui se trouve immédiatement au centre gauche. (NASA, ESA, I. Pacha/Yale, P. van Dokkum/Yale)

Les orbites des étoiles individuelles n'ont pas été perturbées, même si des groupes d'étoiles se sont agrégés pour former des anneaux distincts au cours de millions d'années. Le gaz, quant à lui, a été emporté vers l'extérieur et mélangé à la poussière pour former de nouvelles étoiles, ce qui a illuminé encore plus les anneaux.

Il reste encore beaucoup de recherches à effectuer pour déterminer quelles étoiles existaient avant et après le passage de la naine bleue. Les astronomes pourront désormais améliorer les modèles montrant comment la galaxie évoluera sur des milliards d'années, et comment les anneaux se dissiperont.

Illustration montrant la galaxie Bullseye vue de face. Les cercles en pointillés indiquent l'emplacement de chacun de ses anneaux qui se sont formés après l'impact central d'une galaxie naine il y a environ 50 millions d'années. Le télescope spatial Hubble et l'observatoire Keck ont permis de localiser avec précision l'emplacement de la plupart de ses anneaux dont beaucoup sont empilés au centre. (NASA, ESA, Ralf Crawford/STScI)



Bullseye Galaxy

Artist's Concept

Matière noire dans l'univers lointain

Basé sur un communiqué Kavli IPMU

Des chercheurs ont découvert que la matière noire domine les halos de deux trous noirs supermassifs dans des galaxies situées à environ 13 milliards d'années-lumière.

Les premiers indices probants de l'existence de la matière noire dans les amas de galaxies et dans les galaxies elles-mêmes ont été obtenus dès les années 1930, mais c'est quelques décennies plus tard, dans les années 1970, que cette hypothèse s'est concrétisée, avec notamment l'observation de la rotation de galaxies par Vera Rubin et d'autres astronomes.

Rubin a remarqué que les parties extérieures des galaxies locales tournaient à des

vitesse plus élevées que prévu, montrant ce qui a été plus tard appelé une courbe de rotation plate. Ces courbes, obtenues par mesure de l'effet Doppler, donnent la vitesse de rotation en fonction de la distance au noyau de la galaxie.

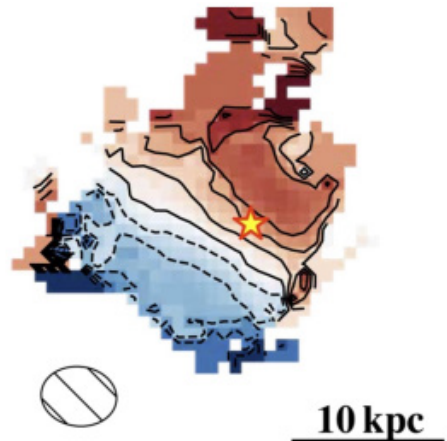
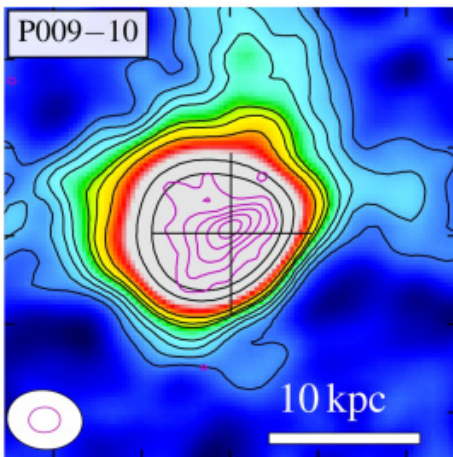
Si les galaxies n'étaient constituées que des étoiles et du gaz que l'on voit, et si elles obéissaient aux lois de Newton, les régions externes d'une galaxie tourneraient plus lentement que ce que l'on observe. Les observations de Rubin n'auraient de sens que s'il y avait une grande quantité de masse invisible qui entourait la galaxie comme un halo, permettant aux étoiles et au gaz n'importe où loin du centre de la galaxie de se déplacer à une vitesse plus élevée.

Il restait à trouver des preuves observationnelles de cette matière noire dans l'univers très jeune, donc très lointain.

Des mesures par ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) de l'émission du carbone ionisé ont permis d'analyser la dynamique du gaz de deux galaxies très lointaines (redshift de 6), hôtes de quasars. Les courbes de rotation plates de ces galaxies indiquent que la matière noire représente environ

À gauche : distribution du carbone ionisé dans le halo de P009-10.

À droite : champ de vitesse de l'émission du carbone ionisé de -200 km/s (en bleu ; se déplaçant vers nous par rapport au centre) à +200 km/s (en rouge ; s'éloignant de nous), indiquant une rotation cohérente dans un halo massif de matière noire.
(Fei et al.)

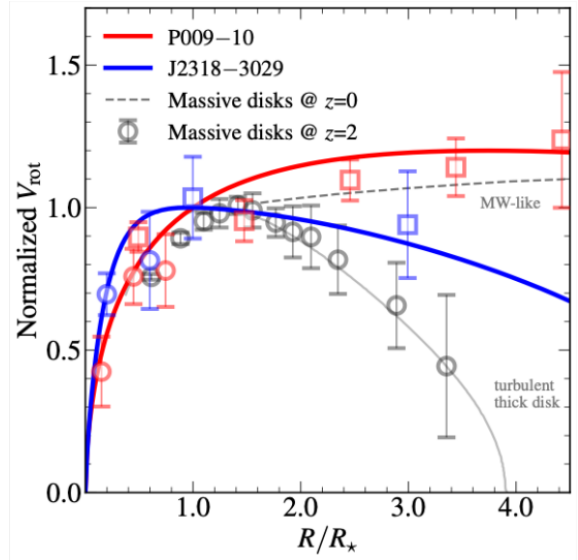


60 % de sa masse totale et sont semblables à celles des galaxies à disque massif de l'univers proche.

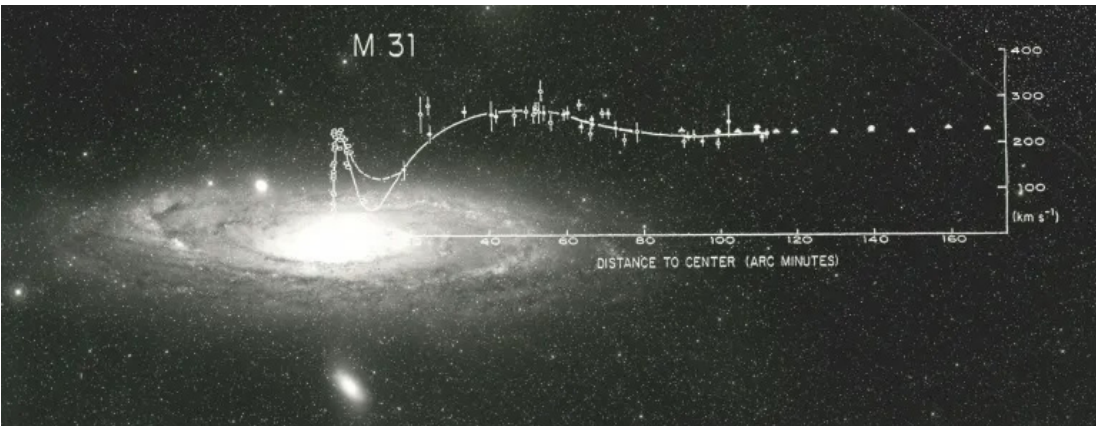
Des courbes de rotation d'autres galaxies très lointaines, issues d'études passées, révélaient par contre une diminution plus forte de la vitesse avec la distance, ce qui signifie une faible fraction de matière noire.

Ces résultats mettent en lumière la relation complexe entre la matière noire et les trous noirs supermassifs. Ils apportent une pièce essentielle du puzzle pour comprendre comment les galaxies ont évolué depuis l'univers primitif jusqu'aux structures que nous observons aujourd'hui.

▼ *Courbe de rotation de la galaxie d'Andromède (M31), basée sur des mesures optiques de 1970 par Rubin et Ford (cercles) et radio de 1975 par Roberts et Whitehurst (triangles). Les vitesses restent élevées bien au-delà des limites du disque observé.*



▲ *Courbes de rotation de galaxies lointaines. Les données des deux quasars, en rouge et bleu, restent relativement plates, semblables aux galaxies à disque massives locales (ligne grise en pointillés) qui ont besoin de matière noire étendue pour expliquer leurs vitesses élevées. Les résultats d'autres galaxies de redshifts de 2 à 3 (en points de données gris) montrent une courbe de rotation qui diminue à la périphérie. Cela conduit à une faible fraction de matière noire. (Fei et al.)*



HH30

Basé sur un communiqué ESA/Webb

Le télescope spatial James Webb montre l'objet de Herbig-Haro HH 30 avec une résolution sans précédent, complétant les observations du télescope spatial Hubble et d'ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array). HH30 est un disque protoplanétaire vu de côté, entouré de jets et situé dans le nuage sombre LDN 1551 du nuage moléculaire du Taureau.

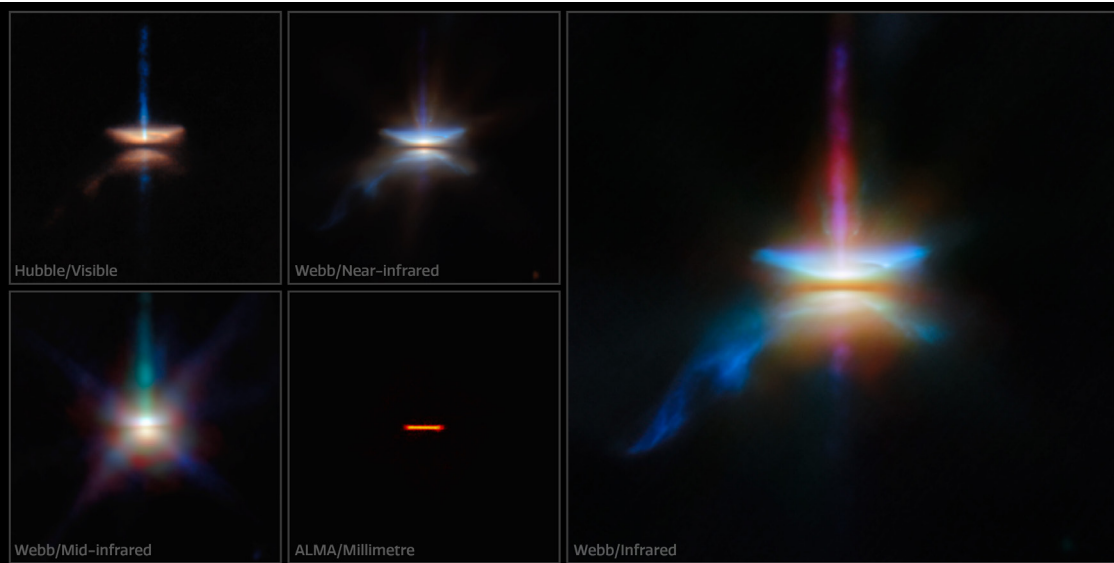
Les objets Herbig-Haro accompagnent des protoétoiles. Ils se forment lorsque des vents stellaires ou des jets émanant de ces étoiles naissantes entrent en collision avec le milieu environnant et créent des ondes de choc.

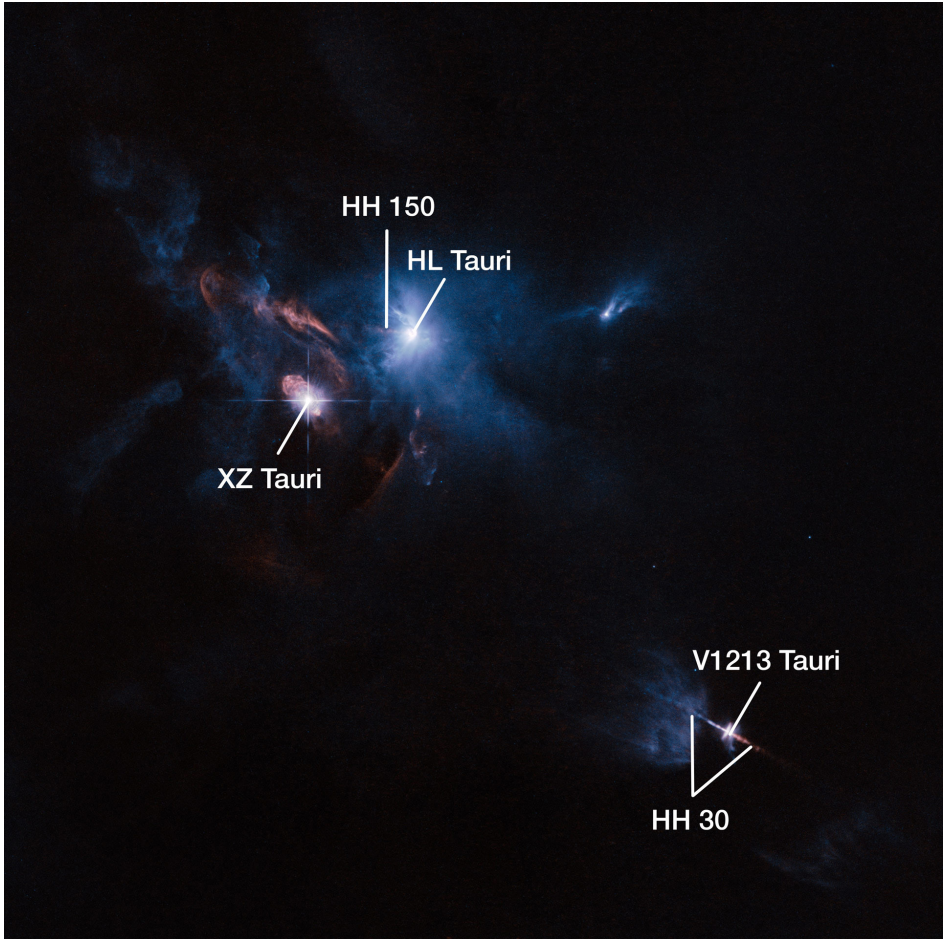
HH 30 intéresse particulièrement les astronomes en raison de son orientation favorable qui offre l'occasion d'étudier la sédimentation des grains de poussière. En combinant les observations de Webb avec celles de Hubble et d'ALMA, les astronomes ont pu étudier l'apparence du disque dans une large gamme de longueurs d'onde.

Dans le domaine submillimétrique, ALMA montre l'emplacement des grains de poussière de taille millimétrique et l'aspect est radicalement différent des perspectives infrarouge et visible fournies par Webb et Hubble. Alors que ces deux télescopes révèlent des structures délicates qui s'étendent dans l'espace, les observations d'ALMA montrent que les gros grains de poussière sont étroitement concentrés dans le plan central du disque.

Combinées, ces observations suggèrent que les gros grains de poussière migrent à l'intérieur du disque et se déposent en une fine couche dense. Il s'agit d'une étape importante dans le processus de formation des planètes.

*Les images ci-dessous montrent, à gauche, HH 30 dans le visible, le proche infrarouge, les ondes millimétriques et l'infrarouge moyen, et à droite, la combinaison des données de la caméra proche infrarouge (NIRCam) et de l'instrument infrarouge moyen (MIRI) de Webb.
(ESA/Webb, NASA & CSA, ESA/Hubble, ALMA/ESO/NAOJ/NRAO)*





Dans cette région, les poussières s'agglutinent pour former des cailloux et finalement des planètes elles-mêmes.

En plus du comportement des grains de poussière, les images Webb, Hubble et ALMA révèlent plusieurs structures distinctes imbriquées les unes dans les autres. Un jet de gaz à grande vitesse émerge perpendiculairement au disque central. Le jet étroit est enveloppé d'un cône plus large d'éjectas. Entourant ce flux conique se trouve une large nébuleuse qui diffuse la lumière de l'étoile nouvelle.

Le riche voisinage de HH30 dans le nuage moléculaire du Taureau.

L'appellation HH30 fait référence aux deux chocs lumineux apparaissant aux terminaisons des jets encadrant la variable V1213 Tauri.

Outre HH30, cette image du télescope spatial Hubble montre plusieurs systèmes stellaires ; XZ Tauri, HL Tauri, V1213 Tauri et l'objet Herbig-Haro HH 150.

(NASA/ESA Hubble Space Telescope)

Disques protoplanétaires

*Basé sur des communiqués
NASA et University of Arizona*

En 2003, Hubble apportait la preuve de l'existence d'une planète massive autour d'une étoile très vieille, presque aussi vieille que l'Univers. De telles étoiles ne possèdent que de petites quantités d'éléments plus lourds qui sont les éléments constitutifs des planètes. Cela implique que certaines planètes se sont formées lorsque notre Univers était très jeune, et que ces planètes ont eu le temps de se former et de grandir à l'intérieur de leurs disques primordiaux, plus gros encore que Jupiter. Mais comment ?

Pour répondre à cette question, les chercheurs ont utilisé Webb pour étudier les étoiles d'une galaxie proche qui, tout comme l'univers primitif, est déficiente en éléments lourds. Ils ont découvert que non seulement certaines étoiles de

cette galaxie possèdent des disques de formation de planètes, mais que ces disques ont une durée de vie plus longue que ceux observés autour des jeunes étoiles de la Voie lactée.

Les modèles prédisent qu'avec si peu d'éléments lourds, les disques autour des étoiles ont une durée de vie courte, si courte en fait que les planètes ne peuvent pas grossir. Mais Hubble a bel et bien vu ces planètes, alors les disques peuvent-ils vivre plus longtemps ?

Pour tester cette idée, les scientifiques ont dirigé Webb vers le Petit Nuage de Magellan, une galaxie naine qui est l'une des plus proches voisines de la Voie lactée. Ils ont notamment examiné l'amas massif de formation d'étoiles NGC 346, qui présente

*Image par le JWST de NGC 346, un amas d'étoiles massif dans le Petit Nuage de Magellan. Avec son absence relative d'éléments plus lourds que l'hydrogène et l'hélium, l'amas NGC 346 sert de substitut pour l'étude d'environnements stellaires avec des conditions semblables à celles de l'univers primitif. Les cercles jaunes indiquent les dix étoiles étudiées.
(NASA, ESA, CSA, STScI, O.C. Jones/UK ATC, G. De Marchi/ESTEC, M. Meixner/USRA)*



également une absence relative d'éléments plus lourds. L'amas a ainsi servi de substitut pour étudier les environnements stellaires présentant les mêmes conditions que l'univers primitif et lointain.

Les observations de NGC 346 par Hubble au milieu des années 2000 ont révélé de nombreuses étoiles âgées de 20 à 30 millions d'années qui semblaient encore entourées de disques de formation de planètes. Cela contredisait l'idée selon laquelle de tels disques se dissiperaient après 2 ou 3 millions d'années. Sans moyen d'obtenir les spectres de ces étoiles, il était impossible de déterminer s'il s'agissait vraiment de disques d'accrétion.

Grâce à la sensibilité et à la résolution du télescope spatial JWST, les scientifiques disposent maintenant des premiers spectres d'étoiles en formation semblables au Soleil et de leur environnement immédiat dans une galaxie proche. Ces étoiles sont effectivement entourées de disques et elles continuent à engloutir de la matière, même à un âge relativement avancé de 20 ou 30 millions d'années. Cela implique également que les planètes ont

plus de temps pour se former et grandir autour de ces étoiles que dans les régions de formation d'étoiles proches de notre galaxie.

Cette découverte contredit les prédictions théoriques précédentes selon lesquelles, si le gaz autour du disque contenait très peu d'éléments plus lourds, l'étoile le ferait disparaître très rapidement. La vie du disque serait donc très courte, inférieure à un million d'années. Mais si un disque ne reste pas assez longtemps autour de l'étoile pour que les grains de poussière s'agglomèrent et que des cailloux se forment et deviennent le noyau d'une planète, comment des planètes peuvent-elles se former ?

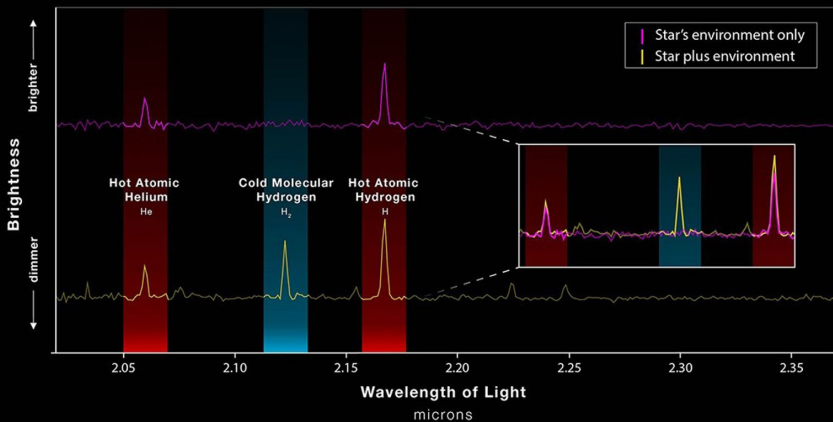
Les chercheurs pensent qu'il pourrait y avoir deux mécanismes distincts, voire une combinaison, pour que les disques de formation de planètes persistent dans des environnements pauvres en éléments plus lourds.

*Spectre d'une des étoiles étudiées dans NGC 346. L'hydrogène atomique montre un pic plus important provenant de l'étoile et indiquant la présence d'un disque protoplanétaire.
(NASA, ESA, ASC, J. Olmsted/STScI)*

STAR IN NGC 346

MOLECULAR HYDROGEN IN PROTOPLANETARY DISK

NIRSpec Microshutter Array Spectroscopy



Pour pouvoir faire exploser le disque, l'étoile applique une pression de radiation. Pour que cette pression soit efficace, il faudrait que des éléments plus lourds que l'hydrogène et l'hélium se trouvent dans le gaz. Or, l'amas massif d'étoiles NGC 346 ne contient qu'environ 10% des éléments plus lourds présents dans la composition chimique de notre Soleil. Peut-être faut-il simplement plus de temps à une étoile de cet amas pour disperser son disque.

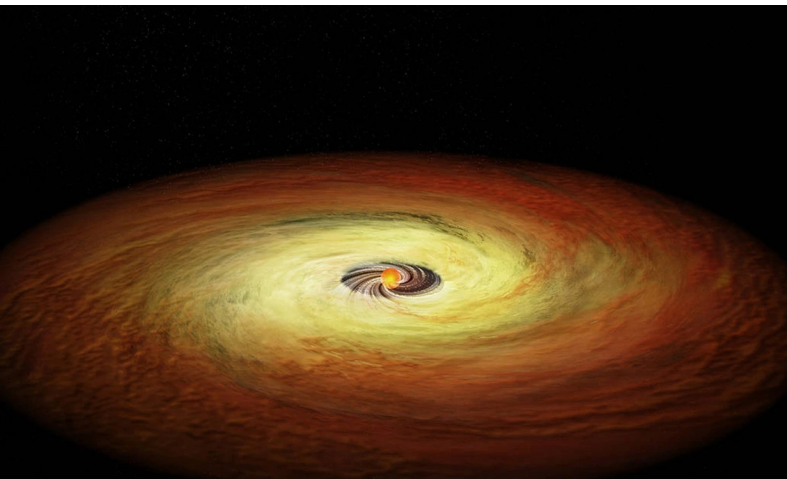
Une seconde possibilité est que, pour qu'une étoile semblable au Soleil se forme lorsqu'il y a peu d'éléments plus lourds, il faut qu'elle soit formée à partir d'un nuage de gaz plus grand, plus massif. Il faudrait donc plus de temps pour le faire disparaître.

Une autre équipe rapporte l'analyse chimique détaillée avec le JWST d'un disque protoplanétaire âgé de 30 millions d'années entourant cette fois une petite étoile, WISE J044634.16–262756.1B (J0446B). La composition du disque permet d'exclure la possibilité qu'il s'agisse d'un disque de débris, un type de disque plus durable constitué de matériaux de deuxième génération produits par des collisions de corps de type astéroïde.

La détection de gaz comme l'hydrogène et le néon indique qu'il reste encore du gaz primordial dans le disque autour de J0446B.

L'existence confirmée de vieux disques planétaires riches en gaz a des implications pour la vie en dehors du Système solaire. Les chercheurs s'intéressent particulièrement au système TRAPPIST-1, situé à 40 années-lumière de la Terre, composé d'une naine rouge et de sept planètes de taille semblable à la Terre. Trois de ces planètes sont situées dans la « zone habitable », où les conditions permettent à l'eau liquide d'exister et offrent le potentiel de formation de la vie, du moins en principe.

Les petites étoiles dotées de vieux disques planétaires appartiennent à une catégorie de masse semblable à celle de l'étoile centrale du système TRAPPIST-1. Pour obtenir la disposition spécifique de ces orbites, les planètes doivent migrer à l'intérieur du disque, un processus qui nécessite la présence de gaz. La longue présence de gaz que nous trouvons dans ces disques pourrait être la raison de la disposition unique de TRAPPIST-1. Ces vieux disques sont d'un grand intérêt car les étoiles de faible masse sont bien plus nombreuses que les étoiles semblables au Soleil.



*Vue d'artiste d'une étoile de faible masse entourée de son disque de gaz et de poussières formant des planètes. Les flux près du centre montrent comment la matière du disque continue de tomber sur l'étoile.
(NASA/CXC/
M. Weiss)*

Nova extragalactique

Basé sur un communiqué NOIRLab

Pour la première fois, une nova récurrente extragalactique a été observée en spectroscopie dans le proche infrarouge. Des émissions très inhabituelles ont été constatées, ainsi que l'une des températures les plus élevées jamais observées pour une nova, toutes deux indicatives d'une éruption extrêmement violente.

Le phénomène de nova se produit lorsqu'une naine blanche aspire suffisamment de matière d'une étoile compagne pour déclencher une explosion en surface. Au-delà d'une certaine limite c'est toute l'étoile qui explose et on assiste à l'apparition d'une supernova.

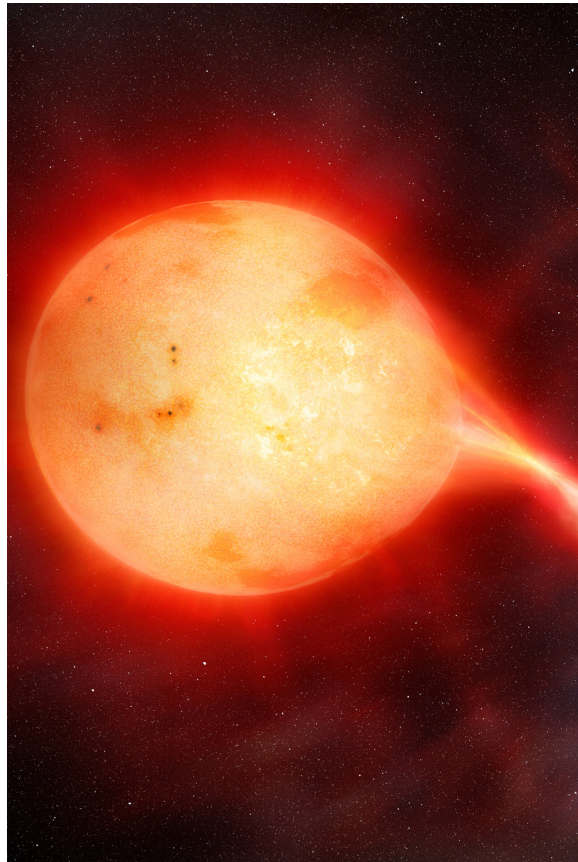
Presque toutes les novæ découvertes à ce jour n'ont été observées qu'une seule fois. Mais quelques-unes l'ont été plusieurs fois. Elles sont classées comme novæ récurrentes. L'intervalle entre les éruptions peut varier d'un an à plusieurs décennies. Avec une période de récurrence d'environ un an, M31N 2008-12a montre l'intervalle le plus court connu, tandis que le plus long, 98 ans, appartient à V2487 Ophiuchi.

Moins d'une douzaine de novæ récurrentes ont été observées dans la Voie lactée, tandis qu'un nombre bien plus important sont extragalactiques. L'étude des novæ extragalactiques permet aux astronomes de mieux comprendre comment différents environnements affectent ces éruptions.

La première nova extragalactique récurrente observée fut LMC 1968-12a (LMC68), située dans le Grand Nuage de Magellan. Cette nova a une durée de récurrence d'environ quatre ans, la troisième plus courte de toutes les novæ. Elle

se compose d'une naine blanche et d'une sous-géante rouge (une étoile beaucoup plus grosse que le Soleil). Elle a été découverte en 1968 et ses éruptions sont observées assez régulièrement depuis 1990. Son éruption la plus récente, en août 2024, a été capturée par l'observatoire spatial Neil Gehrels Swift, qui surveille de près la nova chaque mois depuis son éruption de 2020. Compte tenu de son échelle de temps récurrente connue, les astronomes anticipaient cette éruption et LMC68 a répondu exactement au signal.

Des observations de suivi ont été menées avec les télescopes Magellan et Gemini Sud. Il s'agissait des premières observations spectroscopiques dans le proche infrarouge



*Illustration d'une éruption de nova extragalactique. Une naine blanche siphonne continuellement le gaz de sa compagne.
(Observatoire international Gemini/NOIRLab/NSF/AURA/M. Garlick, M. Zamani)*

d'une nova récurrente extragalactique. Ces spectres ont permis d'étudier la phase ultra-chaude de la nova au cours de laquelle de nombreux éléments ont été fortement ionisés. Après l'éruption, LMC68 a rapidement faibli, mais Gemini Sud a pu identifier le signal d'atomes de silicium ionisés, en particulier d'atomes dépouillés de neuf de leurs 14 électrons, ce qui atteste de rayonnements très énergétiques ou de collisions violentes dans le gaz.

Dans un spectre obtenu précédemment avec Magellan, l'émission dans le proche infrarouge du silicium ionisé était à elle seule cent fois plus intense que la lumière émise par le Soleil sur toutes les longueurs d'onde, des

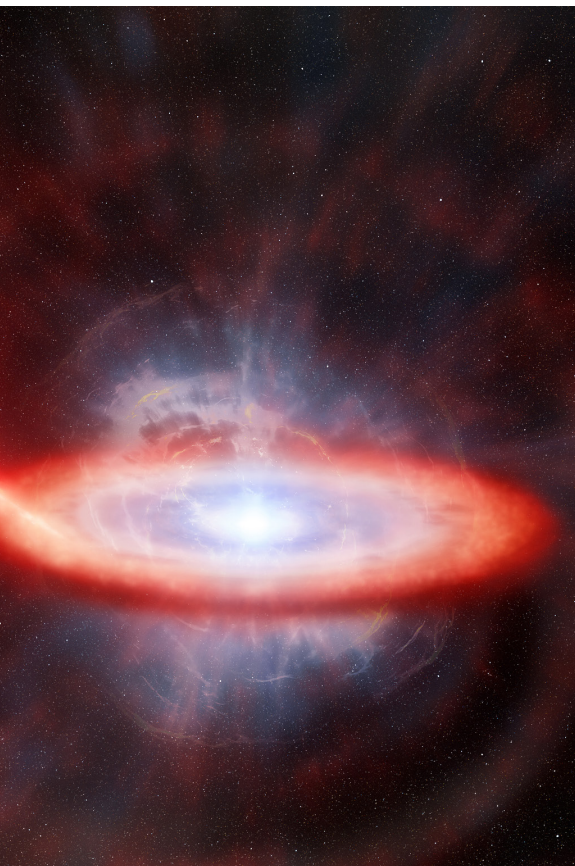
rayons X aux ondes radio. Lorsque Gemini a obtenu un spectre plusieurs jours plus tard, le signal s'était estompé, mais l'émission de silicium dominait toujours.

Les novæ galactiques montrent généralement dans le proche infrarouge le spectre d'éléments hautement excités, mais les spectres de LMC68 ne contenaient que le silicium ionisé alors que les astronomes s'attendaient à voir aussi le soufre, le phosphore, le calcium et l'aluminium fortement ionisés. Cela demandait une température inhabituellement élevée, ce que des modélisations ont confirmé.

Les chercheurs estiment que le gaz expulsé a atteint 3 millions de degrés, ce qui en fait l'une des novæ les plus chaudes jamais enregistrées. Cette température extrême suggère une éruption extrêmement violente, probablement due aux conditions environnementales de la nova.

Le Grand Nuage de Magellan montre une métallicité plus faible que celle de la Voie lactée, ce qui signifie qu'il contient moins d'éléments plus lourds que l'hydrogène et l'hélium. Dans les systèmes à haute métallicité, les éléments lourds retiennent la chaleur à la surface de la naine blanche, de sorte que les éruptions se produisent tôt dans le processus d'accrétion. Mais sans ces éléments lourds, davantage de matière s'accumule à la surface de la naine blanche avant qu'elle ne devienne suffisamment chaude pour s'enflammer, ce qui provoque une explosion beaucoup plus violente. De plus, le gaz expulsé entre en collision avec l'atmosphère de la sous-géante rouge qui l'accompagne, provoquant un choc violent qui élève les températures.

En élargissant les observations à d'autres galaxies avec les plus grands télescopes astronomiques disponibles, les astronomes devraient augmenter leur échantillon de novæ et mieux évaluer le comportement de ces objets dans différents environnements chimiques.



Jetstream sur WASP-127b

Basé sur un communiqué ESO

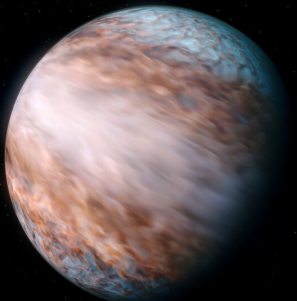
Depuis sa découverte en 2016, les astronomes étudient les conditions météorologiques de WASP-127b, une planète gazeuse géante située à plus de 500 années-lumière. Elle est plutôt enflée, légèrement plus grande que Jupiter, mais avec seulement une fraction de sa masse. Les astronomes viennent d'y mesurer des vents d'une violence inattendue. À 9 km par seconde (soit près de 33 000 km/h), ces vents se déplacent à une vitesse près de six fois supérieure à celle de la rotation de la planète – en supposant que celle-ci soit synchronisée avec le mouvement orbital. À titre de comparaison, le vent le plus rapide jamais mesuré dans le Système solaire a été trouvé sur Neptune, avec une vitesse de 0,5 km par seconde (1 800 km/h).

L'équipe a cartographié les conditions météorologiques et la composition de WASP-127b à l'aide du VLT de l'ESO. La composition de la haute atmosphère a pu être déterminée grâce au spectre de la lumière de l'étoile qui l'a traversée. La présence de vapeur d'eau et de monoxyde de carbone est confirmée. Plus étonnant, l'effet Doppler produit un double pic, indiquant que les deux côtés de l'atmosphère ont des vitesses très différentes. Un puissant courant-jet autour de l'équateur peut expliquer ce résultat inattendu.

L'équipe a constaté que les pôles sont plus froids que le reste de la planète. Il existe également une légère différence de température entre les côtés matin et soir de WASP-127b. La planète a des régimes climatiques complexes, tout comme la Terre et d'autres planètes de notre système.

Le domaine de la recherche sur les exoplanètes progresse rapidement. Il y a quelques années encore, les astronomes ne pouvaient mesurer que la masse et le rayon des planètes situées en dehors du Système solaire. Aujourd'hui, des télescopes comme le VLT de l'ESO permettent déjà de cartographier le climat de ces mondes lointains et d'analyser leur atmosphère. Comprendre la dynamique de ces exoplanètes nous permet d'explorer des mécanismes tels que la redistribution de la chaleur et les processus chimiques, ce qui améliore notre compréhension de la formation des planètes.

Il est intéressant de noter qu'à l'heure actuelle, les études de ce type ne peuvent être réalisées que par des observatoires terrestres, car les instruments équipant actuellement les télescopes spatiaux n'ont pas la précision nécessaire en matière de vitesse. L'Extremely Large Telescope de l'ESO – qui est en construction près du VLT au Chili – et son instrument ANDES permettront aux chercheurs d'étudier encore plus en profondeur les conditions météorologiques des planètes lointaines.



Vue d'artiste de WASP-127b, une planète gazeuse montrant un courant-jet supersonique circulant autour de l'équateur à la vitesse de 9 km par seconde. (ESO/L. Calçada)

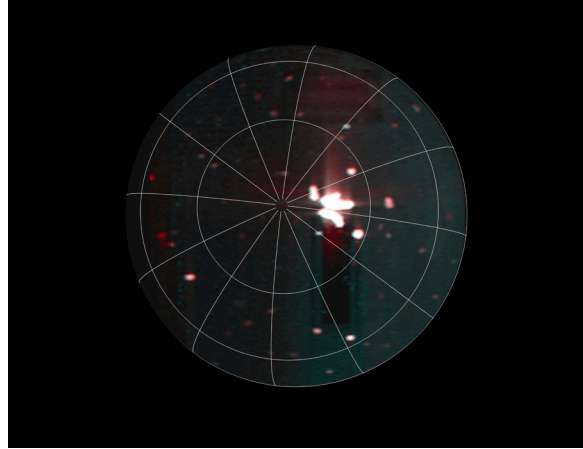
Io

Basé sur un communiqué NASA/JPL

La sonde Juno, en orbite autour de Jupiter, a révélé un point chaud volcanique dans l'hémisphère sud de la lune Io, un des quatre satellites galiléens de la planète. Ce point chaud est non seulement d'une taille exceptionnelle, mais il est le siège d'éruptions dont l'énergie totale est six fois supérieure à celle combinée de toutes les centrales électriques du monde. La découverte de cette énorme structure est le fruit de l'instrument Jovian Infrared Auroral Mapper (JIRAM) de Juno.

Juno a survolé Io à deux reprises de très près au cours de sa longue mission. Ces survols, et particulièrement le second, ont fourni des données sur la lune tourmentée qui ont dépassé les attentes des scientifiques. Juno a ainsi détecté l'événement volcanique le plus puissant jamais enregistré sur le monde le plus volcanique du Système solaire.

De la taille de notre lune, Io est extrêmement proche de la géante gazeuse et son orbite elliptique lui permet de tourner autour de Jupiter en 42,5 heures. La distance varie, tout comme l'attraction gravitationnelle de la planète, ce qui fait que la lune est sans cesse malaxée par les effets de marée. La chaleur dégagée par friction fait fondre des parties de l'intérieur d'Io, provoquant le dégagement ininterrompu de panaches de lave et de cendres depuis les quelque 400 volcans qui criblent sa surface.

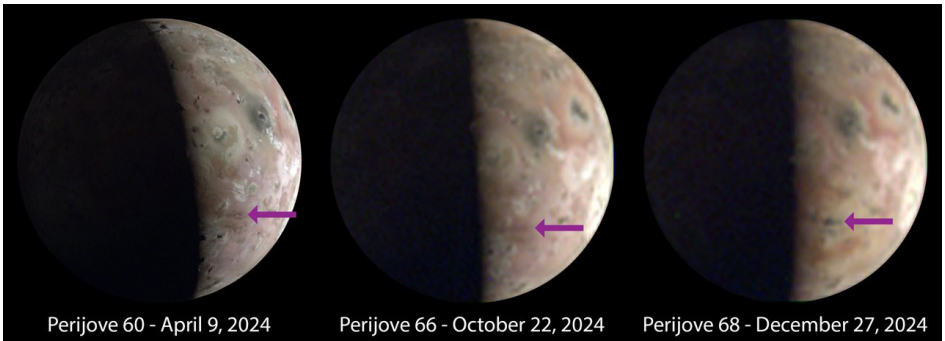


Un point chaud massif, plus grand que le lac Supérieur, peut être vu juste à droite du pôle sud d'Io sur cette image prise par l'imagerie infrarouge JIRAM à bord de Juno le 27 décembre 2024.

(NASA/JPL-Caltech/SwRI/ASI/INAF/JIRAM)

Les images d'Io prises en 2024 par la caméra JunoCam à bord de la sonde Juno montrent des changements de surface importants près du pôle sud de la lune jovienne. Ces changements se sont produits entre le 66^e et le 68^e périjove (moment de l'orbite de Juno où elle est la plus proche de Jupiter).

(NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS, J. Perry)



Perijove 60 - April 9, 2024

Perijove 66 - October 22, 2024

Perijove 68 - December 27, 2024