

Astronomie dans le monde



Cette vue d'artiste illustre l'un des scénarios possibles pour le système Altjira 148780, situé à six milliards de kilomètres dans la ceinture de Kuiper. Il s'agit probablement d'une formation triple hiérarchisée, avec deux compagnons très proches et un troisième membre plus éloigné.

Les corps intérieurs sont trop proches les uns des autres pour être détectés par le télescope spatial Hubble. Cependant, les observations

de l'orbite de l'objet le plus éloigné par Hubble ont permis de déterminer que le corps central n'est pas un objet sphérique unique. Sur cette vue d'artiste, le Soleil se trouve dans la constellation du Sagittaire, avec la Voie lactée en arrière-plan. L'étoile rouge Antarès apparaît en haut au centre. Le plan du Système solaire brille par la diffusion des poussières.

(NASA, ESA, J. Olmsted/STScI)

Une triade dans la ceinture de Kuiper

Basé sur un communiqué STScI

L'Univers contient une variété de systèmes à trois corps liés gravitationnellement, allant des systèmes d'étoiles triples aux planètes à deux lunes, comme Mars. De nouvelles recherches suggèrent que certains objets de la ceinture de Kuiper (KBO) forment aussi des triades. En effet, le système (148780) Altjira, déjà identifié comme binaire, présente des signes de présence d'un troisième membre, si proche de son compagnon qu'il n'a pu être identifié qu'en observant la dynamique orbi-

tale de ce dernier. Parmi les 40 objets binaires connus dans la ceinture de Kuiper, seul un autre système, Lempo, s'est révélé être triple.

Si le système d'Altjira est confirmé comme étant le deuxième système triple de la ceinture, on peut supposer qu'il y en a d'autres en attente d'être découverts. Cela soutiendrait la théorie selon laquelle les KBO ne se sont pas formés par collision, mais sont nés en tant que systèmes triples par effondrement gravitationnel.

Identifiés depuis 1992, les KBO sont des vestiges glacés du Système solaire primitif, orbitant au-delà de l'orbite de Neptune. À ce jour, plus de 3 000 KBO ont été répertoriés,

et les scientifiques estiment qu'il pourrait en exister des centaines de milliers de plus de 16 kilomètres de diamètre. Le plus grand KBO est la planète naine Pluton.

Le système Altjira est situé aux confins du Système solaire, à 6 milliards de kilomètres, soit 44 fois la distance Terre-Soleil. Les images de Hubble montrent deux objets séparés de 7 600 kilomètres. Cependant, des observations répétées de leur mouvement orbital indiquent que l'objet central est en réalité constitué de deux corps si proches l'un de l'autre qu'ils sont impossibles à distinguer à une telle distance sur des images.

Cela demande du temps et de la patience, et il a fallu accumuler 17 ans d'observations provenant de Hubble et de l'observatoire Keck, pour évaluer l'orbite de l'objet extérieur du système Altjira. Son orientation changeait, indiquant que l'objet intérieur était soit très allongé, soit en fait deux objets distincts. Les modélisations ont favorisé un système triple. D'autres possibilités sont que l'objet interne est un système binaire de contact où deux

corps distincts se rapprochent tellement qu'ils se touchent, ou quelque chose d'étrangement plat, comme une crêpe.

Les seuls objets de la ceinture de Kuiper à avoir été explorés en détail sont Pluton et le petit Arrokoth, visités par la mission New Horizons de la NASA respectivement en 2015 et 2019. New Horizons a montré qu'Arrokoth est une binaire de contact. Altjira peut être vue comme une « cousine » d'Arrokoth, un membre du même groupe d'objets de la ceinture de Kuiper. Toutefois, Altjira est dix fois plus grande qu'Arrokoth, avec un diamètre de 200 kilomètres.

Aucune mission n'est envisagée pour survoler Altjira afin d'obtenir des détails comparables à ceux d'Arrokoth, mais une occasion d'étudier plus en détail ce système fascinant se présentera prochainement. Altjira est entrée dans une saison d'éclipses, au cours de laquelle le corps extérieur passe devant le corps central. Cette période durera les dix prochaines années, offrant aux scientifiques une excellente occasion d'en apprendre davantage.

Image Hubble de (148780) Altjira avec son compagnon extérieur. L'objet principal est lui-même double. (Hubble Space Telescope/Keith S. Noll)

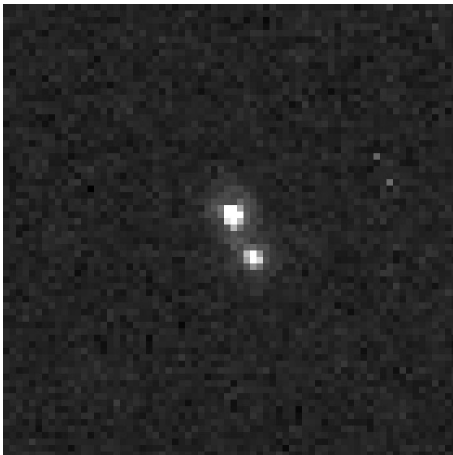
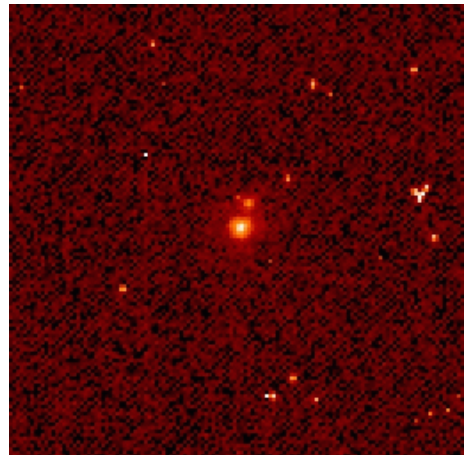
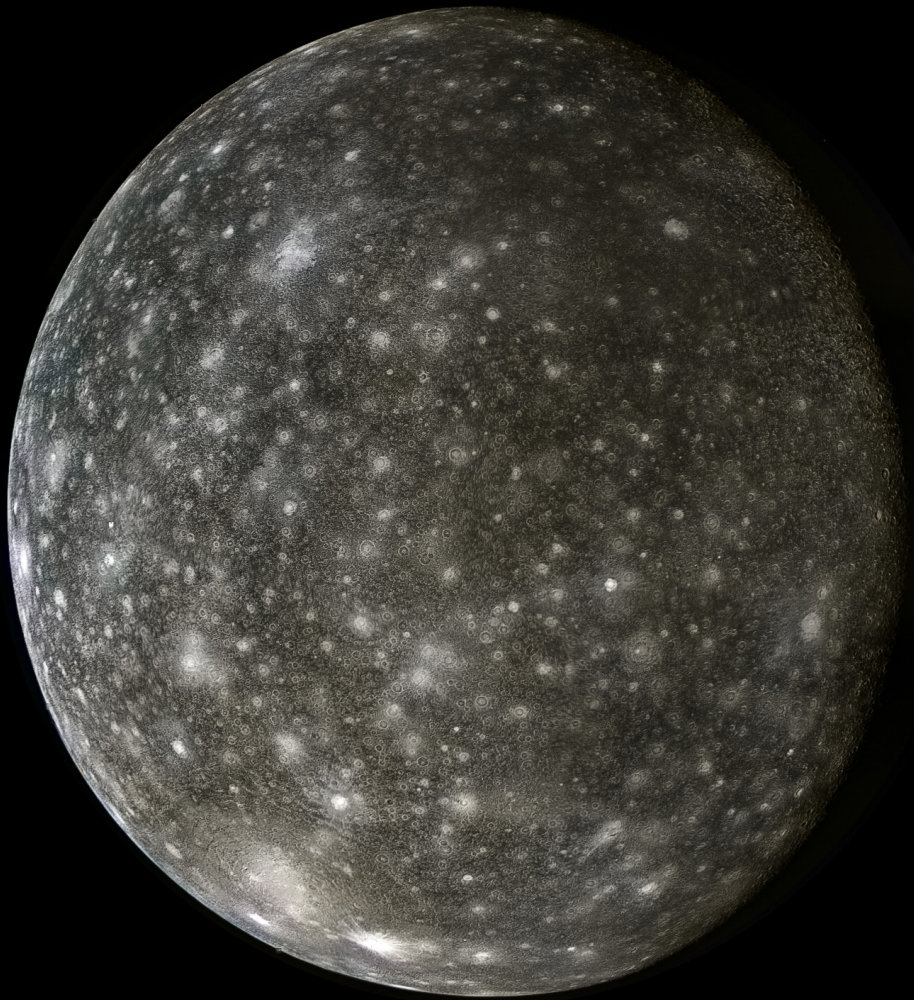


Image Hubble de (47171) Lempo, vue comme une binaire. L'objet principal est lui-même double (Lempo et Hiisi). L'objet secondaire est dénommé Paha. (Chad Trujillo)





Callisto.
(NASA/JPL-Caltech/Kevin M. Gill,
CC BY 2.0)

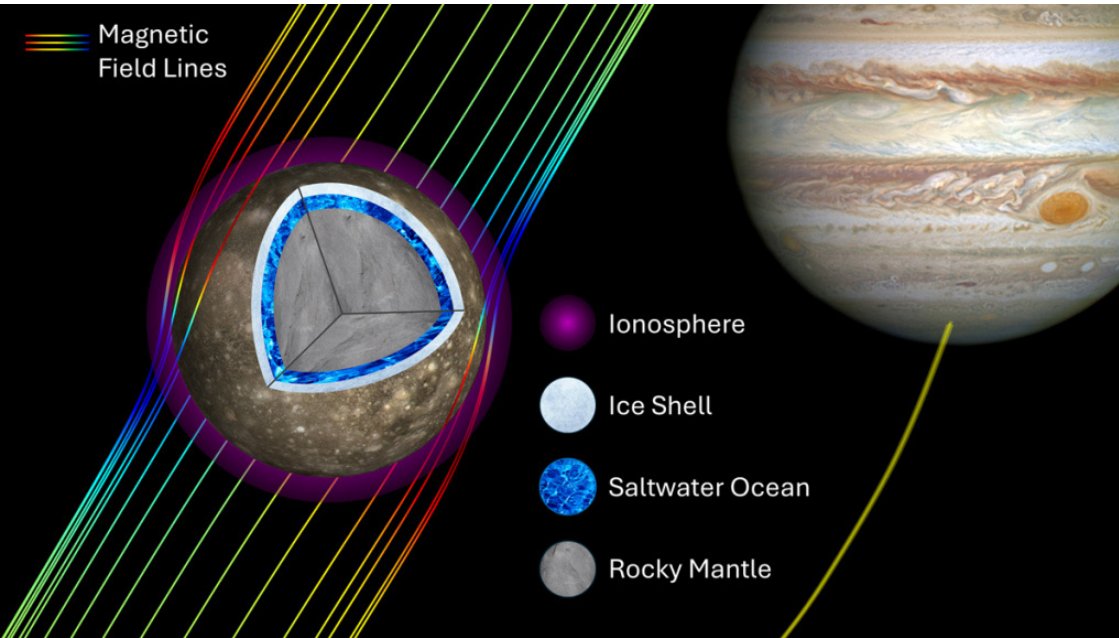
Callisto

Basé sur un communiqué EOS

Callisto, la deuxième plus grande lune galiléenne de Jupiter, et la plus extérieure des quatre, est l'objet le plus cratérisé du Système solaire. Elle ne semble guère présenter d'intérêt géologique mais, dans les années 1990, les mesures magnétiques effectuées par la sonde Galileo suggéraient la présence d'un océan

salé souterrain. Un doute subsistait car les observations magnétiques pouvaient aussi bien s'expliquer par l'électricité ionosphérique.

Les vieilles données ont été réexaminées de manière détaillée en incorporant toutes les mesures magnétiques disponibles issues des huit survols de Callisto par Galileo, et en utilisant des techniques statistiques avancées, des modèles ionosphériques, et au vu des propriétés géophysiques de Callisto. Cette analyse



approfondie favorise fortement l'hypothèse de la présence d'un océan d'eau salée sous la surface glacée de Callisto.

Les chercheurs ont découvert que l'ionosphère de Callisto ne peut pas à elle seule expliquer toutes les observations existantes, mais qu'un océan souterrain combiné à l'ionosphère le peut. Les données s'expliquent le mieux avec un océan d'au moins des dizaines de kilomètres d'épaisseur, enfermé sous une coquille de glace solide qui pourrait elle-même avoir des dizaines à des centaines de kilomètres d'épaisseur. Sous cet océan probable se trouve un intérieur rocheux.

Ces résultats ouvrent la voie aux mesures qui devraient être effectuées par des sondes spatiales dans un futur proche et devraient confirmer, une fois pour toutes, si Callisto est un monde océanique. Des mesures rapprochées sont en effet prévues par les missions Europa Clipper de la NASA et JUICE (Jupiter Icy Moons Explorer) de l'Agence spatiale

Coupe de Callisto montrant l'ionosphère, la croûte de glace, l'océan salé souterrain et l'intérieur rocheux. Des lignes de champ magnétique dues à Jupiter sont représentées en couleur.

Les observations acquises par la sonde spatiale Galileo indiquent que Callisto (à gauche) réagit par induction au champ magnétique variable de Jupiter (à droite). Les résultats suggèrent que la lune abrite un océan salé sous sa surface.

(C.J. Cochrane, NASA/JPL-Caltech)

européenne, lancées respectivement en octobre 2024 et avril 2023.

La mission chinoise Tianwen-4, dont l'objectif est d'étudier les planètes externes pourrait également observer Callisto. Son lancement est prévu vers 2030.

La confirmation du statut de Callisto en tant que monde océanique inciterait probablement à de plus amples recherches sur son potentiel à abriter la vie, tout comme cette confirmation a inspiré des recherches sur Europe.

Cratère ancien

Basé sur un communiqué Curtin University

Une étude des couches rocheuses du dôme du « North Pole Dome » – dans la région de Pilbara en Australie occidentale, a mené à la découverte d'un impact de météorite majeur il y a 3,5 milliards d'années. Il s'agit du plus ancien cratère connu sur Terre, le suivant n'ayant que 2,2 milliards d'années.

Les chercheurs ont découvert le cratère grâce à des « cônes d'éclatement », des formations rocheuses particulières qui ne se forment que lors d'impacts météoritiques. Ces cônes se trouvent à 40 kilomètres à l'ouest de Marble Bar.

L'impact fut un événement planétaire majeur, entraînant la formation d'un cratère de plus de 100 km de large qui a probablement envoyé des débris voler tout autour du globe.

Les impacts importants étaient courants dans le Système solaire primitif, comme le montre la surface de la Lune. Mais, jusqu'à

Le cratère se trouve dans la région de Pilbara, en Australie occidentale, où se trouvent certaines des roches les plus anciennes de la planète.

(Chris Kirkland/Université Curtin)

présent, l'absence de cratères terrestres véritablement anciens a fait qu'ils sont souvent ignorés par les géologues.

La découverte australienne fournit une pièce essentielle du puzzle de l'histoire des impacts de la Terre. Elle apporte un nouvel éclairage sur la manière dont les météorites ont façonné l'environnement primitif de la Terre et suggère qu'il pourrait y avoir de nombreux cratères anciens à découvrir

Cet impact et d'autres que l'on pourrait trouver de la même époque, pourraient expliquer en grande partie comment la vie a pu apparaître, car les cratères d'impact ont créé des environnements propices à la vie microbienne.

Cela nous aide à comprendre la formation de la croûte terrestre. L'énorme quantité d'énergie issue de cet impact aurait pu jouer un rôle dans la formation de la croûte terrestre primitive en poussant une partie de la croûte terrestre sous une autre, ou en forçant le magma à remonter des profondeurs du manteau vers la surface. Cela a peut-être même contribué à la formation de cratons, de vastes masses terrestres stables qui sont devenues la base des continents.



Météorite d'Aguas Zarcas

Basé sur un communiqué Seti Institute

En avril 2019, un bolide s'est brisé en traversant l'atmosphère et ses fragments se sont dispersés sur quelques kilomètres non loin de la ville d'Aguas Zarcas, dans le nord du Costa Rica. 27 kilos de roches ont été récupérées, ce qui en fait la plus grande chute de météorites du type « mudball » depuis celle de Murchison en Australie en 1969.

La météorite Murchison est tombée seulement deux mois après le premier alunissage Apollo en 1969. Les chercheurs qui s'apprêtaient à étudier les roches lunaires ont porté avec empressement leurs instruments sur cette autre roche venue de l'espace.

L'analyse de vidéos a montré que la roche est entrée dans l'atmosphère terrestre à un angle quasi vertical à une vitesse de 14,6 kilomètres par seconde. La chaleur intense des collisions avec l'atmosphère a fait fondre une grande partie de la roche, mais on a observé étonnamment peu de signes de fragmentation.

Le bolide a pénétré profondément dans l'atmosphère terrestre, jusqu'à ce que la masse survivante se brise à 25 km au-dessus de la surface de la Terre, produisant une lueur qui a été détectée par des satellites.

La nature a été clémente envers cette météorite, car sa chute s'est produite à la fin d'une saison sèche inhabituellement longue au Costa Rica. On a pu récupérer une étonnante sélection de pierres avec des croûtes de fusion aux formes très variées. Certaines pierres présentent une magnifique irisation bleue sur la croûte de fusion.

De nombreuses pierres sont restées intactes après leur chute sur les surfaces relativement molles de la jungle et de l'herbe. Les chercheurs ont été surpris par la forme inhabituelle de nombreuses roches, résultant de l'ablation, sans les surfaces

relativement planes résultant de la fragmentation secondaire.

Les météorites de ce type sont souvent décrites comme des boules de boue, car elles contiennent des minéraux riches en eau mais, visiblement cela ne signifie pas qu'elles sont fragiles. En fait, Aguas Zarcas est restée solide car elle a évité les collisions dans l'espace et ne présentait pas les fissures qui affaiblissent de nombreuses météorites. La dernière collision subie par cette roche remonte à 2 millions d'années.

Les scientifiques ont mesuré combien de temps la roche a été exposée aux rayons cosmiques après s'être fait éjecter d'un astéroïde. D'autres météorites de type Murchison se sont détachées à peu près au même moment, et probablement lors du même événement, mais la plupart sont beaucoup plus récentes.

L'équipe a déterminé que la roche mesurait environ 60 centimètres de diamètre lorsqu'elle a percuté l'atmosphère terrestre. À partir de sa trajectoire dans l'atmosphère, on a pu remonter jusqu'à la ceinture d'astéroïdes. L'objet provient d'un astéroïde plus gros, situé dans la ceinture d'astéroïdes, probablement dans ses régions extérieures. Après s'être détachée, il lui a fallu deux millions d'années pour atteindre la minuscule cible qu'est la Terre, en évitant tout accident de parcours. Comme la roche était solide et pénétrait à un angle prononcé, une fraction relativement importante de sa masse a survécu jusqu'au sol.

Fragment de 146 g de la météorite d'Aguas Zarcas.
(Arizona State University/SETI Institute)



Météorites primitives

Basé sur un communiqué Observatoire de Paris

Alors que les missions astéroïdales comme OSIRIS-REX et Hayabusa2 rapportent des échantillons riches en carbone, une question intrigue encore les scientifiques : pourquoi retrouvons-nous si peu de météorites dites primitives sur Terre ? Les météorites primitives correspondent essentiellement aux chondrites carbonées, c'est-à-dire des fragments d'astéroïdes ayant conservé la composition originelle du nuage de gaz et de poussières à l'origine du Système solaire. Véritables archives célestes, ces météorites renferment des indices précieux sur l'origine de l'eau sur Terre et les processus précurseurs du vivant.

D'après les modèles actuels, une large majorité des météoroïdes – ces objets avant qu'ils ne pénètrent l'atmosphère – devraient être de nature carbonée. En effet, ils proviennent pour la plupart de la ceinture d'astéroïdes, une région réputée pour abriter des corps riches en carbone. Il serait donc logique de retrouver une proportion importante de chondrites carbonées parmi les météorites tombées sur Terre.

Pourtant, l'étude révèle que seulement environ 4 % des météorites récupérées sont des chondrites carbonées ; un écart frappant avec les modèles traditionnels.

Pour résoudre ce paradoxe, l'équipe a analysé presque 8 000 impacts de météorites et 500 chutes potentielles de météorites, en exploitant les données recueillies par 19 réseaux mondiaux de caméras de surveillance photographique. Ces systèmes spécialisés enregistrent la trajectoire des petits corps rocheux lorsqu'ils pénètrent dans l'atmosphère.

Leurs travaux montrent que les météorites primitives subissent un double processus de sélection naturelle :

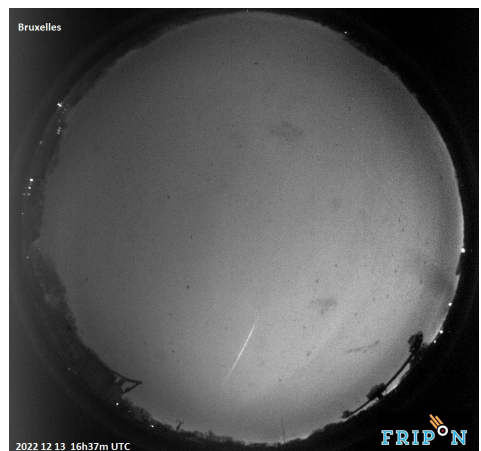
- Une fragmentation thermique avant même d'entrer en contact avec la Terre. Lorsqu'un météoroïde passe à proximité du Soleil, il subit des contraintes thermiques intenses qui peuvent le fragiliser et provoquer sa désintégration progressive.

- Un filtrage par l'atmosphère terrestre. Parmi les météoroïdes qui pénètrent dans l'atmosphère, ceux présentant une résistance moindre – et qui, d'après les modèles de transport, sont majoritairement de composition carbonée – se consomment plus facilement, réduisant ainsi leurs chances de parvenir au sol sous forme de météorites.

Ces résultats ne se limitent pas à expliquer une rareté observée sur Terre : ils ouvrent aussi de nouvelles perspectives sur l'évolution des matériaux primitifs du Système solaire et leur rôle dans la formation des planètes.

En affinant notre compréhension des mécanismes qui altèrent ces corps, notamment le cycle thermique provoqué par leurs passages rapprochés du Soleil et l'altération spatiale, cette étude permet de mieux interpréter les échantillons ramenés par les missions spatiales. Elle éclaire également la manière dont des processus analogues pourraient influencer la population et la composition des petits corps dans d'autres systèmes planétaires et exoplanétaires, nous fournissant ainsi un cadre de référence précieux pour l'interprétation des observations à distance.

Bolide vu le 13 décembre 2022 par une caméra du réseau FRIPON à Bruxelles. (FRIPON network/BIRA IASB/DOERAK/TU Delft)





L'observatoire Vera Rubin

Basé sur un communiqué Vera C. Rubin Observatory

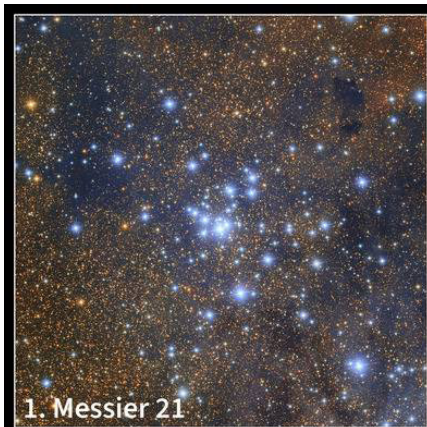
Ce 23 juin, l'équipe de l'observatoire Vera C. Rubin a révélé les premières images du télescope de relevé le plus récent et le plus puissant au monde.

En un peu plus de 10 heures d'observations test, l'observatoire a déjà capturé des millions de galaxies et d'étoiles de la Voie lactée, ainsi que des milliers d'astéroïdes. Ces images ne sont qu'un aperçu de la mission scientifique de l'observatoire Rubin, qui s'étendra sur dix ans et consistera à explorer et à comprendre certains des plus grands mystères de l'Univers.

Selon le directeur de la NSF, le télescope recueillera plus d'informations sur l'Univers que tous les télescopes optiques de l'histoire

L'observatoire Rubin est perché à 2 680 m au sommet du Cerro Pachón, au Chili, l'un des meilleurs sites d'observation au monde. Le télescope de 8,4 mètres utilise la combinaison optique de type Paul-Baker. Il comprend un miroir secondaire de 3,4 m et un tertiaire de 5 m. Le champ de 3,5 degrés est imagé sur la plus grande caméra numérique jamais construite, avec 3,2 milliards de pixels. (NSF-DOE Vera C. Rubin Observatory/ P. Horálek)

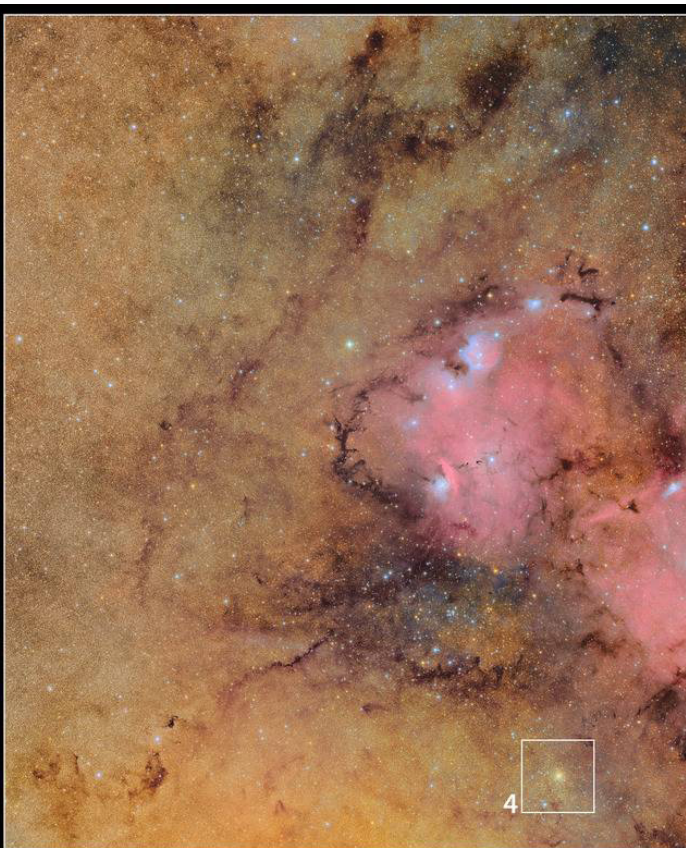
réunis. Ainsi, en une dizaine d'heures d'observation, il a découvert 2104 astéroïdes, dont sept astéroïdes géocroiseurs (qui ne présentent aucun danger). Chaque année, environ 20 000 astéroïdes sont découverts par tous les autres observatoires terrestres et spatiaux. À lui seul, l'observatoire Rubin découvrira des millions



1. Messier 21



2. Messier 20



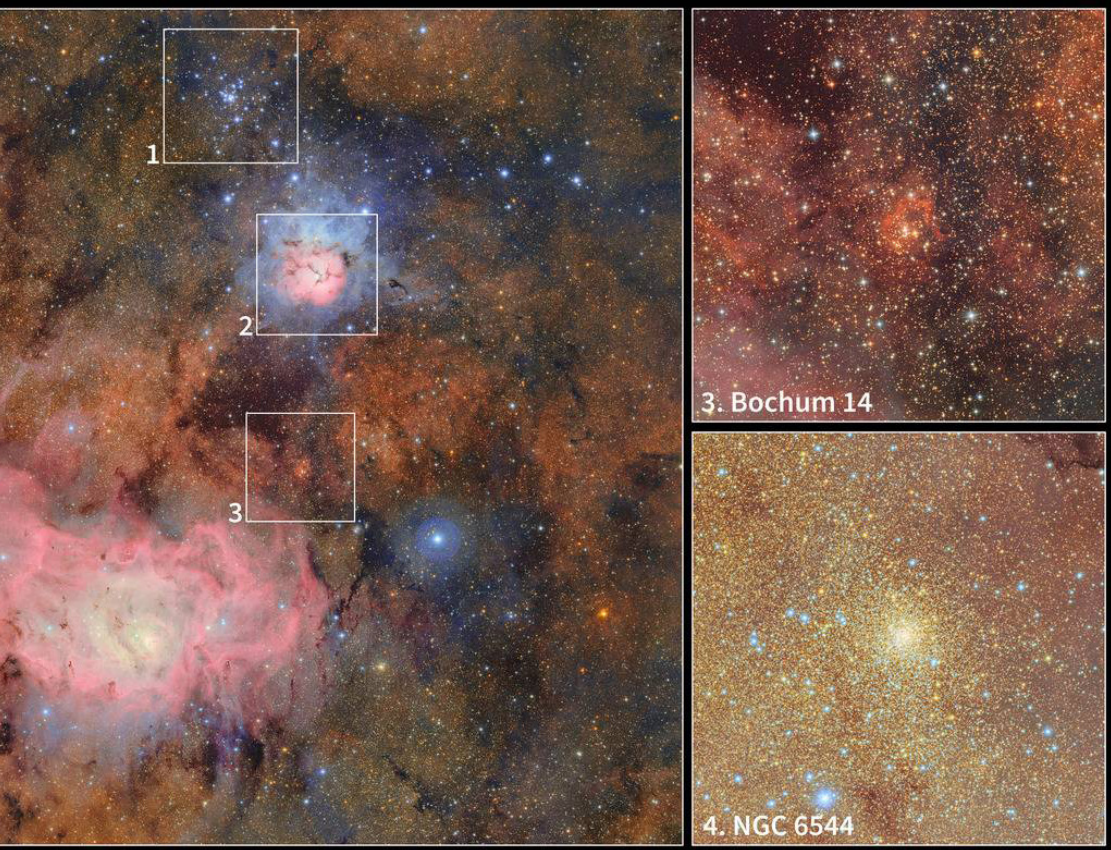
de nouveaux astéroïdes au cours des deux premières années de fonctionnement.

L'observatoire Rubin doit son nom à l'astronome américaine pionnière Vera C. Rubin, qui a découvert des preuves concluantes de l'existence de vastes quantités de matière invisible. Comprendre la nature de la matière noire, de l'énergie noire et d'autres mystères cosmiques à grande échelle est au cœur de la mission de l'observatoire Rubin.

L'énergie noire est une force mystérieuse qui semble provoquer l'éloignement des galaxies de l'Univers à un rythme accéléré. Bien que la matière noire et l'énergie noire représentent 95 % de l'Univers, leurs propriétés restent inconnues.

Cette image composite centrée sur les nébuleuses M8 (Lagune) et M20 (Trifide) a été obtenue à partir de 678 clichés.

La nébuleuse Trifide est un objet remarquable du ciel. Il s'agit d'un nuage de gaz et de poussière brillant et coloré, situé à 5 000 années-lumière dans la constellation du Sagittaire. Ce qui la rend particulièrement impressionnante, c'est la combinaison de ses caractéristiques : une nébuleuse par émission rose brillante, une nébuleuse par réflexion bleue froide



et des bandes de poussière sombres qui la divisent en trois sections, d'où son nom. À l'intérieur, de nouvelles étoiles se forment et émettent des vents et des radiations puissants, découpant le gaz environnant. Elle nous offre un aperçu saisissant de la façon dont les étoiles massives façonnent leur environnement dès leur naissance.

Sous la nébuleuse Trifide se trouve la grande nébuleuse de la Lagune, une autre pouponnière stellaire distante de 4 000 années-lumière. On peut observer la Lagune avec de simples jumelles ou un petit télescope. En son cœur se trouve un amas d'étoiles jeunes massives.

Leur rayonnement intense illumine le gaz environnant et façonne les nuages en motifs complexes. La nébuleuse de la Lagune offre aux scientifiques un lieu idéal pour étudier les premiers stades de la formation des étoiles : comment les nuages géants s'effondrent, comment les amas d'étoiles se forment et comment les étoiles naissantes commencent à remodeler leur environnement.

Les vignettes isolent en plus les amas ouverts M21 (4000 années-lumière) et Bochum 14 (2000 al), ainsi que l'amas globulaire NGC 6544 (10 000 al).

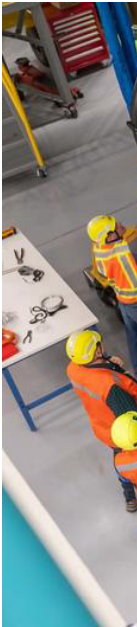
(NSF-DOE Vera C. Rubin Observatory)



▲ Le « Coffre aux trésors », dans l'amas de la Vierge. Réalisée à partir de plus de 1 100 images capturées par l'observatoire Vera C. Rubin de la NSF-DOE, cette image contient une immense variété d'objets, démontrant le large éventail de sciences que Rubin transformera grâce à son étude décennale de l'espace et du temps. L'image comprend environ 10 millions de galaxies, soit environ 0,05 % des quelque 20 milliards de galaxies que l'observatoire Rubin capturera au cours de la prochaine décennie.
(NSF-DOE Vera C. Rubin Observatory/
NOIRLab/SLAC/NSF/DOE/AURA)

► Une partie d'une image de l'amas de la Vierge, révélant à la fois la grande échelle et les faibles détails de cette région dynamique du cosmos. Les étoiles brillantes de la Voie lactée brillent au premier plan, tandis qu'une foule de galaxies lointaines rougeâtres parsèment l'arrière-plan.
(NSF-DOE Vera C. Rubin Observatory)





*L'observatoire Vera C. Rubin sous la Voie lactée et le Grand Nuage de Magellan.
(RubinObs/NOIRLab/SLAC/NSF/DOE/AURA/P. Horálek/
Institute of Physics in Opava)*



Le télescope de 8,4 m. À la fin de l'année commencera le programme « Legacy Survey of Space and Time » (LSST) de l'observatoire Rubin, qui en dix ans, produira un time-lapse ultra-large et à ultra-haute définition de l'Univers. (RubinObs/NOIRLab/SLAC/DOE/NSF/AURA/W. O'Mullane)



La caméra géante du télescope. (NSF-DOE Vera C Rubin (RubinObs/NOIRLab/SLAC/NSF/DOE/AURA/A. Pizarro D.)

Volcans de Vénus ?

Basé sur un communiqué Washington University

La surface de Vénus pourrait bien abriter une géologie surprenante. La planète torride, parsemée de dizaines de milliers de volcans, serait plus active qu'on ne le pensait. De nouveaux calculs suggèrent que la croûte externe de la planète est en constante agitation, soumise à une convection qui pourrait expliquer de nombreux volcans et d'autres caractéristiques du paysage vénusien.

Personne n'avait réellement envisagé la possibilité d'une convection dans la croûte de Vénus auparavant. Il s'avère cependant que la convection y est possible et peut-être probable. Si cela se confirme, cela nous offre un nouvel éclairage sur l'évolution de la planète.

La convection, un processus bien connu des géologues et des astronomes, se produit lorsque des matériaux chauds remontent contre la gravité et que des matériaux plus froids s'enfoncent, créant ainsi une sorte d'escalier roulant permanent. Sur Terre, la convection au plus profond du manteau fournit l'énergie qui alimente la tectonique des plaques.

La croûte terrestre, épaisse d'environ 40 km sous les continents et de 6 km sous les bassins océaniques, est trop mince et trop froide pour permettre la convection. Par contre, en appliquant de nouvelles théories

de dynamique des fluides, les chercheurs ont montré que la croûte de Vénus pourrait avoir l'épaisseur (peut-être 30 à 90 km, selon l'emplacement), la température et la composition rocheuse nécessaires pour maintenir ce mécanisme de transport.

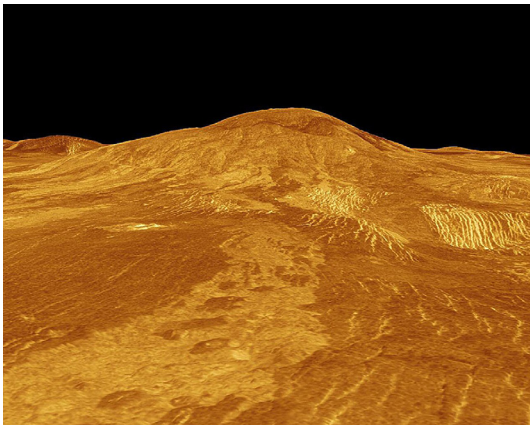
La même équipe avait récemment utilisé une approche similaire pour déterminer que la convection ne se produit probablement pas dans le manteau de Mercure parce que cette planète est trop petite et s'est considérablement refroidie depuis sa formation il y a 4,5 milliards d'années.

Vénus, en revanche, est une planète chaude, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. Les températures en surface atteignent 400 °C et ses volcans et autres formations géologiques présentent des signes évidents de fusion. Les scientifiques se demandent depuis longtemps comment la chaleur de l'intérieur de la planète pourrait être transférée à la surface. La convection dans la croûte pourrait être ce mécanisme.

La convection près de la surface pourrait également influencer le type et l'emplacement des volcans. Si elle agit comme prévu, certaines zones de la croûte devraient être plus chaudes et moins denses que d'autres, des différences détectables grâce à des mesures gravimétriques à haute résolution.

Une cible encore plus intrigante est peut-être Pluton, la planète naine glacée. Les images de la mission New Horizons ont révélé des motifs polygonaux remarquables sur la région de Sputnik Planitia, qui ressemblent aux plaques terrestres. Ces polygones sont formés par de lents courants de convection dans une couche d'azote solide de 4 km d'épaisseur. Pluton est probablement la seconde planète du Système solaire, après la Terre, où la convection, source de tectonique, est clairement visible à la surface.

Modèle 3D du volcan vénusien Sif Mons, qui présente des signes d'activité continue. Grâce aux données de la mission Magellan de la NASA, des chercheurs ont détecté des signes d'éruption lors du passage de la sonde autour de la planète au début des années 1990. (NASA/JPL)



Trou noir intermédiaire

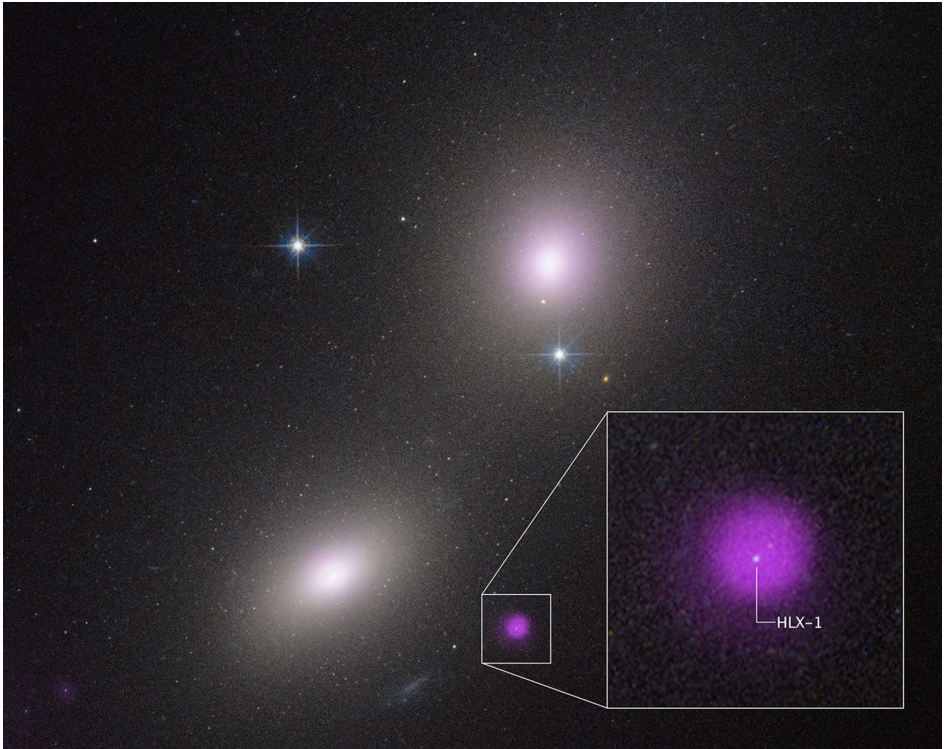
Basé sur un communiqué NASA

Les télescopes spatiaux Hubble et Chandra ont un leurs forces pour identifier un nouveau trou noir de masse intermédiaire, une espèce rare d'objets astronomiques. Cette intense source de rayons X, NGC 6099 HLX-1, se trouverait dans un amas stellaire compact au sein d'une galaxie elliptique géante.

Quelques années seulement après son lancement en 1990, Hubble avait montré que les galaxies contiennent souvent en leur centre des trous noirs, des millions ou des milliards de fois plus massifs que le Soleil. Les galaxies contiennent également des millions de petits trous noirs de masse inférieure à 100 fois celle du Soleil. Ils se forment lorsque des étoiles massives arrivent à la fin de leur vie.

Entre les deux catégories, les trous noirs de masse intermédiaire (IMBH), dont la masse est comprise entre quelques centaines et quelques centaines de milliers de fois celle du Soleil, sont beaucoup plus difficiles à détecter. Ni trop grands ni trop petits, ils sont souvent invisibles car ils ne dévorent pas autant de gaz et d'étoiles que les trous noirs supermassifs. Il faut les surprendre en train de s'alimenter pour

Image Hubble de la paire de galaxies NGC 6099 (en bas à gauche) et NGC 6098. On y a superposé, en mauve, l'image X d'un amas stellaire contenant un trou noir de masse intermédiaire en train de détruire une étoile. (NASA, ESA, CXO, Yi-Chi Chang/ National Tsing Hua University; J. DePasquale/STScI)



les détecter. Lorsqu'ils saisissent occasionnellement une étoile qui passe à proximité – dans ce que les astronomes appellent un événement de disruption par marée –, ils émettent un jet de rayonnement.

Le nouvel IMBH probable, surpris en pleine action, est situé à la périphérie de la galaxie NGC 6099, distante d'environ 450 millions d'années-lumière dans la constellation d'Hercule.

La découverte de la source X ultralumineuse remonte à 2009, lorsque les astronomes avaient observé une source inhabituelle de rayons X dans des observations prises par Chandra. Ils avaient ensuite suivi son évolution à l'aide de l'observatoire spatial XMM-Newton.

Les sources de rayons X d'une luminosité aussi extrême sont rares en dehors des noyaux galactiques et peuvent servir pour identifier les IMBH insaisissables. Elles sont un chaînon manquant entre les trous noirs de masse stellaire et les trous noirs supermassifs.

Les rayons X émis par NGC 6099 HLX-1 ont une température de 3 millions de degrés, ce qui correspond à un événement de disruption par marée. Hubble a trouvé des preuves de l'existence d'un petit amas d'étoiles autour du trou noir. Cet amas fournirait au trou noir une abondante source de nourriture, car les étoiles y sont très serrées, à quelques mois-lumière seulement les unes des autres.

Le trou noir intermédiaire présumé a atteint sa luminosité maximale en 2012, puis a continué à décliner jusqu'en 2023. Les observations optiques et X menées dans cette période ne se chevauchent pas, ce qui complique l'interprétation. Le trou noir a peut-être déchiré une étoile capturée, créant un disque de plasma variable, ou bien il a peut-être formé un disque qui scintille lorsque le gaz plonge vers le trou noir.

Si l'IMBH est en train de dévorer une étoile, combien de temps lui faut-il pour avaler le gaz de cette étoile? En 2009, HLX-1 était assez brillante. Puis, en 2012, elle l'était 100 fois plus. Ensuite, elle a de nouveau perdu de son éclat. S'agit-il d'un parmi plusieurs

sursauts? L'objet va-t-il maintenant diminuer progressivement et disparaître?

L'IMBH se trouve à 40 000 années-lumière du centre de la galaxie NGC 6099 où se cache probablement un trou noir supermassif, qui est actuellement inactif.

L'étude des IMBH peut révéler comment se forment les trous noirs supermassifs. Il existe deux théories alternatives. La première est que les IMBH sont les germes de la formation par fusion de trous noirs plus grands, car les galaxies grandissent en absorbant des galaxies plus petites. Les observations du télescope Hubble ont mis en évidence une relation proportionnelle : plus la galaxie est massive, plus le trou noir est grand. Cette nouvelle découverte laisse entrevoir que les galaxies pourraient avoir des IMBH satellites qui orbitent dans le halo d'une galaxie, sans tomber nécessairement vers le centre.

Selon une autre hypothèse, les nuages de gaz situés au centre des halos de matière noire dans l'univers primitif ne forment pas d'abord des étoiles, mais s'effondrent directement pour former un trou noir supermassif. La découverte par le télescope spatial James Webb de trous noirs très lointains dont la masse est disproportionnée par rapport à leur galaxie hôte tend à corroborer cette hypothèse.

Cependant, il pourrait y avoir un biais observationnel en faveur de la détection de trous noirs extrêmement massifs dans l'univers lointain, car ceux de petite taille sont trop faibles pour être visibles. En réalité, il pourrait y avoir plus de diversité dans la façon dont l'Univers construit les trous noirs. Les trous noirs supermassifs qui s'effondrent à l'intérieur des halos de matière noire pourraient simplement croître d'une manière différente de ceux qui vivent dans les galaxies naines, où l'accrétion des trous noirs serait le mécanisme de croissance privilégié.

De futures détections pourraient permettre une étude statistique. On pourrait savoir combien il y a de ces IMBH, à quelle fréquence ils perturbent une étoile, et comment les galaxies plus grandes se sont développées en assemblant des galaxies plus petites.

Chandra et XMM-Newton n'observent qu'une petite partie du ciel, et ne détectent donc pas souvent de nouveaux événements de disruption par marée. Le nouvel observatoire Vera C. Rubin, avec un télescope de surveillance de tout le ciel, pourrait détecter ces événements dans le domaine optique jusqu'à des centaines de millions d'années-lumière. (voir p. 427)

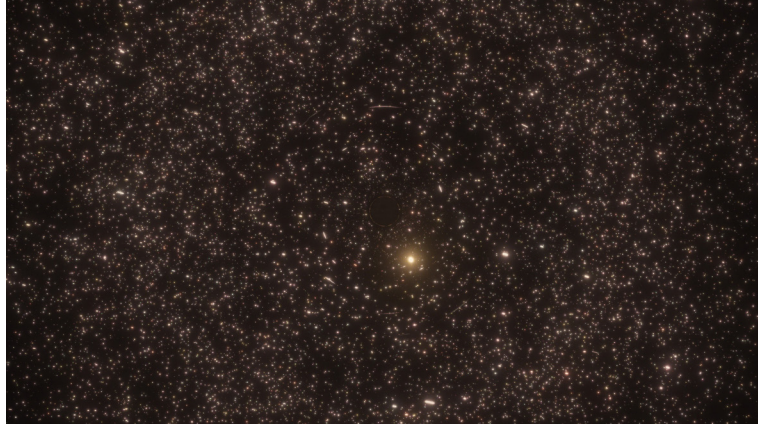


Illustration d'un trou noir déchirant une étoile au cœur d'un amas. (NASA, ESA, R. Crawford/STScI)



Disques, disques...

Basé sur un communiqué Webb

Les galaxies à disque, comme la Voie lactée, sont généralement constituées d'un disque stellaire épais et d'un disque mince, chacun présentant des caractéristiques différentes, notamment en termes de population et de mouvement stellaires. Par exemple, le disque épais de notre galaxie, la Voie lactée, mesure 3 000 années-lumière d'épaisseur contre 1 000 pour le disque mince.

Des astronomes ont récemment étudié la structure de ces galaxies en analysant des images prises par le télescope spatial James Webb. L'échantillon comprenait 111 galaxies à disque vues par la tranche et jusqu'à des distances correspondant à un passé de 11 milliards d'années. Cette analyse concorde avec l'idée que le disque stellaire épais se forme en premier, suivi par le disque stellaire fin à un moment dépendant de la masse de la galaxie. Les galaxies massives à disque unique ont évolué vers des structures à deux disques il y a environ 8 milliards d'années. En revanche, les galaxies peu massives, à disque unique, ont formé leurs disques minces plus tard, il y a environ 4 milliards d'années.

Habituellement, les étoiles les plus anciennes du disque épais sont peu lumineuses, tandis que les étoiles jeunes du disque mince surpassent en brillance la galaxie entière. Grâce à la résolution de Webb et à sa capacité unique de voir à travers la poussière et de mettre en évidence les étoiles vieilles, peu lumineuses, on a pu identifier la structure à deux disques des galaxies et mesurer leur épaisseur séparément.

Pour expliquer cette transition d'un disque unique et épais à un disque épais et un mince, l'équipe a étendu ses recherches et examiné des données montrant les mouvements du gaz, obtenues entre autres avec ALMA.

En prenant en compte le mouvement des disques gazeux, les chercheurs ont constaté que les résultats concordent avec le scénario dit du gaz turbulent, l'une des trois principales hypothèses avancées pour expliquer le processus de formation des disques épais et

minces. Dans ce scénario, un disque de gaz turbulent dans l'univers primordial déclenche une intense formation d'étoiles, formant un disque stellaire épais. À mesure que les étoiles se forment, elles stabilisent le disque de gaz, qui devient plus calme et plus fin.

Comme les galaxies massives peuvent convertir le gaz en étoiles plus efficacement, elles se stabilisent plus tôt que leurs homologues de faible masse, ce qui entraîne la formation précoce d'un disque mince. Le disque épais continue de croître à mesure que la galaxie se développe, bien que sa croissance soit plus lente que celle du disque mince.

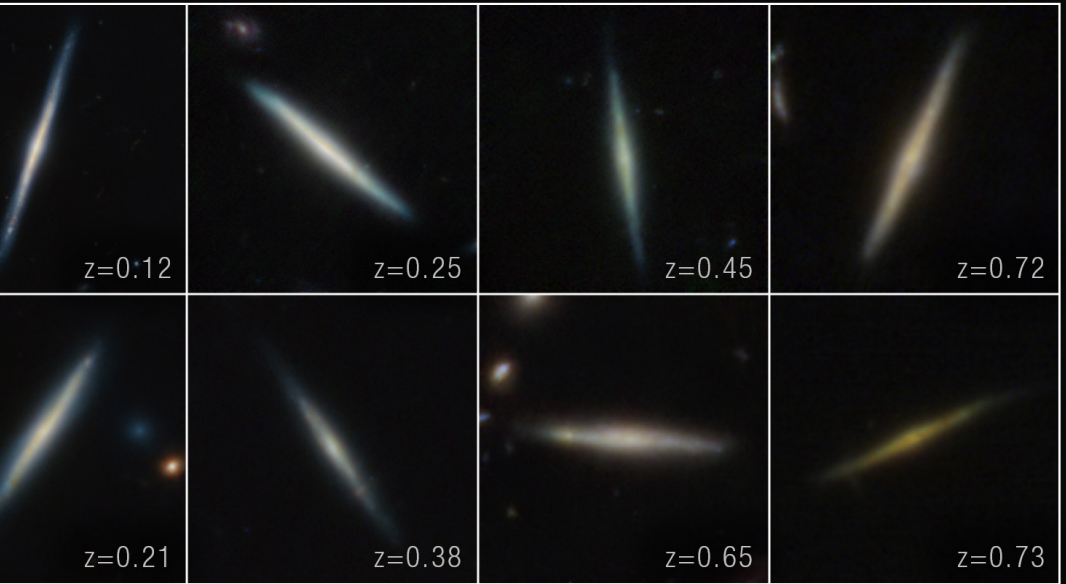
La sensibilité de Webb permet aux astronomes d'observer des galaxies analogues à la nôtre à des époques très anciennes et avec une clarté inégalée. Dans cette étude, l'équipe a constaté que la période de transition d'un disque épais à un disque épais et un mince coïncide approximativement avec la formation du disque mince de la Voie lactée. Grâce à Webb, les astronomes pourront approfondir l'étude des progéniteurs de galaxies du type de la nôtre, et contribuer à expliquer l'histoire de la formation de la Voie lactée.

*Images NIRCam d'un échantillon de galaxies à disque vues par la tranche. Les galaxies avec disques mince et épais sont globalement plus blanches et plus brillantes que celles ne montrant qu'un disque épais.
(NASA, ESA, ASC, STScI, Takafumi Tsukui/ANU)*

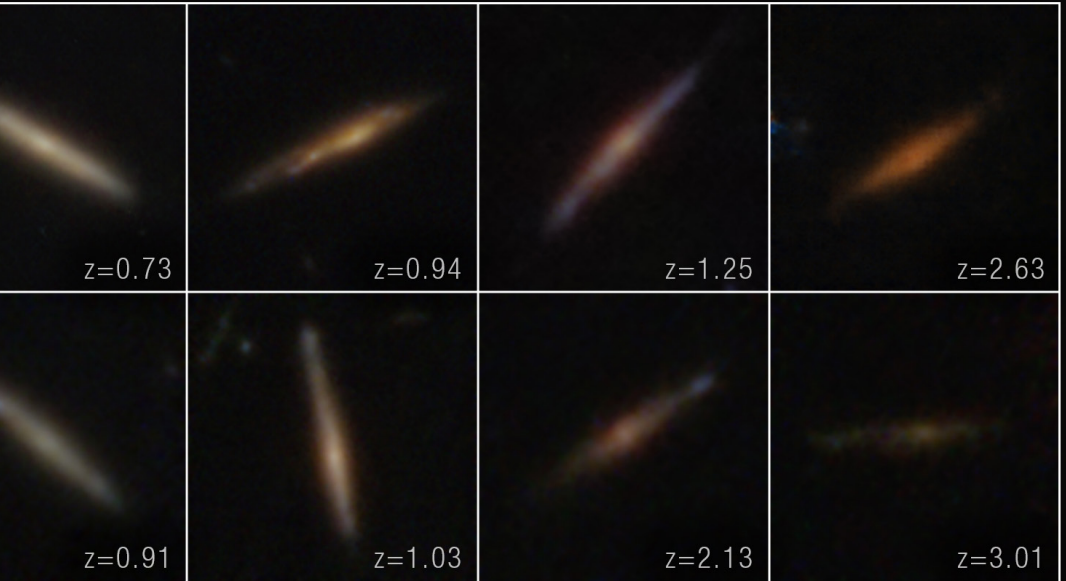
thin ar

thick o

and thick disk galaxies



disk only galaxies



Andromède XXXV

Basé sur un communiqué University of Michigan

Les astronomes ont découvert le plus petit satellite de la galaxie d'Andromède connu à ce jour. Cette galaxie naine, nommée Andromède XXXV et située à environ 3 millions d'années-lumière, oblige les astronomes à repenser la façon dont les galaxies évoluent dans différents environnements cosmiques.

Notre système, la Voie lactée, abrite également des dizaines de ces galaxies compagnes, ce qui explique pourquoi leur histoire est encore en cours d'écriture. Étant beaucoup plus petites, ces galaxies satellites sont difficiles à repérer. Ce n'est qu'au cours des deux dernières décennies que les astronomes ont acquis une technologie suffisamment efficace pour découvrir la plupart des satellites connus de la Voie lactée. Il est actuellement impossible pour les observateurs de repérer des satellites extrêmement faibles en orbite autour d'hôtes plus lointains qu'Andromède.

En raison de leur proximité, les satellites de la Voie lactée ont été notre seule source d'informations sur ces minuscules galaxies. Bien que les scientifiques aient déjà découvert des satellites d'Andromède, ces galaxies étaient trop grandes et trop brillantes pour remettre en question les connaissances acquises grâce à la Voie lactée.

Pour découvrir Andromède XXXV, il a fallu étudier d'énormes ensembles de données d'observation à la recherche de signes de compagnons potentiels. Après avoir dressé une liste de candidats prometteurs, les astronomes se sont tournés vers le télescope spatial Hubble pour les examiner de plus près. Ils ont découvert que, non seulement Andromède XXXV était une galaxie satellite, mais qu'elle était suffisamment petite pour remettre en cause certaines de nos notions sur la façon dont les galaxies évoluent, comme la durée pendant laquelle elles sont capables de former des étoiles.

La plupart des satellites de la Voie lactée ont des populations d'étoiles très anciennes. Ils



Image en fausses couleurs prise avec le télescope Canada-France-Hawaï (TCFH) du champ d'Andromède XXXV, la galaxie satellite la plus faible et la plus petite connue du système d'Andromède. L'ellipse dans l'encart indique l'endroit où cette galaxie compagne a été découverte. (CFHT/MegaCam/PAndAS, A.W. McConnachie ; M. Arias)

ont cessé de former des étoiles il y a environ 10 milliards d'années. Par contre, les satellites d'Andromède formaient encore des étoiles il y a quelque 6 milliards d'années.

Qu'une galaxie soit immense ou minuscule, elle a besoin d'une réserve de gaz pour se condenser en étoiles. Lorsque ce gaz disparaît, la formation d'étoiles s'arrête. On peut naturellement se demander si cette fin survenue lorsque les réserves de gaz d'une galaxie s'épuisent d'elles-mêmes ou avec l'aide de la galaxie hôte.

Pour les satellites de la Voie lactée, l'extinction rapide plaide pour l'absence d'intervention extérieure. La formation d'étoiles étant plus longue chez les petits compagnons d'Andromède, il semble que ce soit la seconde option qu'il faille retenir.

L'Univers était initialement très chaud et très dense mais, après un milliard d'années, il s'était dilaté et refroidi jusqu'à atteindre une température suffisamment basse pour favoriser la condensation du gaz en étoiles et en galaxies. À mesure que ces étoiles produisaient de l'énergie et que des trous noirs se formaient et engloutissaient de la matière, l'Univers s'est à nouveau fortement réchauffé. Pour les petites galaxies – celles dont la masse est inférieure à environ 100 000 soleils –, on pensait que cela sonnait le glas de la formation d'étoiles.

Andromède XXXV aurait donc dû perdre complètement son gaz, mais visiblement ce ne fut pas le cas et cette petite galaxie de 20 000 masses solaires a formé des étoiles sans problème pendant quelques milliards d'années supplémentaires.

Les astronomes comptent sur de futures missions spatiales pour découvrir davantage de galaxies satellites et résoudre ce problème au cours des prochaines années. En attendant ils auront constaté, une fois de plus, que les choses sont toujours plus compliquées que prévu.

Carte à grand champ montrant la galaxie d'Andromède M31 et ses satellites. La galaxie compagne Andromède XXXV, récemment découverte, est indiquée en rouge.

(JM Arias et al. Astrophys. J. Lett. (2025) DOI : 10.3847/2041-8213/adb433. CC-BY)

