



Astronomie dans le monde

Planètes errantes

Basé sur un communiqué UZH

Les objets de masse planétaire (PMO) sont des nomades cosmiques dérivant librement dans l'espace, sans être liés à aucune étoile, et pesant moins de 13 fois la masse de Jupiter. Repérés en abondance dans de jeunes amas tels que celui du Trapèze d'Orion, leur origine a intrigué les scientifiques. Les théories traditionnelles ont suggéré qu'il pourrait s'agir d'étoiles ratées ou de planètes éjectées de leur système natal.

Des simulations hydrodynamiques démontrent que ces objets énigmatiques ne se forment pas de la même façon que les planètes et les étoiles, mais peuvent naître directement d'interactions violentes entre disques circumstellaires.

Ces simulations 3D à haute résolution ont recréé des rencontres entre deux disques circumstellaires – des anneaux de gaz et de poussière en rotation qui entourent de

Vue d'artiste d'une planète errant dans la région de Rho Ophiuchi – région où l'on a découvert en grand nombre de tels objets. (ESO/M. Kornmesser/S. Guisard)

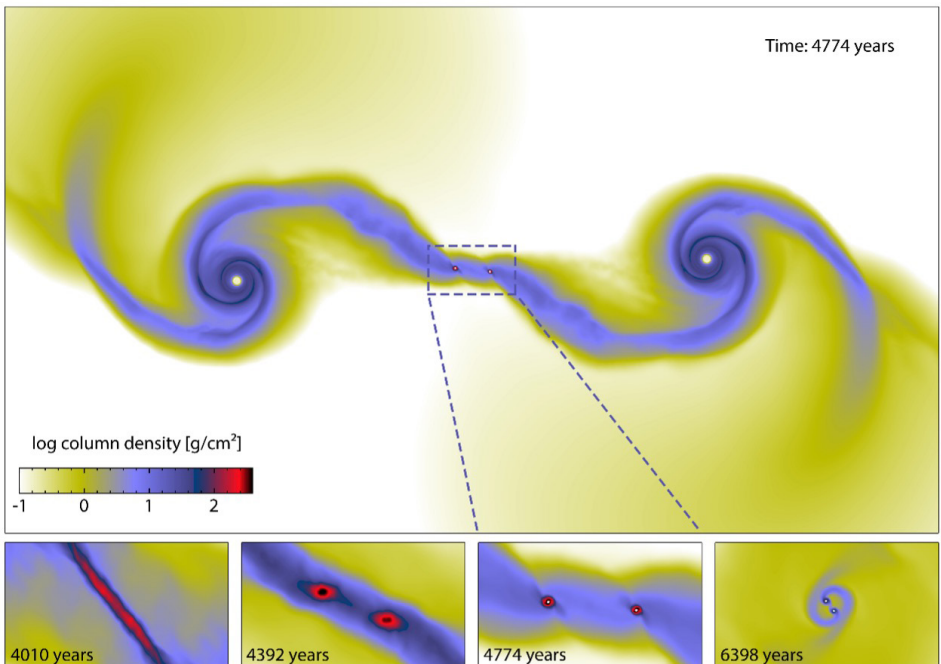
jeunes étoiles. Lorsque ces disques se frôlent, leurs interactions gravitationnelles étirent et compriment le gaz en « ponts de marée » qui s'effondrent en filaments denses puis se fragmentent en noyaux compacts. Lorsque la masse des filaments dépasse un seuil critique de stabilité, ils produisent des PMO d'une dizaine de fois la masse de Jupiter. Jusqu'à 14 % des PMO se forment par paires ou par triples, ce qui explique le taux élevé de binaires PMO dans certains amas. Des rencontres fréquentes de disques dans des environnements denses comme le Trapèze pourraient générer des centaines de PMO.

Les PMO se forment en même temps que les étoiles à partir de la matière périphérique des disques circumstellaires. Ils se déplacent en synchronisation avec les étoiles

*Image de la nébuleuse d'Orion et de l'amas du Trapèze prise par le télescope spatial James Webb. Cette région de formation stellaire vieille d'un million d'années contient des milliers de nouvelles étoiles et des centaines d'objets de masse planétaire flottant librement dans la nébuleuse.
(NASA, ESA, CSA/M. McCaughrean, S. Pearson)*



*Formation de PMO binaires via des rencontres entre disques circumstellaires. Le panneau supérieur montre la carte de densité obtenue dans une simulation. Les panneaux inférieurs agrandissent une région pour montrer l'évolution des PMO binaires (particules blanches) et comment ils émergent au sein du filament dense créé par l'interaction.
(UZH)*



de leur amas hôte, contrairement aux planètes éjectées. De nombreux PMO conservent des disques de gaz, ce qui suggère qu'il pourrait y avoir formation de lunes ou même de planètes autour de ces nomades.

Cette découverte modifie en partie notre perception de la diversité cosmique. Les PMO pourraient représenter une troisième classe d'objets, nés non pas de la matière première

des nuages de formation d'étoiles ou de processus de formation de planètes, mais plutôt du chaos gravitationnel des collisions entre disques.

Candidates planètes errantes dans la direction des constellations du Haut Scorpion et du Serpenteire.
(ESO/N. Risinger)



Naines brunes dans NGC 2024

Basé sur un communiqué NASA

La nébuleuse de la Flamme (NGC 2024), située à 1 400 années-lumière de la Terre, est un foyer de formation d'étoiles vieux de moins d'un million d'années. À l'intérieur se trouvent des naines brunes, des objets trop petits pour que leur noyau puisse fusionner l'hydrogène comme des étoiles à part entière. Ces « étoiles ratées » se refroidissent progressivement pour devenir très sombres. Ces facteurs rendent difficile, voire impossible, l'observation des naines brunes, même proches, à moins qu'elles ne soient très jeunes. Elles sont alors relativement chaudes et brillantes et donc plus faciles à observer malgré la poussière et le gaz de la nébuleuse.

Travaillant dans l'infrarouge, le télescope spatial James Webb peut percer l'écran de poussières et voir la faible lueur des jeunes naines brunes. Les astronomes ont tiré profit

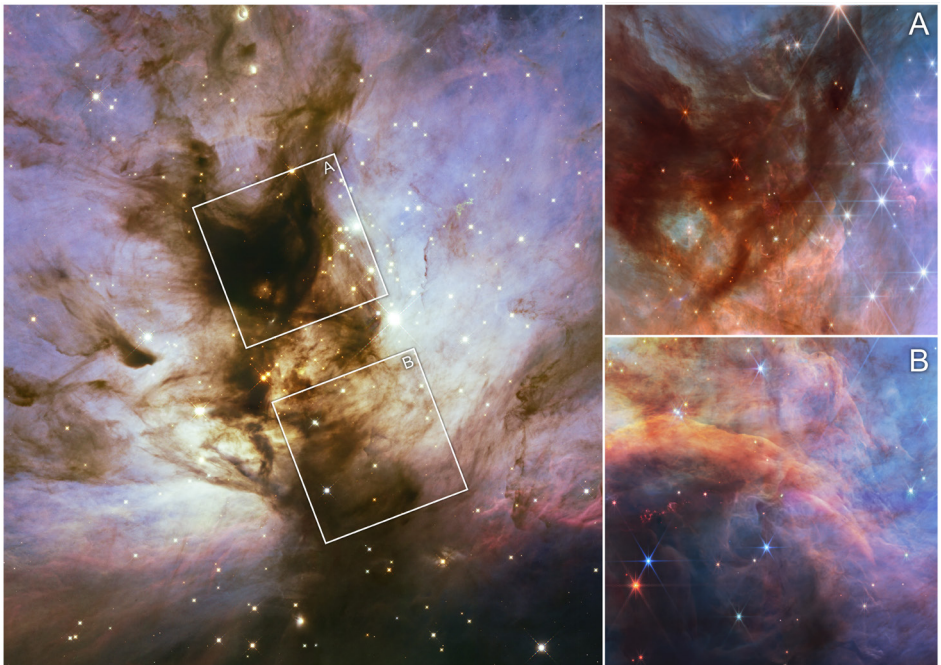
de cette capacité pour estimer leur masse minimale. Ils n'ont pas observé d'objets moins massifs que deux ou trois fois Jupiter, alors que l'instrumentation aurait permis de descendre à 0,5 fois la masse de Jupiter.

La limite inférieure des masses est déterminée par le processus de fragmentation des grands nuages moléculaires d'où naissent les étoiles et les naines brunes.

La nébuleuse de la Flamme vue dans le proche infrarouge avec le télescope spatial Hubble à gauche, et avec le JWST dans les deux encarts de droite. En éliminant une grande partie des nuages, le JWST montre les étoiles jeunes et les naines brunes.

L'image de Hubble est prise aux longueurs d'onde de 1,05 micron (bleu), 1,3 micron (vert) et 1,39 micron (rouge). Les deux images Webb sont aux longueurs d'onde de 1,15 micron et 1,4 micron (bleu), 1,82 micron (vert), 3,6 microns (orange) et 4,3 microns (rouge).

(NASA, ESA, CSA, M. Meyer/University of Michigan), A. Pagan /STScI)



La fragmentation dépend fortement de plusieurs facteurs, l'équilibre entre la température, la pression thermique et la gravité étant l'un des plus importants. Plus précisément, lorsque les fragments se contractent sous l'effet de la gravité, leur noyau se réchauffe. Si un noyau est suffisamment massif, il commence à fusionner de l'hydrogène. La pression ainsi créée contrebalance la gravité, ce qui arrête l'effondrement et stabilise l'étoile naissante. Les fragments dont le noyau n'est pas suffisamment compact et chaud pour brûler de l'hydrogène continuent de se contracter tant qu'ils rayonnent leur chaleur interne. Si les nuages se refroidissent efficacement, la pression n'est pas suffisante pour les empêcher de s'effondrer et de se fragmenter.

La fragmentation s'arrête lorsqu'un fragment devient suffisamment opaque pour absorber son propre rayonnement, ce qui arrête

le refroidissement et empêche un nouvel effondrement. Les théories plaçaient la limite inférieure de ces fragments entre une et dix masses de Jupiter. Cette fourchette est maintenant considérablement réduite.

De nombreuses études avaient montré que l'on trouve de plus en plus d'objets lorsque l'on descend jusqu'à environ dix fois la masse de Jupiter. La nouvelle étude réalisée avec le télescope spatial James Webb, montre qu'à partir de cette valeur, on en trouve de moins en moins jusqu'à un minimum de deux ou trois masses de Jupiter.

Si cette limite se confirme, il ne devrait pas y avoir d'objets de la masse de Jupiter flottant librement dans notre galaxie, à moins qu'ils ne se soient formés en tant que planètes avant d'être éjectés d'un système planétaire.

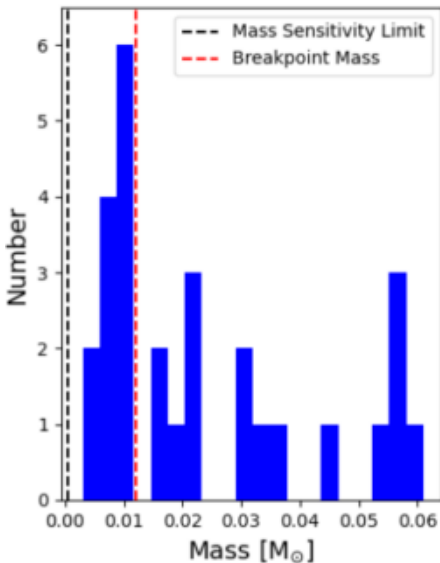
*La nébuleuse de la Flamme près de la célèbre Tête de Cheval.
(Stephanh, CC BY-SA 4.0)*





▲ Image Webb dans le proche infrarouge d'une partie de la nébuleuse de la Flamme, mettant en évidence trois objets de faible masse, visibles dans les encarts de droite. Ces objets ont été étudiés dans le cadre d'un effort visant à explorer la limite inférieure de la masse des naines brunes dans la nébuleuse de la Flamme.

Les images Webb combinent la lumière aux longueurs d'onde de 1,15 micron et 1,4 micron (bleu), 1,82 micron (vert), 3,6 microns (orange) et 4,3 microns (rouge). (NASA, ESA, CSA, STScI, M. Meyer/ University of Michigan)



◀ Histogramme des masses des 28 objets de l'amas NGC 2024 utilisés dans cette étude. La ligne verticale en pointillés rouges indique la masse du point de rupture, c'est-à-dire là où la fonction de masse initiale s'inverse. (Adapté de De Furio et al. 2025)

TOI-1453

Basé sur un communiqué Université de Liège

Les astronomes liégeois ont découvert deux petites planètes en orbite autour de TOI-1453. Située à environ 250 années-lumière de la Terre dans la constellation du Dragon, cette étoile fait partie d'un système binaire et est légèrement plus froide et plus petite que le Soleil. Autour d'elle gravitent deux planètes, une super-Terre et une sous-Neptune. Il n'y a pas de planètes de ce type dans le Système solaire alors qu'elles sont les plus courantes dans la Voie lactée. Cette découverte met en lumière une configuration planétaire qui pourrait fournir de précieux indices sur la formation et l'évolution des planètes.

En utilisant les données de TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) de la NASA et le spectrographe à haute résolu-

Les exoplanètes dont la masse et le rayon ont été mesurés apparaissent en gris sur ce graphique. TOI-1453 c est l'une des exoplanètes les moins denses parmi celles dont la masse est comprise entre 2 et 4 masses terrestres. Dans cette gamme de masse, les planètes sont généralement plus petites et ressemblent à des super-Terres, tandis que les sous-Neptunes sont rares. Les courbes affichées représentent des modèles théoriques de composition : les lignes pleines indiquent des modèles sans atmosphère, tandis que les lignes pointillées correspondent à des planètes rocheuses semblables à la Terre, entourées d'une atmosphère d'hydrogène et d'hélium avec différentes fractions de masse. TOI-1453 c se trouve dans une zone du diagramme masse-rayon compatible avec une atmosphère épaisse ou une fine enveloppe gazeuse recouvrant une planète à forte teneur en eau. (Lopez 2014)

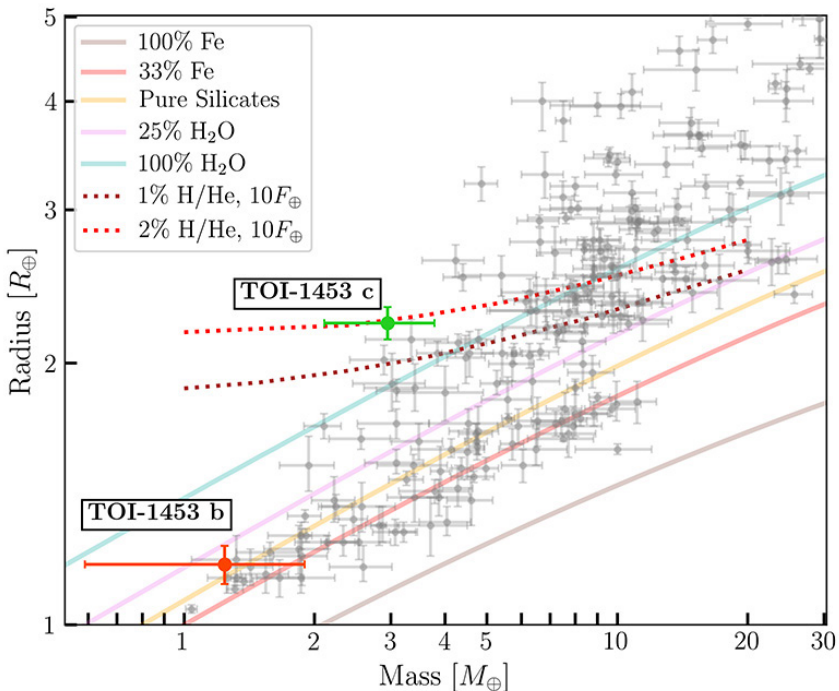


Illustration de TESS, le « Transiting Exoplanet Survey Satellite ». (NASA)



tion HARPS-N du TNG, les chercheurs ont pu identifier TOI-1453 b et TOI-1453 c, les deux planètes en orbite autour de TOI-1453. Celles-ci présentent un contraste intéressant dans leurs caractéristiques. TOI-1453 b est une super-Terre légèrement plus grande que notre planète et probablement rocheuse. Elle est très proche de l'étoile et parcourt son orbite en seulement 4,3 jours. En revanche, TOI-1453 c est une sous-Neptune, environ 2,2 fois plus grosse que la Terre, mais avec une masse de seulement 2,9 masses terrestres. Cela en fait l'une des sous-Neptune les moins denses connues, ce qui soulève des questions sur sa composition.

La détection des exoplanètes reste une tâche complexe. L'équipe s'est appuyée sur deux méthodes clés pour confirmer ses découvertes. La méthode du transit (données TESS) mesure la taille et la période orbitale lorsque la planète passe devant son étoile hôte, ce qui provoque une légère baisse de luminosité. La seconde méthode utilisée est la mesure de la vitesse radiale (données HARPS-N), qui consiste à observer les variations de la vitesse d'une étoile sous l'effet de la gravité d'une planète en orbite autour d'elle. En étudiant l'influence gravitationnelle exercée par les planètes sur leur étoile hôte, les chercheurs ont pu mesurer leur masse et leur densité.

Toutes ces observations ont révélé que TOI-1453 c est extrêmement légère pour sa taille, ce qui suggère qu'elle pourrait avoir une atmosphère épaisse riche en hydrogène ou une composition dominée par l'eau. Elle est ainsi une candidate idéale pour des études atmosphériques. La compréhension de la formation et de l'évolution de ces planètes pourrait fournir des indices sur le développement des systèmes planétaires, y compris le nôtre.

Les deux planètes orbitent dans une configuration proche d'une résonance 3 : 2, ce qui signifie que, pour trois orbites de la planète intérieure, la planète extérieure en accomplit presque exactement deux. De telles résonances sont considérées comme une conséquence naturelle de la migration orbitale, offrant des indices sur la manière dont les planètes se déplacent et s'installent sur leurs orbites finales.

Cette découverte ouvre de nouvelles perspectives de recherche. Des instruments d'observation tels que le télescope spatial James Webb (JWST) pourraient analyser l'atmosphère de TOI-1453 c afin de déterminer sa composition principale. Si cette planète possède une atmosphère substantielle riche en hydrogène ou un intérieur dominé par l'eau, elle pourrait redéfinir notre compréhension des sous-Neptunes et de leur formation.

Images d'exoplanètes

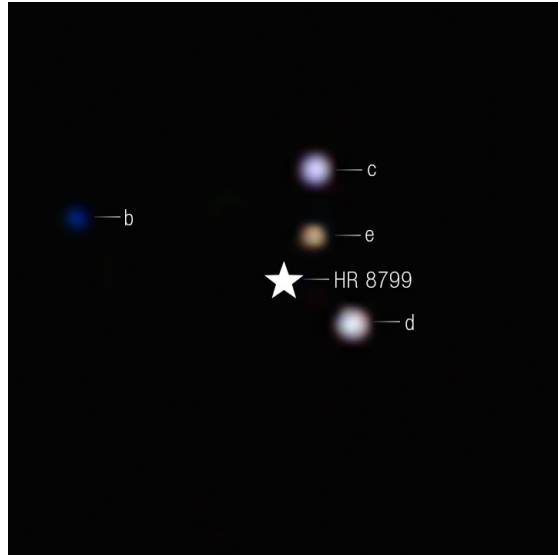
Basé sur un communiqué Webb

Sur près de 6 000 exoplanètes découvertes, peu ont été photographiées directement, car même les planètes géantes sont des milliers de fois plus faibles que leur étoile. Une façon directe de réduire l'éblouissement dû à l'étoile est d'utiliser le coronographe dont le JWST est équipé. Il s'agit d'un minuscule masque qui bloque la lumière de l'étoile.

Le télescope spatial James Webb de la NASA a ainsi pu capturer des images directes de plusieurs planètes géantes gazeuses autour des étoiles HR 8799 et 51 Eridani. Les nouvelles images de ces deux systèmes emblématiques ont stupéfié les chercheurs et ont fourni des informations supplémentaires sur la composition chimique des jeunes géantes gazeuses.

Le jeune système planétaire HR 8799, situé à 130 années-lumière, est depuis longtemps une cible privilégiée pour les recherches sur la formation des planètes. Les observations indiquent que les quatre planètes géantes sont riches en dioxyde de carbone. Cela prouve qu'une fraction importante des éléments plus lourds, comme le carbone, l'oxygène et le fer, se trouvent dans leur atmosphère et que les planètes se sont formées, à l'instar de Jupiter et de Saturne, par la formation progressive de noyaux solides qui accrètent le gaz d'un disque protoplanétaire.

Les planètes géantes peuvent se former de deux manières : par l'élaboration progressive d'un noyau solide composé d'éléments plus lourds qui attirent le gaz, comme les géantes du Système solaire, ou lorsque des particules de gaz coalescent rapidement pour former des objets massifs à partir du disque entourant une jeune étoile, constitué principalement du même type de matériau que l'étoile. Le premier processus est appelé accrétion de noyau, et le second instabilité du disque. Connaître le modèle de formation le plus courant peut donner aux scientifiques des indices pour distinguer les types de planètes qu'ils trouvent dans d'autres systèmes.



Le télescope spatial James Webb de la NASA a fourni l'observation la plus nette à ce jour du système multiplanétaire emblématique HR 8799. Du dioxyde de carbone a été trouvé dans chacune des planètes géantes du système se sont formées comme Jupiter et Saturne.

Les couleurs de l'image, qui représentent les différentes longueurs d'onde capturées par la NIRCam de Webb, renseignent les chercheurs sur la température et la composition des planètes. HR 8799 b, qui gravite à environ 10,1 milliards de kilomètres de l'étoile, est la plus froide du groupe et la plus riche en dioxyde de carbone. HR 8799 e orbite à 2,4 milliards de kilomètres de son étoile et s'est probablement formée plus près de celle-ci, où les variations de composition de la matière étaient plus importantes.

La couleur bleue correspond à la lumière de 4,1 microns, la verte à la lumière de 4,3 microns et la rouge à la lumière de 4,6 microns.

(NASA, ESA, CSA, STScI, L. Pueyo/STScI, W. Balmer/JHU, M. Perrin/STScI)

Un système planétaire découvert autour de l'étoile de Barnard

Basé sur un communiqué NOIRLab

L'étoile de Barnard a été découverte par l'astronome éponyme à l'observatoire Yerkes en 1916. Seul le système triple d'Alpha Centaure est plus proche de la Terre. On a souvent soupçonné, à tort, l'étoile de Barnard d'avoir une ou deux planètes géantes. L'étoile de Barnard est une naine rouge et l'on sait que ces étoiles de faible masse, extrêmement nombreuses, abritent souvent des systèmes planétaires mais, généralement, ils sont composés de planètes rocheuses.

L'analyse minutieuse des données recueillies au télescope Gemini North sur une période de trois ans a conduit à la découverte de trois planètes autour de l'étoile de Barnard, dont deux étaient déjà considérées comme candidates. En combinant ces données avec celles d'une étude réalisée en 2024 avec le VLT de l'ESO, une quatrième planète a pu être confirmée.

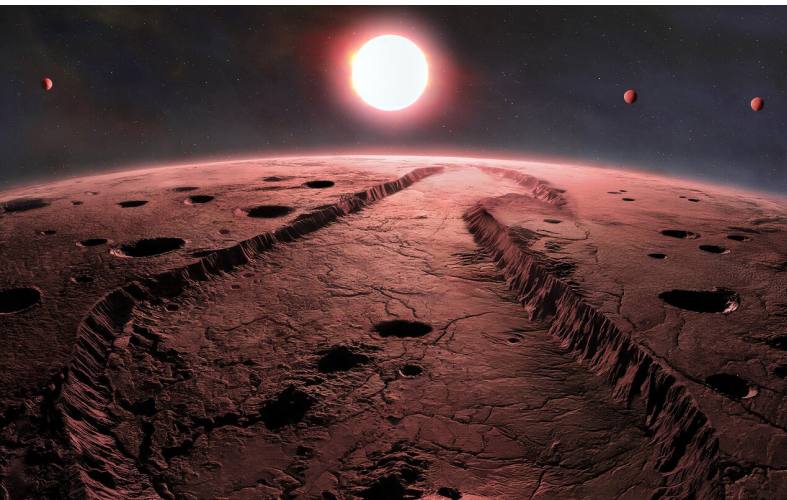
Les quatre planètes sont très probablement telluriques et non gazeuses comme Jupiter. Cependant, il sera difficile de l'affirmer car, en raison de l'angle sous

lequel nous les observons, elles ne transitent pas devant leur étoile, ce qui est la méthode habituelle pour déterminer la composition d'une planète.

Les astronomes pensent pouvoir exclure l'existence d'autres planètes avec des masses comparables à la Terre dans la zone habitable de l'étoile – la région qui est juste idéale pour permettre la présence d'eau liquide à la surface d'une planète.

Les quatre planètes, chacune représentant seulement 20 à 30 % de la masse de la Terre, sont si proches de leur étoile qu'elles en font le tour complet en quelques jours. La quatrième planète est la moins massive découverte à ce jour par la technique des vitesses radiales. L'équipe espère que cela ouvrira une nouvelle ère de découverte de planètes subterrestres dans l'Univers.

La plupart des planètes rocheuses découvertes jusqu'à présent sont bien plus grandes que la Terre et semblent assez similaires dans toute la Voie lactée. Cependant, il y a des raisons de penser que les planètes plus petites présentent des compositions variées. À mesure que les scientifiques en découvrent davantage, ils peuvent commencer à recueillir plus d'informations sur la formation de ces planètes et sur les facteurs qui les rendent susceptibles d'être habitables.



Vue d'artiste des exoplanètes en orbite autour de l'étoile de Barnard. (International Gemini Observatory/NOIRLab/NSF/AURA/P. Marenfeld)

Ceintures cométaires

Basé sur un communiqué Cfa

Les astronomes ont pu photographier 74 ceintures entourant des étoiles proches et dans lesquelles gravitent des comètes et de minuscules cailloux. Ces étoiles couvrent une large gamme d'âges – de celles récemment formées à d'autres vieilles de plusieurs milliards d'années – de sorte que l'on peut constater le rôle que jouent les comètes dans la formation des étoiles et des systèmes planétaires.

Pour trouver des preuves de l'existence d'« exocomètes », les astronomes se sont tournés vers ALMA et SMA. En raison de la taille de la poussière et des roches de ces ceintures, le domaine submillimétrique est particulièrement efficace pour détecter ces structures.

SMA (Submillimeter Array) est un réseau de huit radiotélescopes situé près du sommet du Maunakea à Hawaïi, et ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), un réseau de 66 radiotélescopes dans le désert d'Atacama, au nord du Chili.

L'étude REASONS (REsolved ALMA and SMA Observations of Nearby Stars) marque une étape importante dans l'étude des ceintures exocométaires car ses images et analyses révèlent où se trouvent les cailloux, et donc les exocomètes – généralement à des dizaines ou des centaines d'unités astronomiques de l'étoile.

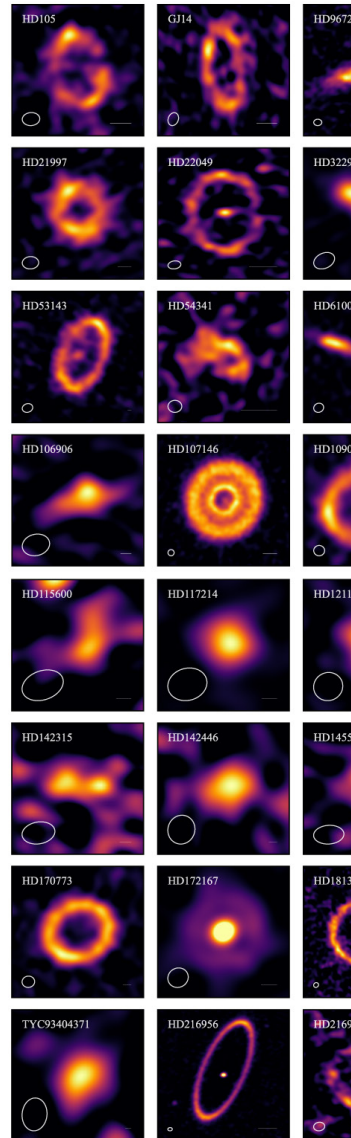
Dans ces régions, il fait si froid (-250 à -150 degrés Celsius) que la plupart des composés, dont l'eau, sont sous forme de glace. Ce que les astrophysiciens observent donc, c'est où se trouvent les réservoirs de glace des systèmes planétaires. REASONS est le premier programme à dévoiler la structure de ces ceintures pour un échantillon de 74 systèmes exoplanétaires.

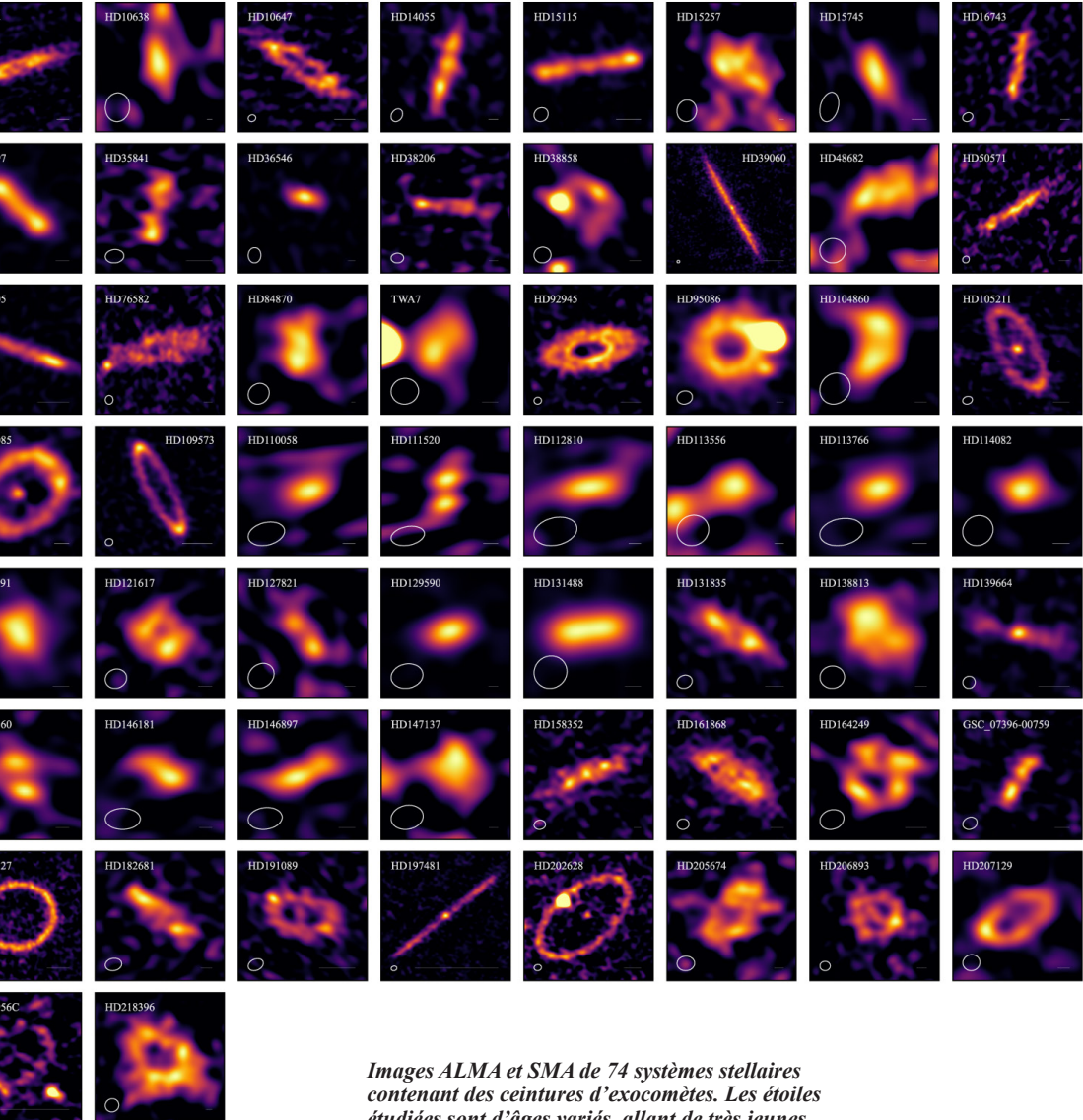
Les exocomètes sont des blocs de roche et de glace d'au moins un kilomètre de diamètre qui s'entrechoquent dans ces ceintures pour produire les cailloux que nous observons avec ALMA et SMA. Les ceintures exocométaires se trouvent dans au moins 20 % des systèmes planétaires, dont le Système solaire.

La ceinture de Kuiper est un exemple de ces structures. Située bien au-delà de l'orbite de Pluton, certains scientifiques pensent que la ceinture de Kuiper est la source de l'eau du Système solaire interne, fournie par les comètes il y a des milliards d'années.

La nouvelle galerie de photos montre une remarquable diversité dans les ceintures. Certaines sont des anneaux étroits, tandis que d'autres sont plus larges et pourraient être classées davantage comme disques que comme ceintures.

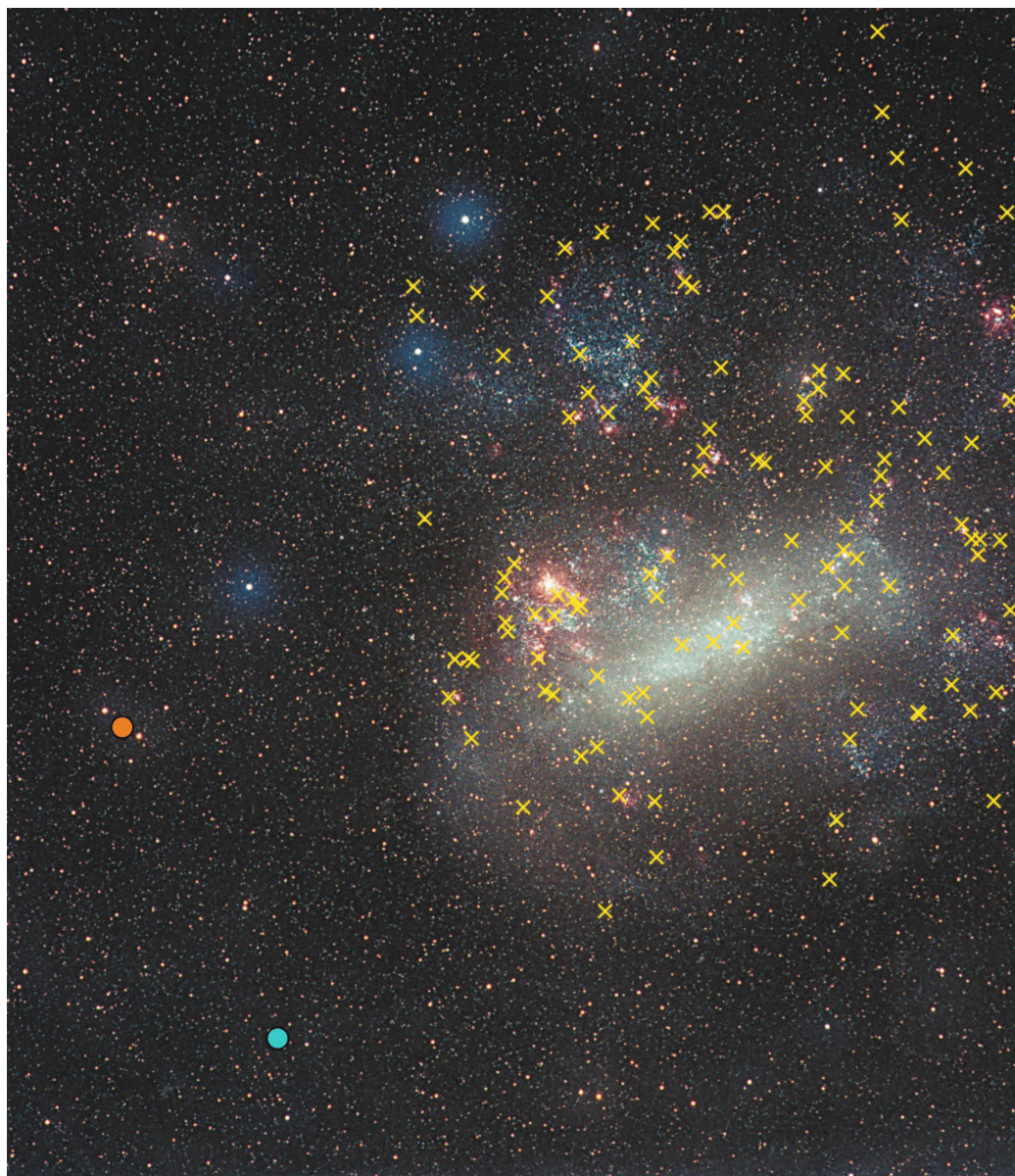
Certains des 74 systèmes d'exocomètes possèdent plusieurs anneaux ou disques et certains d'entre eux sont excentriques. Cela prouve que des planètes ou peut-être des lunes encore indétectables, sont présentes et que leur gravité affecte la distribution des cailloux dans ces systèmes.





Images ALMA et SMA de 74 systèmes stellaires contenant des ceintures d'exocètes. Les étoiles étudiées sont d'âges variés, allant de très jeunes jusqu'à l'âge du Soleil. Cette nouvelle étude montre comment les comètes jouent un rôle dans la formation des étoiles et des systèmes planétaires. (L. Matra)

Les deux objets observés par XMM-Newton sont localisés par les deux cercles en bas à gauche de cette image en lumière visible du Grand Nuage de Magellan. J0624-6948 est représenté en orange et J0614-7251 en bleu. Les croix jaunes représentent les restes de supernovæ qui étaient déjà connus. (E. Slawik, ESA/XMM-Newton/M. Sasaki et al (2025); F. Zangrandi)



Deux anciennes supernovæ dans le Grand Nuage de Magellan

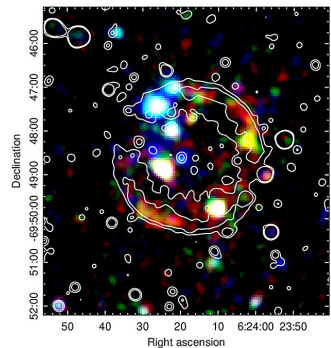
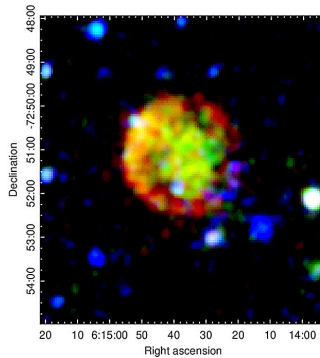
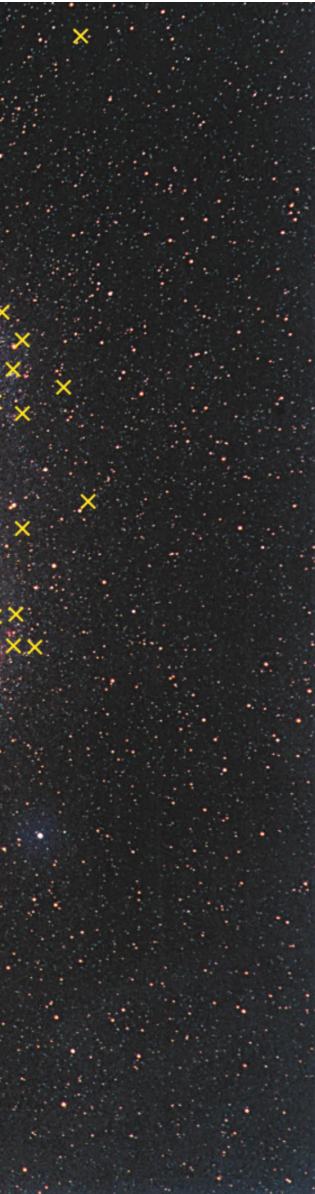
Basé sur un communiqué ESA

Le télescope XMM-Newton a pu identifier deux sources lumineuses à la périphérie du Grand Nuage de Magellan comme étant des restes de supernovæ. La découverte est surprenante car, pour que le choc d'une supernova laisse une telle empreinte sur son environnement, l'étoile mourante doit se trouver dans un environnement suffisamment dense – ce que l'on n'attend pas généralement aux confins d'une galaxie.

C'est l'une des nouvelles découvertes de XMM-Newton : l'environnement autour du Grand Nuage de Magellan est constitué de gaz plus chargé électriquement que prévu. La raison en est probablement la manière dont la galaxie interagit avec la Voie lactée et le Petit Nuage de Magellan. Ainsi, ces deux restes de supernovæ nous aident à mieux comprendre la dynamique du voisinage de notre galaxie.

XMM-Newton a observé les deux restes dans trois domaines de rayons X. Cela a donné lieu aux trois couleurs dans les images ci-dessous. Elles donnent une indication des éléments chimiques les plus courants dans différentes parties des nébuleuses.

La couleur jaune qui domine par exemple le centre de J0614-7251 nous indique que cette région est composée en majorité de fer. Cet indice a permis aux scientifiques de classer pour la première fois ce reste comme le résultat d'une supernova de type Ia. Cela a été possible parce que la nouvelle image de XMM-Newton montre suffisamment de détails pour distinguer clairement le cercle intérieur et l'anneau extérieur du reste.



Images en fausses couleurs des restes de supernovæ découverts par XMM-Newton, SNR J0614-7251 et SNR J0624-6948. Le rouge est attribué à la bande d'énergie 0,3–0,7 keV, le vert à 0,7–1,1 keV et le bleu à 1,1–5,0 keV. (M. Sasaki et al 2025; DOI : 10.1051/0004-6361/202452178)

Supernovæ Ia

Basé sur des communiqués Trinity College Dublin et Lancaster University

Les supernovæ de type Ia – des explosions de naines blanches – jouent depuis des décennies un rôle essentiel dans l'étude de l'énergie noire, la mystérieuse force responsable de l'accélération de l'expansion de l'Univers. Elles sont à l'origine de nombreux éléments du tableau périodique, tels que le titane, le fer et le nickel, qui se forment dans des conditions extrêmement denses et chaudes.

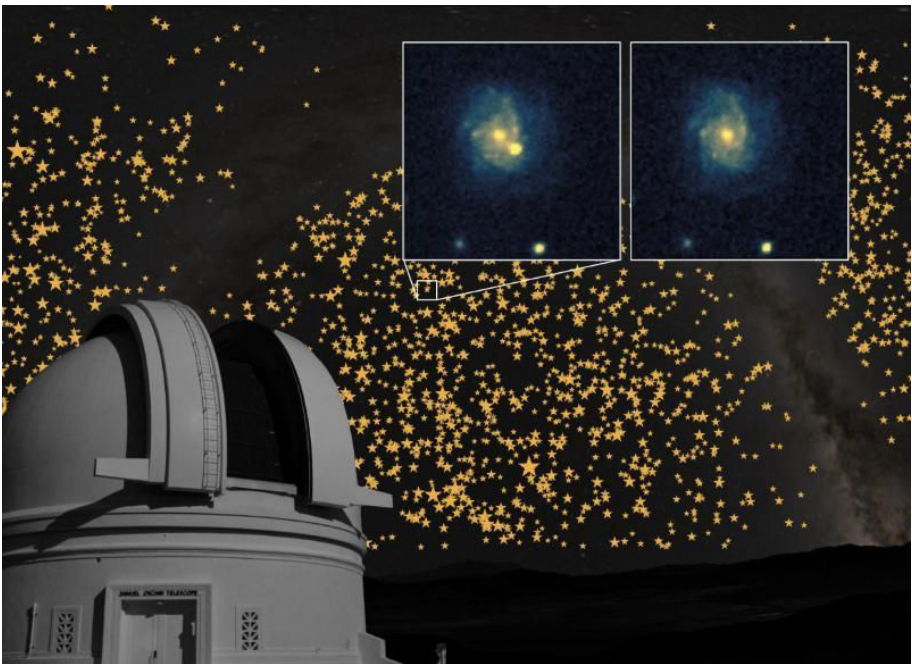
Une étape importante a été franchie dans notre compréhension de ces phénomènes transitoires avec la publication d'un ensemble de données unique sur près de 4000 supernovæ proches.

L'échantillon a été obtenu dans le cadre du projet ZTF (Zwicky Transient Facility), avec le télescope Schmidt de 48 pouces du Mont Palomar dont la caméra permet de détecter des objets très faibles dans de grands champs.

L'un des résultats clés est la découverte de multiples façons par lesquelles les naines blanches peuvent exploser, notamment lors de collisions entre deux étoiles dans des spectacles stellaires lumineux, ainsi que lors du cannibalisme des étoiles par leurs compagnons dans des systèmes d'étoiles doubles.

Cette surprenante diversité pourrait avoir des implications pour l'utilisation de ces supernovæ pour mesurer les distances dans l'Univers, car les contraintes sur les propriétés de l'énergie noire exigent de manière cruciale que ces explosions puissent être standardisées.

Le télescope de Schmidt (« Samuel Oschin ») de 48 pouces de l'observatoire du Mont Palomar en Californie, avec une image de la Voie lactée en arrière-plan. Chaque étoile jaune représente une supernova et sa taille correspond à sa proximité. (M. Rigault, Palomar Observatory/ Caltech)



Hypergéantes jaunes

Basé sur un communiqué ORB

Les hypergéantes sont parmi les étoiles les plus massives et les plus lumineuses de notre galaxie. Leurs explosions récurrentes et spectaculaires intriguent les astronomes depuis des décennies. Parmi elles figurent Rho Cassiopeiae, HR 8752 et HR 5171A qui, dans les derniers stades de leur évolution, offrent un aperçu unique du cycle de vie des étoiles très massives, aussi chaudes que le Soleil à la surface, mais jusqu'à un demi-million de fois plus lumineuses. L'étude des hypergéantes nous renseigne en particulier sur la phase qui précède leur transformation en supernovæ à effondrement de cœur ou en une autre classe d'hypergéantes plus chaudes, les « variables lumineuses bleues ». Cette transition se produit lorsque les hypergéantes jaunes évoluent rapidement à travers ce que l'on appelle le vide évolutif jaune dans la partie supérieure du diagramme de Hertzsprung-Russell.

La compréhension des éruptions et des pulsations récurrentes des hypergéantes jaunes aide les astronomes à affiner les modèles théoriques des stades avancés de l'évolution stellaire et à améliorer la compréhension des phénomènes d'éruptions stellaires cycliques.

La nouvelle étude, menée au cours des cinq dernières années, intègre des données fournies par des astronomes amateurs du monde entier. L'équipe s'est concentrée sur Rho Cas, l'une des hypergéantes les plus étudiées à l'œil nu, en analysant la variabilité à long terme de la luminosité entre 1885 et 2023. Ce vaste ensemble de données a permis d'étudier ses propriétés physiques exceptionnelles, ainsi que l'apparition et la progression de trois grandes explosions de l'atmosphère de l'étoile en 1986, 2000 et 2013.

Ces observations à long terme révèlent un schéma fascinant : Rho Cas entre dans un cycle d'éruptions atmosphériques tous les 10 à 40 ans environ. Lors de chaque éruption, la température de surface passe de 4 500 à 7 500 °C. Pour la première fois, on a pu étalonner la température à partir de données spectroscopiques fiables, combinées à des observations photométriques réalisées entre 1962 et 2020. Cette nouvelle méthodologie permet une analyse plus précise de ces étoiles extrêmes, en particulier du comportement dynamique de leurs énormes atmosphères (les hypergéantes jaunes ont des diamètres de 400 à 700 fois celui du Soleil).

L'étude révèle que les pulsations de Rho Cas deviennent plus intenses à l'approche

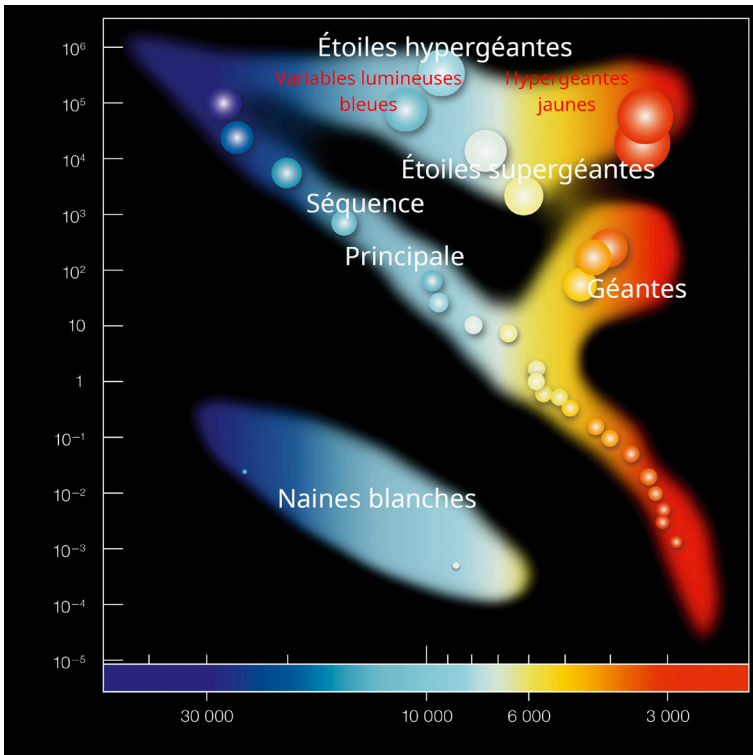


Vue d'artiste de l'étoile hypergéante jaune Rho Cassiopeiae, autour de laquelle se forment des coquilles de gaz en raison des explosions récurrentes. (A. Lobel)

d'une explosion. Plus précisément, les périodes de pulsation observées dans la courbe de luminosité en bande V (ou visible) de l'hypergéante s'allongent et l'amplitude des pulsations augmente au cours des années précédant une éruption. Cela indique que les fortes pulsations radiales jouent un rôle crucial dans le déclenchement des éruptions récurrentes, qui se sont produites six fois au cours des 138 dernières années, avec des intervalles de temps de 10, 41, 40, 14 et 13 ans.

Les scientifiques ont également étudié deux autres hypergéantes jaunes notoires, HR 8752 et HR 5171A. La première a évolué vers le bleu après 1996 et sa luminosité visuelle est restée pratiquement constante entre 2017 et 2023. HR 5171A a repris ses pulsations au début de l'année 2018 après une période de déclin progressif de sa luminosité.

Diagramme de Hertzsprung-Russell dans lequel les températures des étoiles sont représentées en fonction de leur luminosité mesurée par rapport au Soleil. La position d'une étoile dans le diagramme fournit des informations sur son stade actuel et sa masse. Les étoiles qui brûlent de l'hydrogène en hélium se trouvent sur la branche diagonale, la séquence principale dont le Soleil fait partie. Lorsqu'une étoile a épuisé tout son hydrogène, elle quitte la séquence principale et devient une géante rouge, une supergéante ou une hypergéante, en fonction de sa masse. Les étoiles de la masse du Soleil qui ont brûlé tout leur combustible évoluent finalement vers une naine blanche (coin inférieur gauche). Certaines supergéantes jaunes évolueront en Variables lumineuses bleues, des hypergéantes plus chaudes qui ont la même luminosité. (ESO, annoté par L. B. S. Pham)



JADES-GS-z14-0

Basé sur un communiqué ESO

Découverte l'année dernière grâce au télescope spatial JWST, JADES-GS-z14-0 est la galaxie la plus distante connue. Elle est si éloignée que sa lumière a mis 13,4 milliards d'années pour nous parvenir, ce qui signifie que nous la voyons telle qu'elle était lorsque l'Univers avait moins de 300 millions d'années, soit environ 2 % de son âge actuel.

De l'oxygène vient d'y être découvert grâce au réseau ALMA, ce qui montre que la galaxie s'est formée très rapidement et évolue tout aussi vite. Cela s'ajoute aux nombreux indices suggérant que la formation des galaxies se déroule bien plus rapidement que ce que l'on pensait jadis.

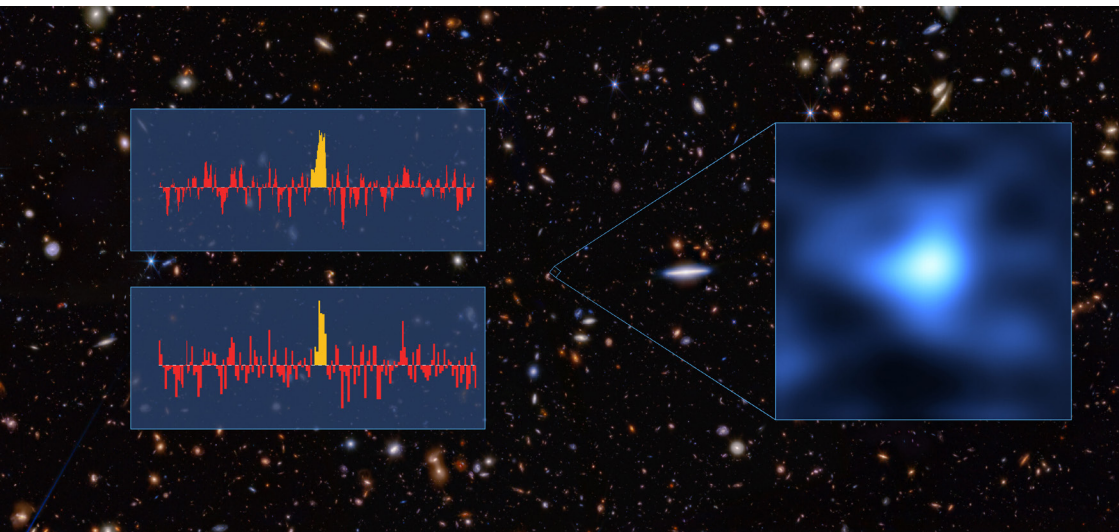
Au début de leur vie, les galaxies sont généralement faites d'étoiles jeunes, avec des éléments légers tels que l'hydrogène et l'hélium. Au fil de leur évolution, ces étoiles produisent des éléments plus lourds, comme l'oxygène, qui se dispersent dans leur galaxie hôte après leur mort. Les chercheurs pensaient qu'à 300 millions d'années, l'Univers était trop jeune pour abriter des galaxies riches en éléments lourds. Cependant, les études menées

avec ALMA indiquent que JADES-GS-z14-0 contient environ 10 fois plus d'éléments lourds que prévu.

La détection de l'oxygène a également permis aux astronomes de préciser la distance de JADES-GS-z14-0. Les estimations précédentes indiquaient un redshift compris entre 14,12 et 14,4. La détection de l'oxygène situe ce décalage vers 14,18.

Image JWST du champ de la galaxie JADES-GS-z14-0, un minuscule point dans la constellation du Fourneau. À ce jour, il s'agit de la galaxie la plus lointaine identifiée avec certitude. Sa lumière a mis 13,4 milliards d'années à nous parvenir et illustre les conditions de l'Univers lorsqu'il n'avait que 300 millions d'années. Le zoom montre cette galaxie primordiale, observée avec ALMA.

Les deux spectres présentés à gauche résultent de l'analyse indépendante des données d'ALMA par deux équipes d'astronomes. Toutes deux ont détecté une raie d'émission de l'oxygène. (ALMA/ESO/NAOJ/NRAO / S. Carniani et al. / S. Schouws et al; JWST/NASA/ESA/CSA/STScI, B. Robertson/UC Santa Cruz, B. Johnson/CfA), S. Tacchella/Cambridge), P. Cargile/CfA)



Galaxie d'Andromède

Basé sur un communiqué NASA

La galaxie d'Andromède apparaît à l'œil nu comme un objet diffus de faible luminosité, de la taille de la Lune. Ce que l'on ne voit pas, ce sont les douzaines de petites galaxies satellites qui gravitent autour d'elle, comme des abeilles autour d'une ruche.

Ces galaxies satellites représentent un « écosystème » galactique turbulent que le télescope spatial Hubble de la NASA étudie avec un niveau de détail sans précédent. Cet ambitieux programme a utilisé des observations collectées au long de plus d'un millier d'orbites de Hubble. La stabilité optique et l'efficacité du télescope ont rendu possible cette étude qui comprenait la création d'une cartographie 3D précise de toutes les galaxies naines bourdonnant autour d'Andromède et l'étude de l'histoire de leur activité de formation d'étoiles.

Hubble a révélé un système nettement différent de celui des galaxies satellites, plus petites, qui entourent notre galaxie. Cela offre des indices sur la façon dont la Voie lactée et Andromède ont évolué différemment au cours de milliards d'années. Il semble qu'Andromède ait eu une histoire plus dynamique, et a probablement été affectée par une fusion avec une grande galaxie il y a quelques milliards d'années. Cette rencontre, et le fait qu'Andromède soit jusqu'à deux fois plus massive que la Voie lactée, pourraient expliquer sa population abondante et diverse de galaxies naines.

Il est très difficile d'étudier de manière aussi complète l'ensemble du système de satellites de la Voie lactée, car nous sommes intégrés à notre galaxie. Cela n'est pas non plus possible pour d'autres grandes galaxies, bien trop éloignées. La galaxie la plus proche de la Voie lactée, au-delà d'Andromède, et de masse comparable, est M81, à près de 12 millions d'années-lumière.

Cette vue du système de satellites d'Andromède permet de déchiffrer les facteurs qui déterminent l'évolution de ces galaxies satellites. La durée pendant laquelle elles peuvent continuer à former de nouvelles étoiles dépend

en fait de leur masse et de leur proximité de la galaxie d'Andromède. Cela montre clairement à quel point la croissance des petites galaxies est perturbée par l'influence d'une galaxie massive.

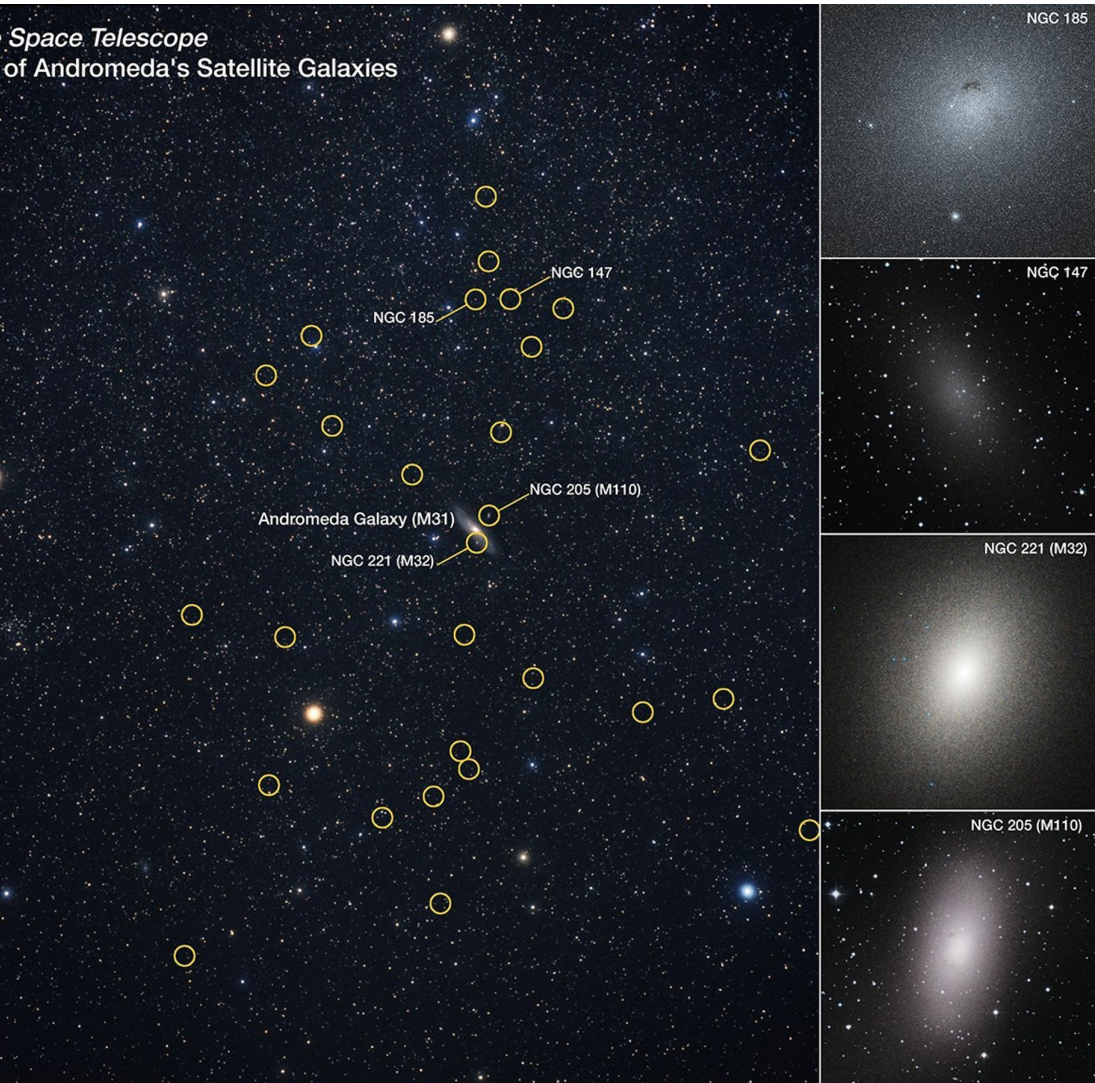
Les galaxies de faible masse dans d'autres écosystèmes ont suivi des chemins évolutifs différents de ce que nous connaissons grâce aux galaxies satellites de la Voie lactée. Par exemple, la moitié des galaxies satellites d'Andromède semblent confinées dans un plan et orbitent dans le même sens, une configuration qui étonne les astronomes.

La galaxie la plus brillante qui accompagne Andromède est Messier 32 (M32). Il s'agit d'une galaxie ellipsoïdale compacte qui pourrait bien être le reste du noyau d'une galaxie entrée en collision avec Andromède il y a quelques milliards d'années. Après avoir été dépouillée de son gaz et de quelques étoiles par la gravité, elle a poursuivi son orbite. La galaxie M32 contient des étoiles plus anciennes, mais on sait par certains signes qu'elle a connu une vague de formation d'étoiles il y a quelques milliards d'années.

Outre M32, il semble y avoir une population unique de galaxies naines autour d'Andromède. Elles ont formé la plupart de leurs étoiles très tôt, mais elles n'en sont pas restées là. Elles ont continué à former des étoiles à partir d'un réservoir de gaz à un rythme très lent pendant une période beaucoup plus longue, ce que ne réussissent pas à expliquer les simulations informatiques.

Hubble a fourni la première série d'images permettant aux astronomes de mesurer les mouvements des galaxies naines. Dans cinq ans, Hubble ou le télescope spatial James Webb de la NASA pourront obtenir une seconde série, ce qui permettra aux astronomes de procéder à une reconstruction dynamique des 36 galaxies naines et aidera les astronomes à remonter le temps sur des milliards d'années dans l'écosystème d'Andromède.





**Space Telescope
of Andromeda's Satellite Galaxies**

Distribution des galaxies satellites en orbite autour de la grande galaxie d'Andromède (M31). Le télescope spatial Hubble a été utilisé pour étudier l'ensemble de la population de 36 mini-galaxies entourées en jaune. Toutes les galaxies naines semblent être confinées dans un plan et tourner dans le même sens. La vue large est prise du sol. Les clichés pris par Hubble de quatre galaxies naines sont présentés

sur l'image de droite. La galaxie naine la plus importante est M32 (NGC 221), une galaxie ellipsoïdale compacte qui pourrait être le noyau résiduel d'une galaxie plus grande entrée en collision avec Andromède il y a quelques milliards d'années.
(NASA, ESA, A. Savino/UC Berkeley, J. DePasquale/STScI, A. Fujii/DSS2)

On a trouvé la matière manquante

Basé sur un communiqué UC Berkeley

Lorsque l'on comptabilise toute la matière normale – étoiles, galaxies et gaz – présente dans l'Univers, on arrive à un résultat bien en deçà de la quantité totale de matière produite lors du Big Bang il y a 13,6 milliards d'années. Il manque plus de la moitié de la matière normale – la moitié des 15 % de la matière de l'Univers qui ne sont pas de la matière noire. Une nouvelle étude conclut que cette matière manquante n'est autre que l'hydrogène ionisé des halos qui entourent les galaxies. Ces halos sont simplement plus étendus que ne le pensaient les astronomes.

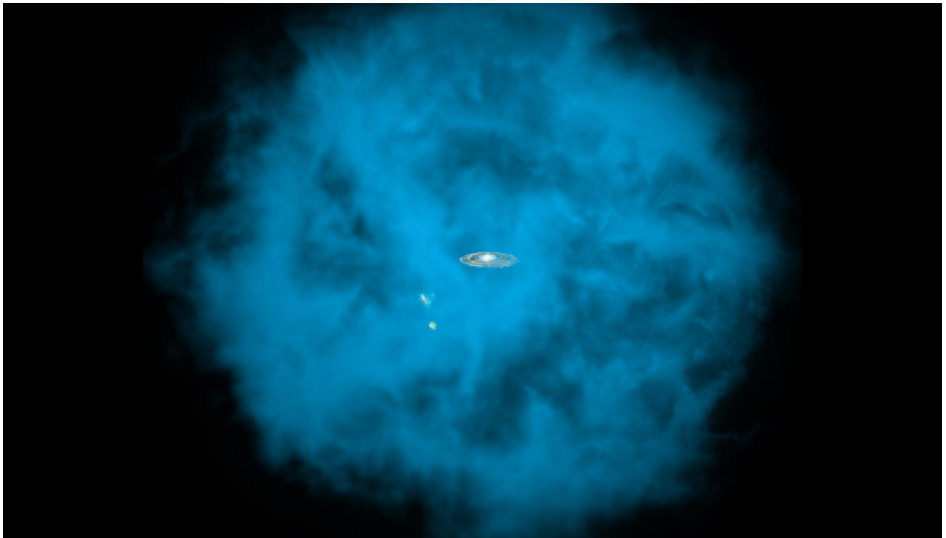
Ces résultats non seulement dissipent un conflit entre les observations astronomiques et le meilleur modèle actuel de l'évolution de l'Univers, mais suggèrent également que les trous noirs massifs au centre des galaxies sont plus actifs qu'on ne le croyait, éjectant du gaz jusqu'à cinq fois plus loin qu'on ne l'imaginait.

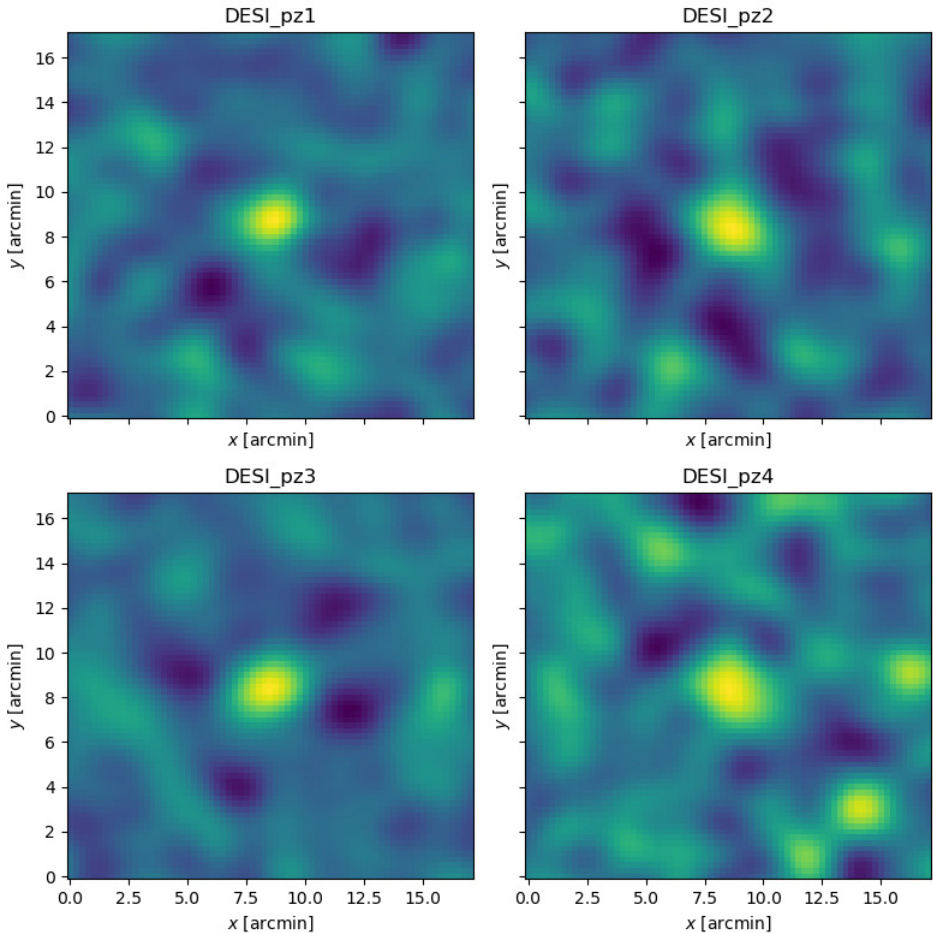
La matière noire, encore mystérieuse, constitue l'essentiel – environ 84 % – de la matière de l'Univers, le reste est de la matière

normale. Seulement 7 % environ de cette matière se présente sous forme d'étoiles, le reste étant sous forme d'hydrogène invisible, en grande partie ionisé, présent dans les galaxies et dans les filaments qui les relient dans une grande toile cosmique. Le gaz ionisé des filaments, bien que constituant le milieu intergalactique chaud, est trop froid et trop diffus pour être observé avec les techniques habituelles des astronomes. Il était donc resté insaisissable jusqu'à présent.

Dans la nouvelle étude, les chercheurs ont estimé la distribution de l'hydrogène ionisé autour des galaxies en empilant des images d'environ 7 millions de galaxies – toutes situées à environ 8 milliards d'années-lumière

Vue d'artiste du halo d'hydrogène chaud entourant la Voie lactée (au centre) et deux galaxies satellites, le Grand et le Petit Nuages de Magellan. Ce halo est plus étendu que ne le pensaient les astronomes et contient suffisamment d'hydrogène pour résoudre le problème de la masse baryonique manquante de l'Univers. (NASA/CXC/M.Weiss; NASA/CXC/Ohio State/A Gupta et al)

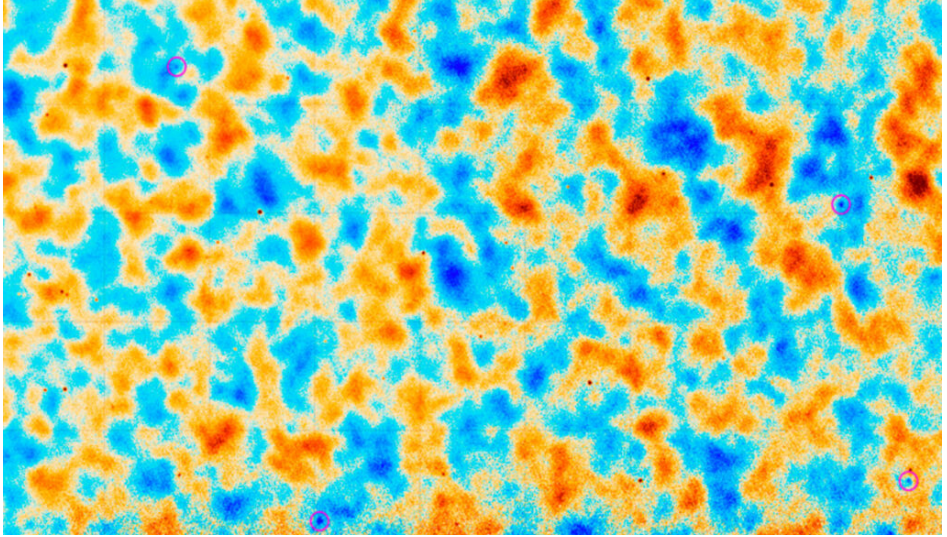




Pour détecter la faible signature de l'hydrogène ionisé autour de galaxies rouges très brillantes, les chercheurs ont superposé des images de plus d'un million de galaxies. Ces quatre images représentent des empilements de galaxies situées à différentes distances de la Terre, ne montrant que la gamme de fréquences électromagnétiques affectée par la diffusion des électrons (effet cinématique Sunyaev-Zel'dovich).

Les couleurs bleue et verte représentent les infimes fluctuations de température du rayonnement de fond diffus cosmologique (CMB). Le centre jaune indique la lumière du CMB diffusée par la vaste enveloppe d'hydrogène gazeux qui entoure ces galaxies. En lumière visible, les galaxies apparaîtraient comme quelques pixels au centre de la tache jaune.

(B. Hadzhiyska et al., DESI, ACT)



de la Terre – et en mesurant le léger affaiblissement ou renforcement du fond diffus cosmologique (CMB) causé par la diffusion du rayonnement par les électrons dans le gaz ionisé, ce qu’on appelle l’effet cinématique Sunyaev-Zel’dovich.

Le rayonnement de fond diffus cosmologique sert d’arrière-plan à tout ce que nous voyons dans l’Univers. C’est la limite de l’univers observable. On peut donc l’utiliser comme rétroéclairage pour voir où se trouve le gaz.

Les images de galaxies utilisées – toutes des galaxies rouges lumineuses – ont été recueillies avec l’instrument DESI (Dark Energy Spectroscopic Instrument) installé sur le télescope Mayall de 4 mètres de l’observatoire de Kitt Peak à Tucson, en Arizona. Cet instrument étudie des dizaines de millions de galaxies et de quasars afin de construire une carte 3D de l’Univers jusqu’à 11 milliards d’années-lumière, et de mesurer l’effet de l’énergie sombre sur l’expansion de l’Univers.

Les mesures du fond diffus cosmologique autour de ces galaxies ont été effectuées par le télescope ACT (Atacama Cosmology Telescope) au Chili, celui-là même qui a donné

Carte du rayonnement de fond diffus cosmologique obtenue par le télescope cosmologique d’Atacama (ACT). Les deux cercles indiquent les endroits où l’hydrogène ionisé a diffusé le rayonnement, laissant une signature permettant d’estimer la quantité de gaz entourant les galaxies.
(ACT; Louis et al.)

les mesures les plus précises à ce jour du CMB avant sa mise hors service en 2022.

Les astronomes pensent généralement que les trous noirs massifs situés au centre des galaxies expulsent du gaz sous forme de jets de matière uniquement pendant leur étape de formation, lorsque le trou noir central engloutit du gaz et des étoiles et produit un rayonnement important. C’est ce qui les distingue des noyaux actifs de galaxie (NAG), ou quasars.

Si, comme le suggère la nouvelle étude, le halo d’hydrogène ionisé autour des galaxies est plus diffus et plus étendu qu’on ne le pensait, cela implique que les trous noirs centraux peuvent en fait devenir actifs à d’autres moments de leur vie.

Les AGN s'allument et s'éteignent occasionnellement dans un « cycle de service », alternant expulsion et rechute du gaz dans le disque galactique. Ce mécanisme de rétroaction régule la formation de nouvelles étoiles dans toute la galaxie. Des indices d'une rétroaction plus étendue avaient été évoqués dès 2020, et précisés ensuite en intégrant davantage de galaxies. Des travaux ultérieurs ont confirmé ces résultats avec l'échantillon spectroscopique DESI et ont permis d'étudier le gaz dans des galaxies plus proches. Clairement, le gaz n'est pas distribué uniformément autour d'elles, mais suit les « filaments cosmiques » qui sillonnent l'Univers.

Les simulations de l'évolution des galaxies doivent désormais intégrer cette rétroaction vigoureuse dans leurs modèles. Certains nouveaux modèles le font déjà pour produire des simulations plus robustes et plus cohérentes avec les nouvelles données.

L'identification de la matière manquante, ou baryons, dans l'Univers a également des implications pour d'autres aspects de l'évolution cosmique.

Savoir où se trouve le gaz est devenu l'un des principaux obstacles à l'intégration de la cosmologie dans les études actuelles et c'est le moment idéal pour répondre à ces questions. D'une part, l'expulsion de gaz du cœur de ces galaxies massives remet en question l'hypothèse selon laquelle le gaz suit la matière noire. Sous-estimer cette expulsion de gaz peut introduire des incohérences dans les modèles cosmologiques, tandis que les nouveaux résultats pourraient résoudre certains problèmes concernant la complexité de l'Univers.

La technique utilisée par l'équipe, l'effet cinématique Sunyaev-Zel'dovich, pourrait également servir à sonder l'univers primitif. Cela pourrait apporter des éclaircissements sur la structure à grande échelle de l'Univers et les lois de la physique de l'univers primitif, et permettre aux scientifiques de tester la gravité et la relativité générale.

La collaboration DESI a réalisé la plus grande carte 3D de notre Univers à ce jour et l'utilise pour étudier l'énergie noire. Dans cette visualisation, la Terre est au centre, et chaque point représente une galaxie.

Collaboration DESI, KPNO/NOIRLab/NSF/AURA/R. Proctor)

