



L'astronomie dans le monde

Anciens quasars

Basé sur un communiqué ASTRO 3D

Les astrophysiciens ont apporté un nouvel éclairage sur l'état de l'Univers il y a 13 milliards d'années, en mesurant la densité de carbone dans le gaz entourant les anciennes galaxies. Ils ont constaté que la fraction de carbone dans le gaz chaud a augmenté d'un facteur cinq sur une période de seulement 300 millions d'années – un clin d'œil à l'échelle astronomique. Cette évolution peut être liée au réchauffement du gaz associé à l'époque de réionisation.

Des études antérieures avaient déjà suggéré une augmentation du carbone chaud, mais des échantillons beaucoup plus grands – la base de la nouvelle étude – étaient nécessaires pour fournir des statistiques permettant de mesurer avec précision le taux de cette croissance.

Les astronomes donnent plusieurs interprétations possibles de cette évolution rapide. La première est qu'il y a une augmentation initiale du carbone autour des galaxies simplement parce qu'il y a plus de carbone dans l'Univers.

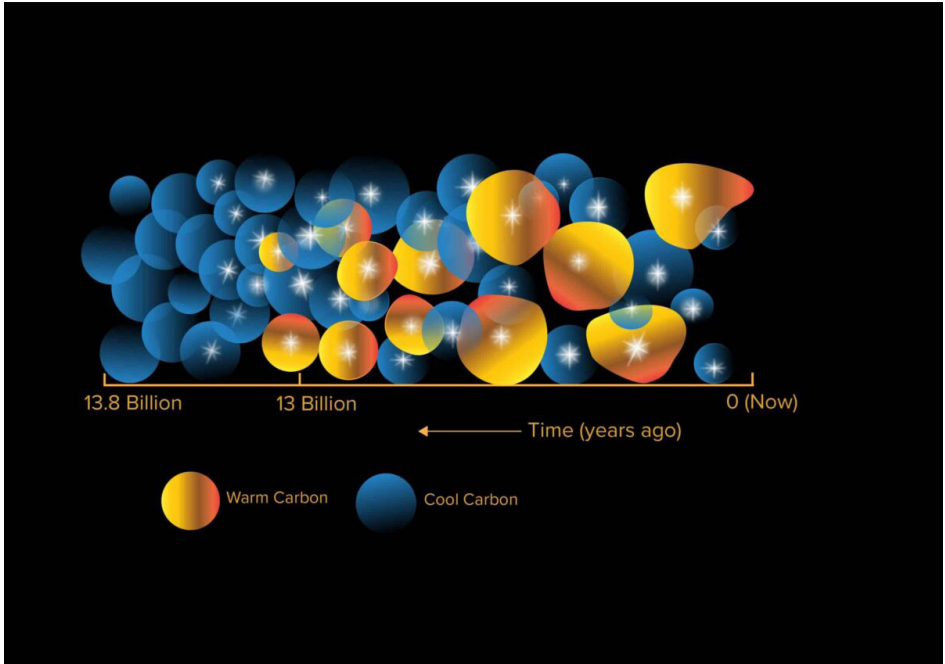
Vue d'artiste de ULAS J1120+0641, un quasar très lointain alimenté par un trou noir supermassif d'une masse deux milliards de fois celle du Soleil. (ESO/M. Kornmesser)

Pendant la période où les premières étoiles et galaxies se forment, beaucoup d'éléments lourds sont produits par les premières générations. Il n'y avait jamais eu de carbone avant d'avoir des étoiles.

Cependant, l'étude a également trouvé que la quantité de carbone froid avait probablement diminué au cours de la même période. Cela suggère qu'il pourrait y avoir deux phases différentes dans l'évolution du carbone – une augmentation rapide pendant la réionisation, suivie d'une stabilisation.

Avant la réionisation, l'Univers était un brouillard de gaz sombre et dense. Mais lorsque les premières étoiles massives se sont formées, leur lumière a commencé à briller dans l'espace et à ioniser le cosmos. Cette lumière peut avoir conduit à un échauffement rapide du gaz environnant, provoquant l'augmentation du carbone chaud observée dans cette étude.

Les nouveaux résultats sont cohérents avec des travaux récents montrant que la



quantité d'hydrogène neutre dans l'espace intergalactique diminue rapidement à peu près à la même époque.

Les études de la réionisation sont essentielles pour comprendre quand et comment les premières étoiles se sont formées et ont commencé à produire les éléments qui existent aujourd'hui. Mais les mesures ont été notablement difficiles.

Les nouveaux résultats sont issus d'un échantillon exceptionnel de données obtenues au cours de 250 heures d'observations sur certains des quasars les plus éloignés, avec le spectrographe X-shooter du VLT de l'ESO.

Alors que la lumière du quasar traverse les galaxies au cours de son voyage de 13 milliards d'années à travers l'Univers, certains photons sont absorbés, donnant des spectres caractéristiques qui peuvent être analysés pour déterminer la composition chimique et la température du gaz dans les galaxies. Le nombre de quasars pour lesquels on dispose de données de haute qualité est ainsi passé de 12

Dans l'Univers jeune, le carbone froid a progressivement laissé la place au carbone chaud autour des quasars. (Davies et al.)

à 42, permettant enfin une mesure détaillée et précise de l'évolution de la densité de carbone.

L'ensemble de données utilisées dans ce travail ne pourra guère être amélioré tant que les télescopes de la classe des 30 mètres ne seront pas en opération, soit à la fin de cette décennie. Des données de haute qualité provenant d'encore plus loin dans l'Univers nécessiteront en effet l'accès à des télescopes comme l'ELT (Extremely Large Telescope) actuellement en construction au Chili. Cette recherche ouvre également la voie à de futures investigations avec le Square Kilometre Array (SKA), qui vise à détecter directement les émissions d'hydrogène neutre au cours de cette phase clé de l'histoire de l'Univers.

3C 297

Basé sur un communiqué NASA/Chandra

La galaxie 3C 297 semble bien isolée malgré qu'elle ait toutes les apparences d'une grande galaxie d'amas. Sans doute a-t-elle absorbé d'anciennes galaxies compagnes. 3C 297 est située à environ 9,2 milliards d'années-lumière de la Terre. Elle abrite un quasar, c'est-à-dire un trou noir supermassif attirant du gaz au centre de la galaxie et émettant de violents jets de matière que l'on peut observer dans les ondes radio. Ce résultat obtenu avec l'observatoire à rayons X Chandra de la NASA et l'observatoire international Gemini semble à nouveau indiquer aux astronomes que les galaxies se développent dans l'Univers primitif bien plus vite qu'ils ne le pensaient.

De fait, à plusieurs égards, 3C 297 a les qualités d'un amas de galaxies, une structure gigantesque qui contient des centaines, voire des milliers de galaxies individuelles. Les données X obtenues par le télescope spatial Chandra révèlent de grandes quantités de gaz chauffé à des millions de degrés – une caractéristique d'un amas de galaxies. Les astronomes ont également trouvé un jet provenant du quasar grâce à l'interféromètre radio Karl G. Jansky Very Large Array. Ce jet est infléchi suite à l'interaction avec son environnement. Enfin, les données de Chandra montrent que l'autre jet du quasar a heurté le gaz qui l'entoure, créant un « point chaud » émettant en abondance des rayons X.

Ce sont là typiquement des caractéristiques d'un amas de galaxies. Pourtant, les données de l'observatoire Gemini montrent qu'il n'y a qu'une seule galaxie en 3C 297. Les dix-neuf galaxies qui apparaissent proches de 3C 297 dans des images Gemini à plus grand champ n'ont aucun lien avec elle et se trouvent en fait à des distances très différentes.

Dans cette nouvelle image composite (p. 428), les données Chandra sont colorées en violet, les données VLA en rouge et les données Gemini en vert. Les données en lumière

visible et infrarouge du télescope spatial Hubble (bleu et orange respectivement) ont également été incluses.

La galaxie solitaire (3C 297) et la position de son trou noir supermassif sont identifiées, ainsi que les jets du trou noir, le point chaud des rayons X et le gaz chaud. Le champ de cette image est de 24 secondes d'arc, ce qui correspond à 670 000 années-lumière à la distance de l'objet. Ce champ est trop petit pour montrer les dix-neuf galaxies mentionnées ci-dessus.

Une hypothèse pour expliquer la solitude de 3C 297 est que l'attraction gravitationnelle de la plus grande galaxie, combinée à leurs interactions, aurait provoqué la chute de galaxies voisines, et leur absorption par la galaxie principale.

Les chercheurs pensent que 3C 297 est très probablement un « groupe fossile » au lieu d'un amas de galaxies, une étape de l'évolution galactique où une galaxie se rapproche et fusionne avec d'autres. Si tel est le cas, 3C 297 représente le groupe fossile le plus éloigné jamais trouvé.

Les astronomes ne peuvent pas exclure la présence de galaxies naines autour de 3C 297, mais cela n'expliquerait toujours pas l'absence de galaxies plus grandes comme la Voie lactée. Parmi les exemples proches de groupe fossile, il y a la célèbre galaxie elliptique géante M87 dans l'amas de la Vierge, qui a eu de grandes compagnes galactiques pendant des milliards d'années. Cependant, 3C 297 quant à elle, passera des milliards d'années essentiellement seule.

Des observations antérieures de Chandra d'une durée totale de seulement trois heures avaient montré des indices de gaz chaud, comme ceux constatés dans la présente étude. Les nouvelles observations, beaucoup plus profondes, de Chandra ont été nécessaires pour le confirmer. Elles ont été cumulées sur une durée totale de 2,5 jours en avril et août 2021 et 2022.

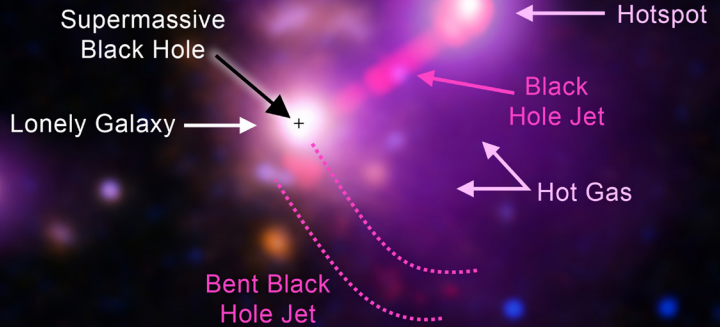


Image composite de 3C 297, une galaxie solitaire contenant un trou noir supermassif, deux jets et un point chaud de rayons X, le tout entouré de gaz chauds.

Le gaz chaud qui emplit une grande partie du champ apparaît en violet. La galaxie est le disque nébuleux autour d'un noyau blanc. Une croix marque l'emplacement du trou noir supermassif au cœur de la galaxie. Le trou noir attire le gaz vers l'intérieur et expulse de puissants jets de matière. L'un de ces jets, en rouge, part du noyau vers la droite. À son extrémité se trouve un deuxième point brillant. C'est le point chaud des rayons X, où la matière du jet s'écrase dans le nuage de gaz.

Un deuxième jet émerge du bas du disque central et se courbe doucement vers le bas à droite. Ce jet est vu comme une succession de faibles taches rouges. Les interactions avec son environnement sont probablement à l'origine de la courbure du jet.

Tous ces éléments, la galaxie, le trou noir, les jets et le point chaud, sont entourés par le nuage de gaz. Les données de rayons X de Chandra suggèrent que ce gaz est présent en très grandes quantités et est chauffé à des millions de degrés.

(NASA/CXC/Univ. of Torino/V. Missaglia et al. ; NASA/ESA/STScI & International Gemini Observatory/NOIRLab/NSF/AURA ; NASA/ESA/STScI ; NRAO/AUI/NSF)

WR 124, future supernova

Basé sur un communiqué NASA/JPL

Les étoiles massives parcourent leur cycle de vie à toute allure. Certaines d'entre elles passent par une brève phase de « Wolf-Rayet » avant d'exploser en supernova, ce qui rend les observations détaillées de tels épisodes très précieuses pour les astronomes. Pendant la phase Wolf-Rayet, les étoiles se débarrassent progressivement de leurs couches externes. Elles s'entourent ainsi de halos caractéristiques de gaz et de poussière.

L'image détaillée de WR 124 montrée ici a été obtenue par le télescope spatial Webb (JWST). Elle fige pour toujours une brève et turbulente période de transformation et promet de futures découvertes qui révéleront les mystères de la poussière cosmique.

L'étoile massive et lumineuse WR 124 a été photographiée par le télescope spatial JWST dans l'infrarouge proche et moyen. Des bouffées de gaz et de poussière apparaissent comme des têtards nageant vers l'étoile avec des queues traînant derrière eux, repoussées par le vent stellaire. La nébuleuse s'étend sur environ 10 années-lumière de diamètre. (NASA, ESA, CSA, STScI, Webb ERO Production Team)



WR 124 est distante de 15 000 années-lumière, dans le Sagittaire. Elle a 30 fois la masse du Soleil et a déjà perdu jusqu'à présent l'équivalent de 10 masses solaires de matière. Une fois éjecté, le gaz se refroidit et forme de la poussière en se condensant. Cette poussière émet dans les longueurs d'onde infrarouges détectables par le JWST.

L'origine de la poussière cosmique qui peut survivre à une explosion de supernova et contribuer au « budget » de poussière de l'Univers est d'un grand intérêt pour les astronomes pour de multiples raisons. La poussière fait partie intégrante du fonctionnement de l'Univers. Les nuages denses abritent des étoiles et des planètes en formation. La surface des grains de poussière constitue un support favorable à la formation de molécules – y compris des éléments constitutifs de la vie.

L'Univers semble fonctionner avec un surplus de poussière. Il contient plus de poussière que ce que prédisent les théories actuelles des astronomes. Celles-ci doivent donc être peaufinées et de nouvelles observations s'imposent.

Le JWST ouvre de nouvelles possibilités pour étudier les détails de la poussière cosmique, qui est plus facilement observée

dans les longueurs d'onde infrarouges. La caméra proche infrarouge de Webb (NIRCam) montre clairement à la fois le noyau stellaire de WR 124 et les détails des nébulosités qui l'entourent. L'instrument MIRI, fonctionnant dans l'infrarouge moyen, révèle quant à lui la structure grumeleuse des nuages de gaz et de poussière éjectés par l'étoile.

Avant le JWST, les astronomes n'avaient tout simplement pas suffisamment d'informations détaillées pour explorer les mécanismes de production de poussière dans des environnements comme WR 124, ni pour savoir si les grains de poussière étaient suffisamment gros et abondants pour survivre à l'explosion de la supernova et apporter une contribution significative au budget global de la poussière. Maintenant, ces questions peuvent être étudiées avec des données réelles.

Des étoiles comme WR 124 servent également d'analogues pour aider les astronomes à comprendre une période cruciale de l'histoire primitive de l'Univers. Ce sont des étoiles mourantes de ce type qui ont semé dans l'Univers jeune les premiers éléments lourds forgés dans leurs noyaux – des éléments qui sont maintenant abondants presque partout.



La poussière cosmique brille aux longueurs d'onde infrarouges moyennes dans cette image de WR 124 capturée par l'instrument infrarouge moyen du JWST. La nébuleuse est constituée de matériaux rejetés par l'étoile vieillissante lors d'éjections aléatoires et de poussières produites par la turbulence qui s'ensuit. (NASA, ESA, CSA, STScI, Webb ERO Production Team)

Une nouvelle population de trous noirs

Basé sur un communiqué ESA

La mission Gaia de l'ESA a permis la découverte des deux trous noirs les plus proches de nous. Gaia BH1 et Gaia BH2, sont respectivement situés à 1 560 années-lumière dans la direction de la constellation d'Ophiuchus et à 3 800 années-lumière dans le Centaure. En termes galactiques, ces trous noirs résident dans notre arrière-cour cosmique.

Les deux trous noirs ont été découverts en étudiant le mouvement de leurs étoiles compagnes, une oscillation périodique indiquant qu'elles sont en orbite autour d'un objet très massif. Dans les deux cas, les objets sont environ dix fois plus massifs que le Soleil. Comme ils n'émettent pas de lumière, on peut écarter l'idée qu'il s'agisse d'étoiles.

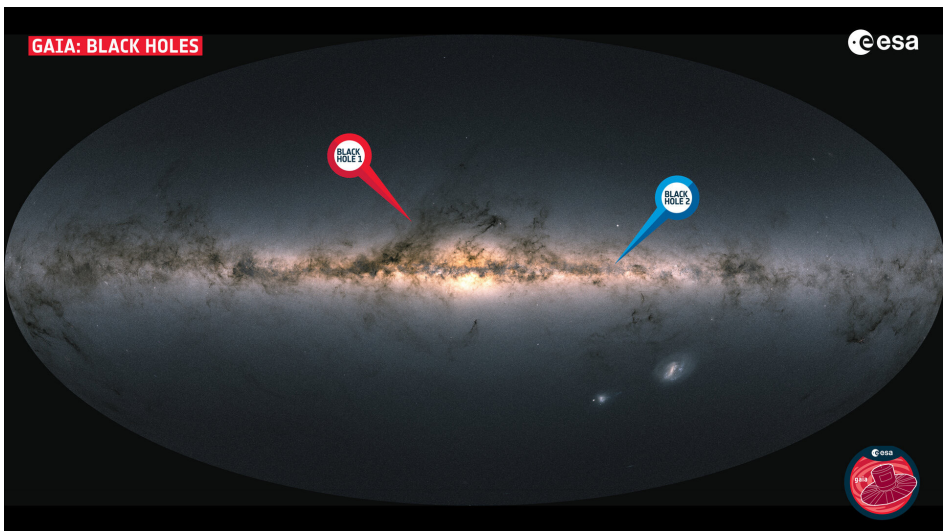
Les trous noirs découverts jusqu'ici l'étaient par une émission de lumière, généralement aux longueurs d'onde X et radio, produite par la chute de matière dans leur intense champ de gravitation. Les nouveaux trous noirs sont vraiment noirs. Ainsi, l'observatoire X Chandra et le radiotélescope sud-africain MeerKAT ont cherché en vain la lumière de

BH2. Ces trous noirs ne peuvent être détectés que par leurs effets gravitationnels. C'est ce qui a été fait grâce à Gaia qui mesure avec précision les positions et les mouvements de milliards d'étoiles. Ces mouvements trahissent la présence d'objets qui influencent gravitationnellement les étoiles. Ce peut être d'autres étoiles, des exoplanètes mais aussi des trous noirs.

Gaia a fourni des mesures précises du mouvement dans trois directions, mais pour bien comprendre comment les étoiles s'éloignaient et se rapprochaient de nous, des mesures supplémentaires de vitesse radiale étaient nécessaires. Les observatoires au sol les ont fournies pour les trous noirs nouvellement découverts, ce qui a donné le dernier indice pour conclure que les astronomes avaient détecté des trous noirs.

Position dans la Voie lactée des deux premiers trous noirs découverts par la mission Gaia. Cette carte de notre galaxie a également été réalisée par Gaia.

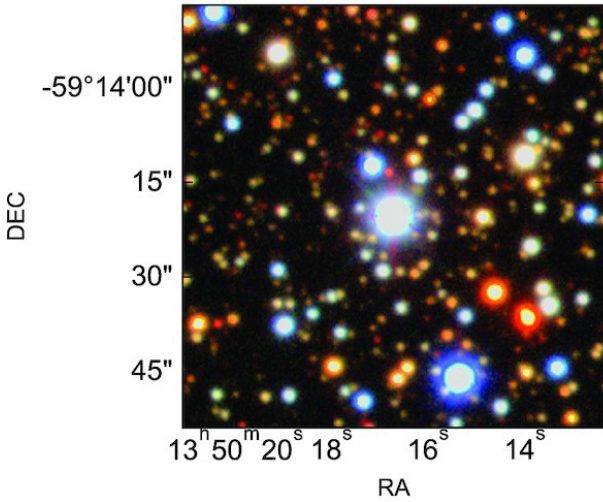
(ESA/Gaia/DPAC ; CC BY-SA 3.0 IGO, CC BY-SA 3.0 IGO)



Les couples BH1 et BH2 sont nettement moins serrés que les autres systèmes connus de trous noirs qui ont tendance à être très brillants dans les rayons X (on les dénomme d'ailleurs des binaires X) et en ondes radio, ils sont donc plus faciles à trouver. La difficulté de détection ainsi que la proximité des deux trous noirs

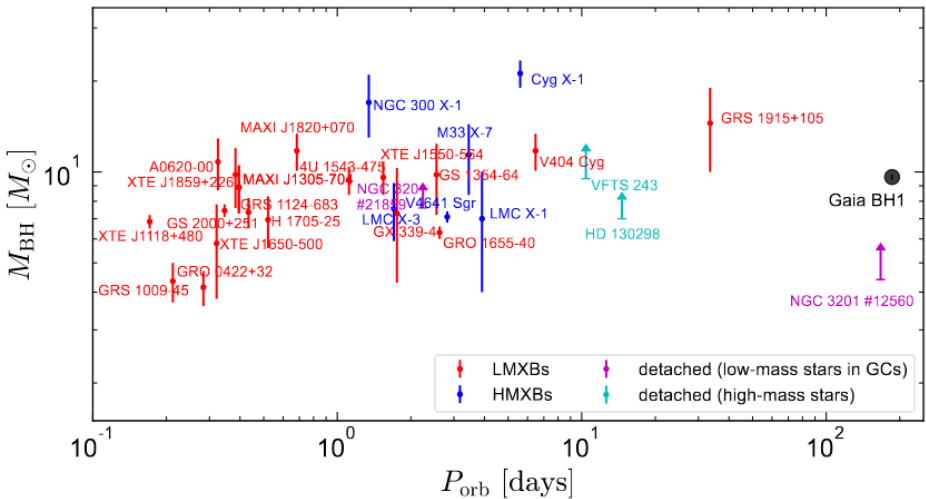
Gaia suggèrent que de tels objets dans des binaires écartées sont plus communs qu'on ne le pensait.

Ces trous noirs ont probablement une histoire de formation complètement différente de celle des binaires X.



◀ *Champ de 1,1 minute d'arc en grz-band venant de survey DECaPS. et montrant au centre la source saturée Gaia BH2.*
(El badry et al., 2023)

▼ *Comparison des masses et périodes orbitales de trous noirs de masse stellaire.*
(El-Badry et al., 2022)



IC 348

Basé sur un communiqué Instituto de Astrofísica de Canarias

En se basant sur les données du télescope spatial Spitzer, les scientifiques ont découvert la présence de nombreuses molécules prébiotiques dans la région de formation d'étoiles IC 348 du nuage moléculaire de Persée, un amas stellaire jeune, âgé seulement de 2 à 3 millions d'années.

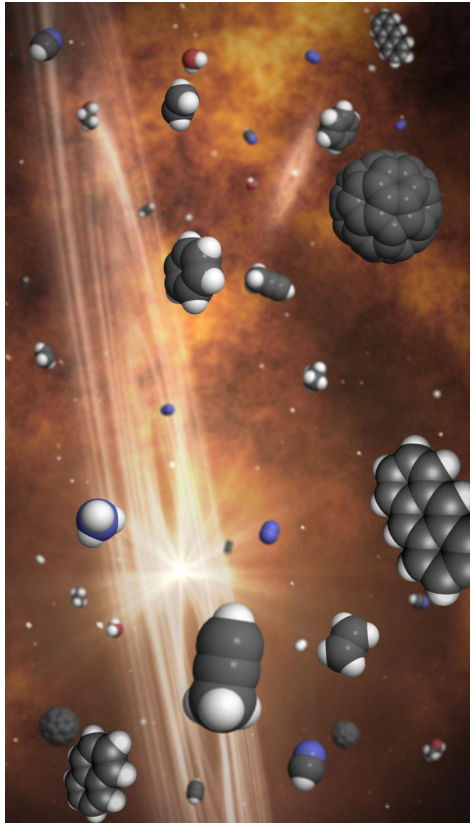
Certaines de ces molécules biologiques sont considérées comme des briques essentielles à la construction de molécules plus complexes telles que les acides aminés, qui formaient le code génétique d'anciens micro-organismes et ont permis l'épanouissement de la vie sur Terre. Connaître la distribution et l'abondance de ces molécules précurseurs dans les régions où les planètes sont probablement en train de se former est un enjeu important pour l'astrophysique.

Le nuage de Persée est l'une des régions de formation d'étoiles les plus proches du Système solaire. Beaucoup de ses étoiles sont jeunes et sont entourées de disques protoplanétaires. Cela en fait un laboratoire extraordinaire de chimie organique où l'on avait trouvé en 2019 des fullerènes, des molécules complexes de carbone pur qui servent souvent de blocs de construction pour des molécules clés de la vie.

Les dernières recherches concernent la partie interne de cette région et livrent des molécules communes telles que l'hydrogène moléculaire, le radical hydroxyle OH, l'eau, le dioxyde de carbone et l'ammoniac. On y a trouvé également plusieurs molécules porteuses de carbone qui pourraient jouer un rôle important dans la production d'hydrocarbures plus complexes et de molécules prébiotiques, comme le cyanure d'hydrogène (HCN), l'acétylène (C_2H_2), le diacétylène (C_4H_2), le

cyanoacétylène (HC_3N), le cyanobutadiène (HC_5N), l'éthane (C_2H_6), l'hexatriène (C_6H_2) ou encore le benzène (C_6H_6). Les données montrent également la présence de plus grosses molécules telles que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les fullerènes C_{60} et C_{70} .

Ces molécules sont vues dans le gaz diffus à partir desquelles se forment les étoiles et les disques protoplanétaires. La présence de molécules prébiotiques dans des sites interstellaires si proches d'amas stellaires suggère que des processus d'accrétion peuvent se produire sur des planètes jeunes, ce qui pourrait contribuer à la formation de molécules organiques complexes et ouvrir la voie aux molécules du vivant.



*Vue d'artiste de la soupe de molécules prébiotiques autour d'un disque protoplanétaire.
(Gabriel Pérez Díaz, IAC)*

Anniversaire du JWST

Basé sur un communiqué Webb/NASA

Le télescope spatial JWST tient la promesse de révéler l'Univers comme jamais auparavant. Pour célébrer sa première année, la NASA a publié l'image Webb d'une petite région de formation d'étoiles dans le complexe nuageux de Rho Ophiuchi, la région de formation d'étoiles la plus proche de nous, distante de 390 années-lumière.

L'image montre une région contenant une cinquantaine d'étoiles jeunes, souvent de la taille du Soleil, ou plus petites. Les zones les plus sombres sont d'épais cocons de poussière qui forment des étoiles. Des jets bipolaires d'hydrogène moléculaire, vus en rouge, dominent l'image. Ils sont produits lorsqu'une nouvelle étoile perce sa coquille de poussière.

Dans la partie inférieure de l'image on voit le nuage de poussière sculpté par la seule étoile nettement plus massive que le Soleil.

Certaines étoiles montrent des ombres révélatrices de disques protoplanétaires – de futurs systèmes planétaires.

Au-delà des superbes images, ce qui enthousiasme les scientifiques, ce sont les spectres du JWST. Ils ont permis de confirmer la distance de certaines des galaxies les plus éloignées jamais observées et de découvrir les trous noirs supermassifs les plus lointains. Ils ont conduit à identifier la composition des atmosphères planétaires avec plus de détails. Les spectres ont également révélé la composition chimique des pépinières stellaires et des disques protoplanétaires, en détectant l'eau et des composés organiques.

En comparant les abondances chimiques dans le Système solaire avec celles de systèmes planétaires beaucoup plus jeunes, le JWST aide à accumuler des indices sur nos propres origines – comment la Terre est devenue l'endroit idéal pour la vie telle que nous la connaissons.

Et la mission de Webb ne fait que commencer – il y a tellement plus à venir.

*NASA, ESA, ASC, STScI,
Klaus Pontoppidan (STScI)*





Expansion de l'Univers

Basé sur un communiqué EPFL Lausanne

À quelle vitesse l'Univers se dilate-t-il exactement ? Depuis quelques années, la question fait débat au sein de la communauté des astrophysiciens et cosmologistes. Leurs calculs diffèrent selon qu'ils estiment le taux d'expansion cosmique en se basant sur l'écho du Big Bang (le fond diffus cosmologique) ou sur les étoiles et les galaxies de l'Univers actuel, c'est-à-dire local. C'est ce qu'on appelle la tension de Hubble.

Un élément nouveau est apporté à la discussion avec un étalonnage plus précis des céphéides – des étoiles dont la luminosité oscille périodiquement. Les céphéides sont communément utilisées en cosmologie comme outils de mesure des distances astronomiques et le nouvel étalonnage améliore considérablement la fiabilité de la méthode. En l'appliquant aux données recueillies par le télescope astrométrique Gaia, les chercheurs sont parvenus à calculer la vitesse d'expansion de l'Univers (la constante de Hubble, H_0) avec une précision inédite.

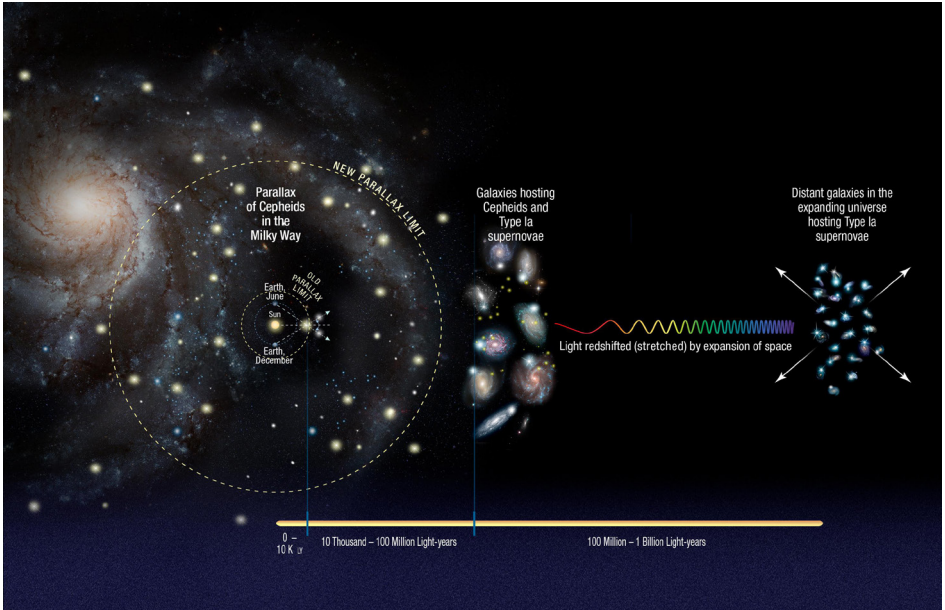
L'étude a utilisé une échelle des distances cosmiques. Fondée sur les principes de la trigonométrie, cette méthode permet des mesures par échelons. L'étalonnage absolu de la luminosité des céphéides en est le premier. Il sert ensuite de repère pour calculer la distance d'objets plus éloignés, comme les supernovæ, puissantes explosions d'étoiles en fin de vie.

Les astronomes ont recherché les céphéides appartenant à des amas stellaires composés de plusieurs centaines d'étoiles et ont regardé si elles se déplaçaient de manière coordonnée dans la Voie lactée. Grâce à cette astuce, ils ont pu tirer parti des données du satellite Gaia et des mesures de parallaxes, tout en bénéficiant du gain de précision apporté par les nombreuses étoiles membres de l'amas. Cela a permis de fournir l'étalonnage le plus robuste sur lequel appuyer l'échelle des distances.

RS Puppis, l'une des plus brillantes céphéides.

(Hubble Legacy Archive, NASA, ESA)





*L'échelle des distances cosmiques.
(NASA, ESA, A.Feild/STScI, A.Riess/
STScI/JHU)*

Grâce à cette technique, les chercheurs ont confirmé les résultats obtenus préalablement par l'équipe SH0ES (pour Supernovæ H0 for the Equation of State of dark energy) qui estiment la constante de Hubble à $73,0 \pm 1,0$ kilomètres par seconde et mégaparsec.

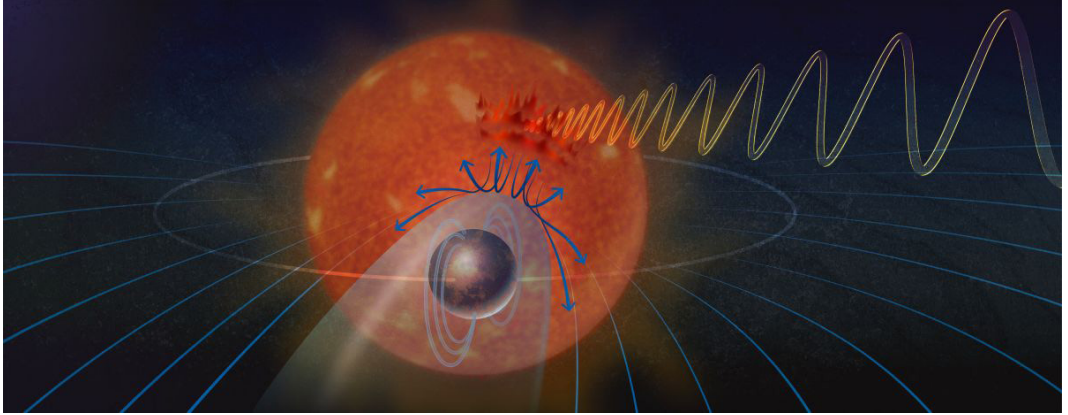
Ce n'est pas la seule méthode de calcul possible. La constante de Hubble peut également être déterminée en analysant le fond diffus cosmologique – la toute première lumière émise par l'Univers après le Big Bang, il y a plus de 13 milliards d'années – dont le satellite européen Planck a pu fournir les données les plus complètes. Avec ce procédé, les calculs donnent une vitesse d'expansion de $67,4 \pm 0,5$ km/s/Mpc.

Il existe donc une divergence de près de six kilomètres par seconde et par mégaparsec selon que l'on calcule à partir du fond diffus cosmologique (Univers primordial) ou de la méthode de l'échelle cosmique (Univers récent).

Partant du principe que les résultats des deux méthodes ont été éprouvés et sont justes, cela signifie que c'est notre compréhension de l'Univers et des lois physiques qui le régissent qui n'est pas exacte. Un enjeu de taille, qui rend donc d'autant plus cruciale l'infailibilité des méthodes employées.

Cette tension de Hubble, a de nombreuses implications. Elle remet en question certaines bases, comme ce qu'est – exactement – la nature de l'énergie noire, de l'espace-temps, de la gravitation. Elle nous oblige à revisiter des notions fondamentales, dont dépend notre compréhension générale de la physique.

L'étude offre d'autres avantages encore. La précision de ces mesures permet de mieux comprendre la géométrie de notre galaxie, la Voie lactée, mais aussi les distances des autres galaxies.



Un champ magnétique pour YZ Cet b ?

Basé sur un communiqué NSF

La recherche de mondes potentiellement habitables ou porteurs de vie dans d'autres systèmes planétaires dépend en partie de la capacité à déterminer si des exoplanètes rocheuses semblables à la Terre ont des champs magnétiques. Un champ magnétique peut empêcher l'atmosphère d'une planète de s'éroder au fil du temps sous le flot de particules crachées par son étoile, or posséder une atmosphère, paraît essentiel pour l'habitabilité. La détection par le réseau Karl G. Jansky Very Large Array d'un signal radio répétitif en provenance de l'étoile YZ Ceti distante de 12 années-lu-

*Vue d'artiste des interactions entre une exoplanète et son étoile, une naine rouge. Le plasma émis par l'étoile est dévié par le champ magnétique de l'exoplanète puis interagit avec le champ magnétique de l'étoile, entraînant une aurore sur l'étoile et l'émission d'ondes radio.
(National Science Foundation/ Alice Kitterman)*



*Le réseau radio interférométrique Karl G. Jansky Very Large Array dans sa configuration la plus compacte.
(NRAO/AUI/NSF)*

mière pourrait témoigner de la présence d'un champ magnétique chez une planète ou, plutôt, une protoplanète de taille terrestre.

Les chercheurs émettent l'hypothèse que les ondes radio stellaires qu'ils ont détectées sont générées par les interactions entre le champ magnétique de l'exoplanète et l'étoile autour de laquelle elle orbite. Des champs magnétiques ont déjà été détectés sur des exoplanètes massives de la taille de Jupiter, mais pas pour des exoplanètes de la taille de la Terre.

L'étoile naine rouge YZ Ceti et son exoplanète YZ Ceti b forment une paire idéale car l'exoplanète est si proche de l'étoile qu'elle effectue une orbite complète en seulement deux jours. La planète traverse le vent de plasma de YZ Ceti et les interactions magnétiques génèrent des ondes radio assez puissantes pour être observées depuis la Terre.

L'étude de ces ondes radio donne des informations sur l'environnement des étoiles. C'est ce que l'on appelle la météo spatiale extrasolaire.

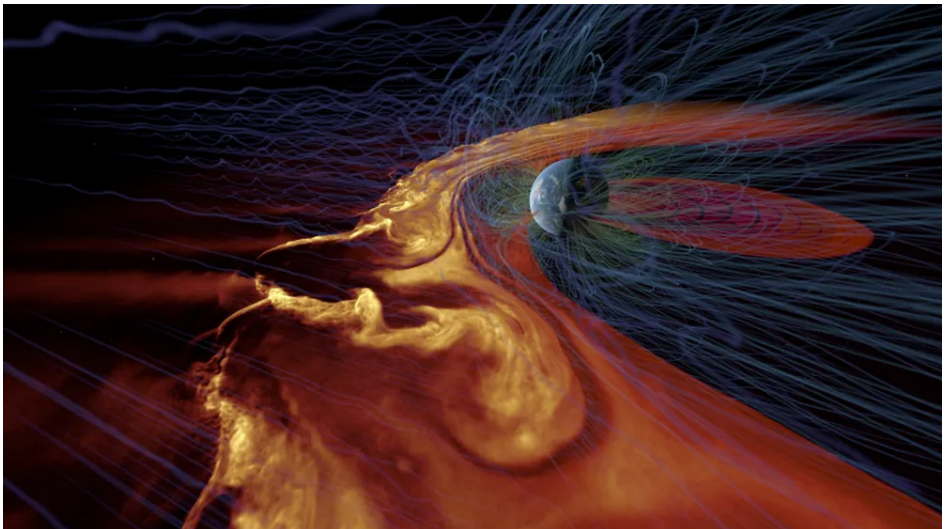
Les particules à haute énergie émises par le Soleil, parfois dans de grandes bouffées, créent une météo solaire autour de la Terre. Ces éjections peuvent perturber les télécom-

munications mondiales et court-circuiter l'électronique dans les satellites et même à la surface de la Terre.

L'interaction entre la météo solaire, le champ magnétique terrestre et l'atmosphère crée le phénomène des aurores polaires. Les interactions entre YZ Ceti b et son étoile produisent également une aurore, mais avec une différence significative : l'aurore est sur l'étoile elle-même et c'est cette aurore que l'on observe en radio. Il devrait aussi y avoir des aurores sur la planète à condition qu'elle ait sa propre atmosphère.

Si YZ Ceti b est la meilleure candidate à ce jour pour une exoplanète rocheuse avec un champ magnétique, ce n'est pas encore absolument certain. Il faudra un long suivi avant d'avoir une confirmation ferme.

Visualisation générée par ordinateur du vent solaire interagissant avec le champ magnétique terrestre lors d'une puissante tempête solaire. De grandes perturbations peuvent affecter les satellites de communication et même créer des pannes de courant à la surface de la Terre. (Advanced Visualization Lab, National Center for Supercomputing Applications, University of Illinois at Urbana-Champaign)



Cas A vue par le JWST

Basé sur un communiqué Webb

L'explosion d'une étoile est un événement spectaculaire, mais les restes laissés par l'étoile le sont tout autant. Une nouvelle image dans l'infrarouge moyen prise par le télescope spatial JWST en est un exemple étonnant. Il montre le reste de la supernova Cassiopee A, créé par une explosion stellaire il y a 340 ans.

Cas A est le plus jeune vestige connu d'une étoile massive qui explose dans notre galaxie, offrant aux astronomes l'occasion d'en savoir plus sur la façon dont ces supernovæ se produisent.

Les couleurs saisissantes de la nouvelle image Cas A, dans laquelle la lumière infrarouge est traduite en longueurs d'onde de lumière visible, contiennent une mine d'informations scientifiques que l'équipe commence tout juste à découvrir.

Parmi les questions scientifiques auxquelles Cas A peut aider à répondre, il y a : d'où vient la poussière cosmique ? Les observations ont montré que même les très jeunes galaxies de l'Univers primitif sont imprégnées de quantités massives de poussière. Il est difficile d'expliquer les origines de cette poussière sans évoquer les supernovæ, qui crachent de grandes quantités d'éléments lourds (les éléments constitutifs de la poussière) à travers l'espace.

Cependant, les observations existantes de supernovæ n'ont pas été en mesure d'expliquer de manière concluante la quantité de poussière que nous voyons dans ces premières galaxies. En étudiant Cas A avec le JWST, les astronomes espèrent mieux comprendre sa teneur en poussière, ce qui peut aider à éclairer notre compréhension de l'endroit où les éléments constitutifs des planètes et de nous-mêmes sont créés.

Cette nouvelle image utilise les données du Mid-Infrared Instrument (MIRI) du JWST pour révéler Cas A sous un nouveau jour. Ces débris d'une supernova sont situés à environ 11 000 années-lumière dans la constellation de Cassiopee et ils s'étendent sur une dizaine d'années-lumière.

À l'extérieur, sur la moitié supérieure de l'image, se trouvent des voiles orange et rouges constitués de poussière chaude. Ce sont les endroits où la matière éjectée heurte le milieu circumstellaire.

À l'intérieur de cette coque, les filaments complexes rose vif sont les débris de l'étoile, poussières et atomes d'éléments lourds tels que l'oxygène, l'argon et le néon.

Une boucle verte qui s'enroule dans la cavité centrale laisse les scientifiques perplexes.

Cette image combine différents filtres avec la couleur rouge attribuée à la longueur d'onde de 25,5 microns, l'orange-rouge à 21 microns, l'orange à 18 microns, le jaune à 12,8 microns, le vert à 11,3 microns, le cyan à 10 microns, le bleu clair à 7,7 microns et le bleu à 5,6 microns.

(NASA, ESA, ASC, Danny Milisavljevic/Purdue Univ., Tea Temim/Princeton Univ., Ilse De Looze/UGent, Joseph DePasquale/STScI)



M82 X-2

Basé sur un communiqué NASA/JPL

Les sources ultra-lumineuses de rayons X (ULX) émettent 10 millions de fois plus d'énergie que le Soleil. Elles semblent dépasser une limite physique appelée la limite d'Edington, qui est la luminosité maximale que peut avoir un objet en fonction de sa masse. Au-delà de cette valeur, la pression de radiation exercée par les photons de l'objet prend le pas sur la gravité et ses constituants sont éjectés. Les ULX paraissent franchir allégrement cette limite, et pas de peu, de 100 à 500 fois !

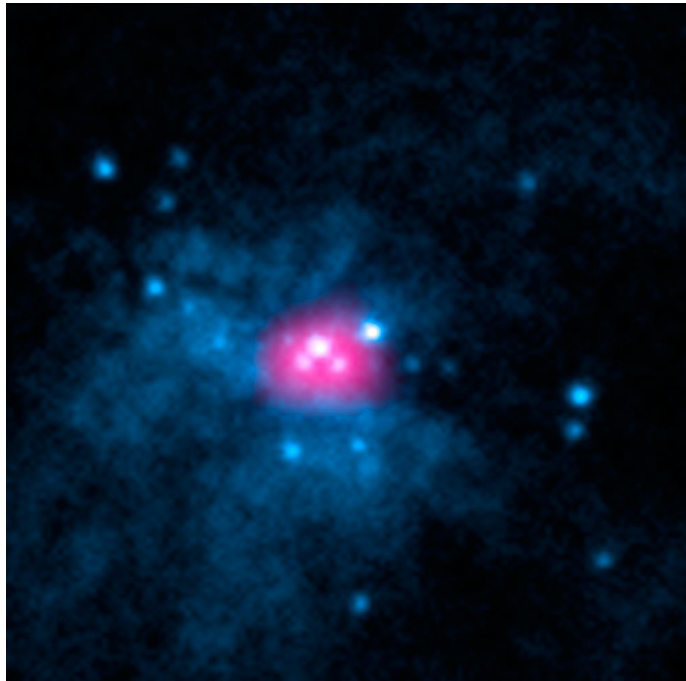
Une étude récente menée grâce au télescope spatial X NuSTAR (Nuclear Spectroscopic Telescope Array) confirme ces brillances exceptionnelles. Une hypothèse suggère que cette luminosité sans limite est due aux champs magnétiques des ULX, des champs extrêmement intenses qui ne peuvent pas être reproduits en laboratoire. Les scientifiques ne peuvent donc tester cette idée que par des observations.

Les scientifiques pensaient que les ULX étaient des trous noirs entourés de gaz brillant mais, en 2014, les données NuSTAR ont révélé qu'un ULX

du nom de M82 X-2 était en fait une étoile à neutrons. Comme les trous noirs, les étoiles à neutrons se forment lorsqu'une étoile meurt et s'effondre, enfermant plus que la masse du Soleil dans un diamètre d'une vingtaine de kilomètres. L'extrême densité crée une attraction gravitationnelle à la surface de l'étoile à neutrons des milliards de fois plus forte que la pesanteur terrestre. La matière tombant sous l'effet de cette gravité accélère jusqu'à des millions de kilomètres par heure, et libère une énorme énergie en frappant la surface de l'étoile à neutrons. (Un bonbon lâché au-dessus d'une étoile à neutrons la frapperait avec l'énergie d'un millier de bombes à hydrogène.) Cela produit les rayons X de haute énergie détectés par NuSTAR.

L'étude récente concerne ce même ULX, M82 X-2, et révèle qu'il dérobe chaque année, d'une compagne stellaire, une masse équivalente à une fois et demie celle de la Terre.

Au cœur de la galaxie M82, se trouvent 2 sources X ultralumineuses (X-1 et X-2). X-2 est le point de lumière le plus lumineux de l'image, au centre dans la tache rose. X-1 est le point lumineux situé à droite de X-2. L'image est une combinaison d'images prises par les télescopes spatiaux X NuSTAR (en rose) et Chandra (en bleu).
(NASA/JPL-Caltech/SAO High energy X-rays; NuStar Low energy X-rays; Chandra X-ray Observatory)



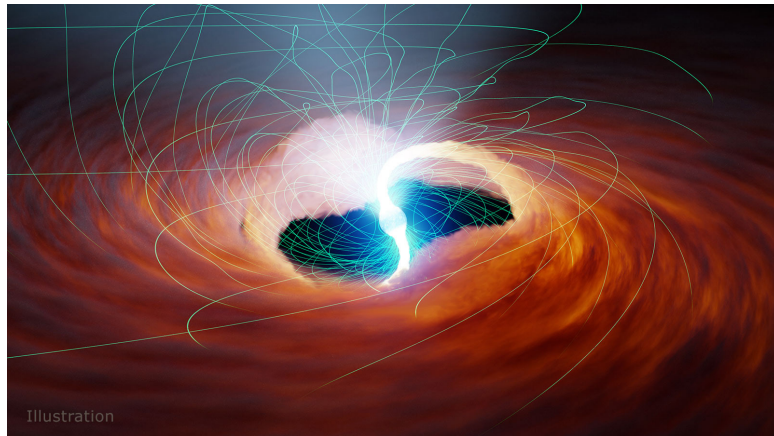
Connaissant la quantité de matière frappant la surface de l'étoile à neutrons, les scientifiques ont pu estimer la luminosité de l'ULX, et leurs calculs ont confirmé que M82 X-2 dépasse bien la limite d'Eddington.

Cette confirmation permet de réfuter une théorie qui tentait d'expliquer la luminosité apparente des ULX par un effet directionnel faisant croire, à tort, que la limite d'Eddington était dépassée. La majeure partie de l'émission aurait été concentrée dans une direction. C'est peut-être le cas pour certains ULX, mais la nouvelle étude suggère que des champs magnétiques puissants déforment les atomes et les étirent. Cela réduirait la capacité des photons à repousser les atomes, diminuant la pression de radiation et augmentant finalement la luminosité maximale d'un objet.



▲ *La galaxie M82. En jaune-vert, les données de Hubble montrent une galaxie de taille modeste, apparemment normale. En orange, d'autres données de Hubble font apparaître l'hydrogène gazeux à 10 000 K. L'image infrarouge du télescope spatial Spitzer (en rouge) montre que du gaz froid et de la poussière sont également éjectés. L'image X de Chandra (en bleu) révèle un gaz chauffé à des millions de degrés. L'éjection de gaz provient des régions centrales de la galaxie où les étoiles se forment à un rythme effréné. (NASA/CXC/JHU/D.Strickland; NASA/ESA/STScI/AURA/The Hubble Heritage Team; NASA/JPL-Caltech/Univ. of AZ/C. Engelbracht)*

► *Illustration d'une source X ultralumineuse. Deux courants de gaz chaud sont attirés vers l'étoile à neutrons. Les champs magnétiques puissants, représentés en vert, peuvent modifier l'interaction de la matière et de la lumière près de la surface des étoiles à neutrons, augmentant leur luminosité. (NASA/JPL-Caltech)*



Écho du trou noir de la Voie lactée

Basé sur un communiqué CNRS

Sagittarius A* (Sgr A*), le trou noir supermassif au centre de la Voie lactée, est sorti de sa torpeur spatiale il y a 200 ans. Au début du XIX^e siècle, il a englouti durant une année tout ce qui passait à sa portée, puis il est de nouveau entré dans un état de quiescence.

Aucun effet n'a été ressenti sur Terre, car la distance de Sgr A* est trop importante (environ deux milliards de fois la distance Terre-Soleil), mais un écho tardif des rayons X émis à cette époque a été perçu, et il révèle une intensité originelle au moins un million de

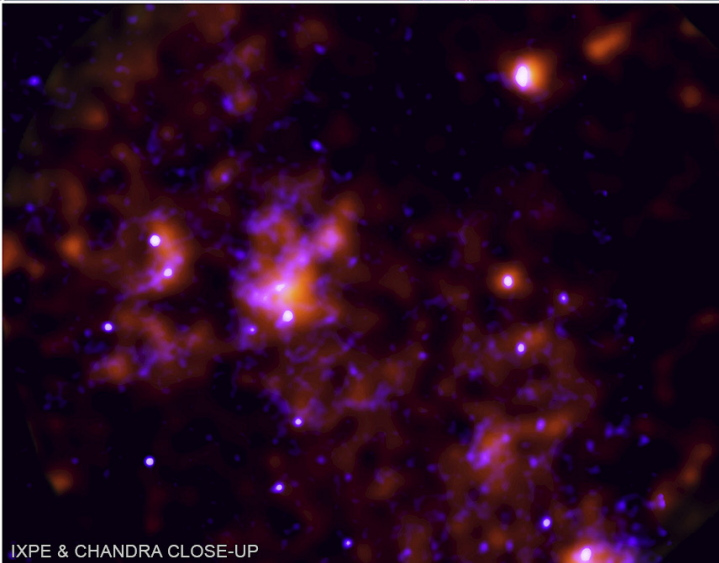
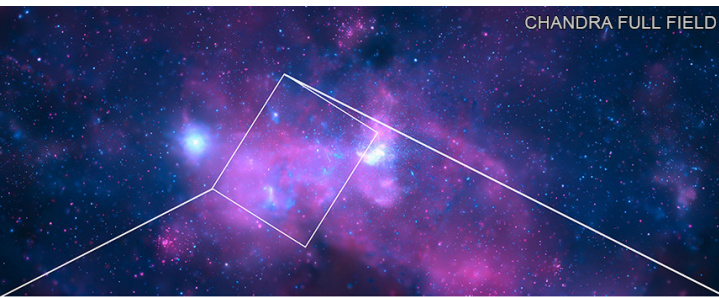
fois plus grande que celle actuellement émise par Sgr A*. Ce sursaut d'intensité peut être comparé à une luciole tapie dans une forêt qui deviendrait soudain aussi lumineuse que le Soleil.

Ces résultats expliquent pourquoi les nuages moléculaires aux abords de Sgr A* brillent autant : ils réfléchissent les rayons X émis par Sgr A* il y a 200 ans.

Les scientifiques ont utilisé pour leurs recherches le télescope spatial IXPE (Imaging X-ray Polarimetry Explorer), qui a été capable de détecter pour la toute première fois la polarisation de cette lumière X avec une grande sensibilité et de déterminer sa source.

Telle l'aiguille d'une boussole, la lumière X polarisée pointe directement vers son origine, Sgr A*, même si cette dernière est aujourd'hui quasi-éteinte.

Les scientifiques poursuivent leurs travaux sur Sgr A* pour déterminer les mécanismes physiques nécessaires pour qu'un trou noir passe d'un état de somnolence à un état actif.



De nouvelles données de IXPE indiquent que le trou noir supermassif de la Voie lactée (Sgr A) a eu un violent sursaut d'activité il y a deux siècles. Les données IXPE, qui montrent l'écho de l'activité passée, sont visibles en orange dans le panneau inférieur. Elles ont été combinées avec les données de Chandra, un autre observatoire X de la NASA, visibles en bleu, qui ne montrent que la lumière directe du centre galactique. Le panneau supérieur est une vue beaucoup plus large du centre de la Voie lactée obtenue grâce à Chandra. (NASA/CXC/SAO/IXPE)*

Trou noir en fuite

Basé sur un communiqué NASA et ApJ

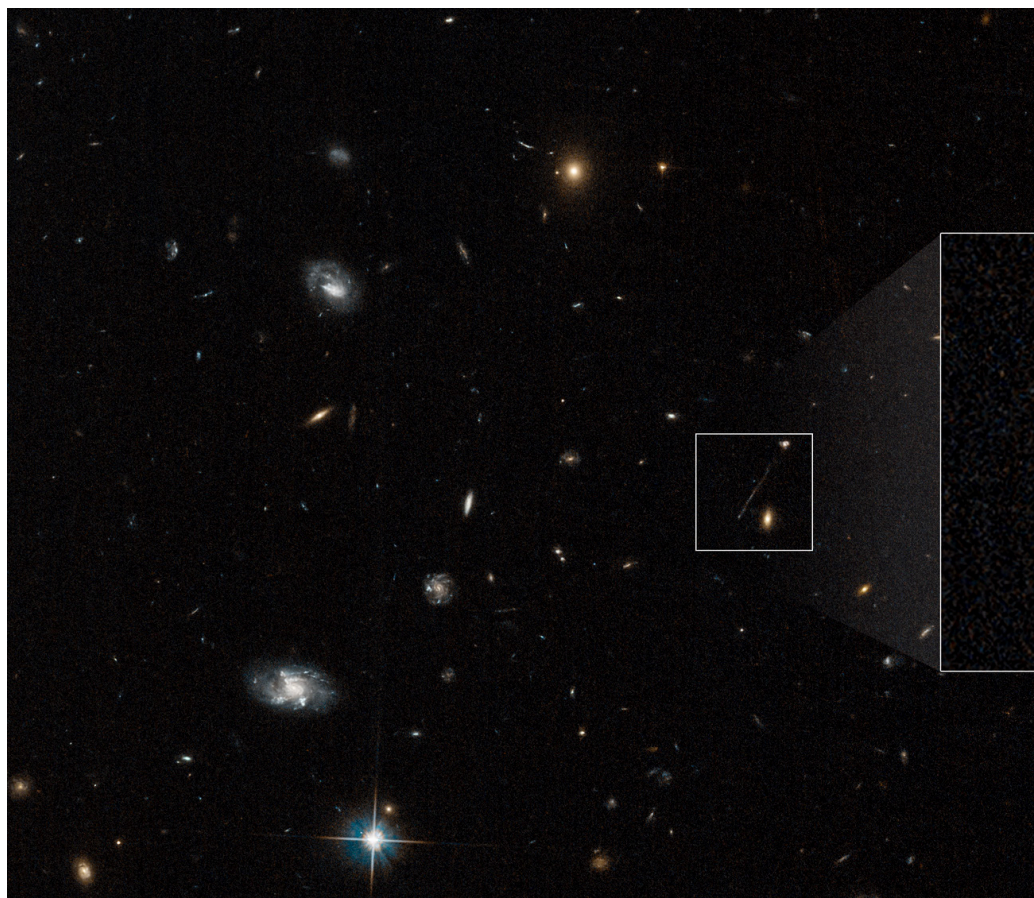
Une chaîne linéaire d'étoiles bleues observées par le télescope spatial Hubble s'étire sur 200 000 années-lumière derrière un trou noir supermassif en liberté. Ce dernier se déplace si vite qu'il franchirait la distance Terre-Lune en 14 minutes. On voit peut-être là le résultat d'une partie de billard galactique entre trois énormes trous noirs.

En s'enfonçant dans le milieu intergalactique, le trou noir déclenche la formation d'étoiles le long d'un étroit couloir commençant à la galaxie dont il s'est échappé.

À l'autre bout de la chaîne d'étoiles, une émission d'oxygène ionisé marque l'endroit où le trou noir heurte le gaz.

En examinant pour la première fois les images, les astronomes avaient pensé que cette structure linéaire devait être un défaut, sans doute l'effet d'un rayon cosmique traversant le capteur. Ils ont vite éliminé cette explication et ont pris des spectres avec les télescopes Keck à Hawaii, ce qui a conduit à la conclusion qu'il s'agissait de la trace d'un trou noir filant à travers le halo de gaz entourant la galaxie d'origine.

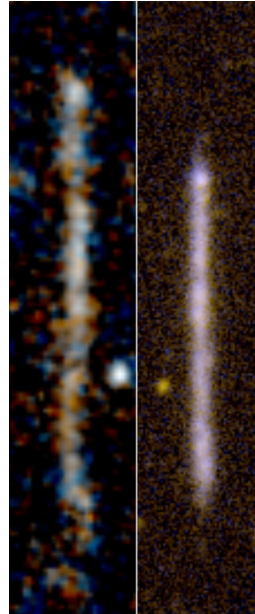
Ce mouvement rapide aurait été le résultat des interactions gravitationnelles entre



plusieurs trous noirs supermassifs. Les deux galaxies auraient fusionné 50 millions d'années plus tôt, réunissant ainsi leurs deux trous noirs supermassifs. Une troisième galaxie est arrivée avec son propre trou noir supermassif, ce qui a conduit à une configuration chaotique et instable. L'un des trous noirs a emporté une partie de l'impulsion cinétique de ses compagnons et a été éjecté de la galaxie hôte. L'effet de recul a poussé le couple restant dans la direction opposée et l'on voit effectivement une émission caractéristique située du côté opposé de la galaxie, et qui pourrait être due au trou noir binaire en fuite. Un indice de cela

est qu'il n'y a aucun signe d'un trou noir actif restant au cœur de la galaxie.

Il existe cependant une explication plus prosaïque à cet alignement. Il s'agirait simplement d'une galaxie dépourvue de bulbe central et vue parfaitement de profil, comme c'est le cas pour IC 5249, par exemple..



Images ultraviolettes de l'objet (à gauche) et de IC 5249, une galaxie, vue de profil. (ESA/Hubble)

Photo d'archive du télescope spatial Hubble montrant une chaîne d'étoiles jeunes s'étirant sur 200 000 années-lumière et liant un trou noir supermassif (en bas) à la galaxie dont il a été éjecté. Le gaz comprimé dans le sillage du trou noir s'est condensé en étoiles. On voit cet événement inhabituel alors que l'Univers avait environ la moitié de son âge actuel.

(NASA, ESA, Pieter van Dokkum/Yale; Joseph DePasquale/STScI)

Naine blanche pulsar

Basé sur un communiqué University of Warwick

Une naine blanche d'un type particulier – on n'en connaissait encore qu'un exemple – a été découverte : une naine blanche « pulsar ».

La première représentante de l'espèce était AR Scorpii, découverte en 2016. Les naines blanches pulsar sont des systèmes doubles, comprenant, outre la naine blanche, une naine rouge. La naine blanche inonde sa compagne de puissants faisceaux de particules et de radiations provoquant des variations d'éclat de l'ensemble du système à intervalles réguliers. Les astronomes expliquent cela par de puissants champs magnétiques, dont on ne connaît cependant pas l'origine.

Une théorie est que le champ magnétique est créé par une dynamo au cœur de la naine blanche, tout comme le champ de la Terre, beaucoup moins intense, est produit par une dynamo dans la partie liquide du noyau. L'origine des champs magnétiques est une question ouverte dans de nombreux domaines de l'astronomie, et cela est particulièrement vrai pour les étoiles naines blanches. Leurs champs magnétiques peuvent être plus d'un million de fois plus puissants que celui du Soleil, et le modèle de dynamo aide à expliquer pourquoi.

Pour que cette théorie soit testée, les scientifiques se devaient de rechercher d'autres naines blanches.

Les données de différents surveys ont été examinées pour trouver des candidats qui avaient des caractéristiques semblables à AR Sco. Ces candidats ont été observés avec ULTRACAM, une caméra capable de prendre 500 images par seconde dans trois longueurs d'onde. Après avoir observé quelques dizaines de candidats, les astronomes en ont trouvé un qui présentait des variations de lumière très semblables à celles de AR Sco. Une campagne de suivi avec d'autres télescopes a révélé que ce système montrait des pulsations dans les domaines radio et rayons X avec une périodicité d'environ 5 minutes.

La naine blanche pulsar que l'on vient de découvrir, J191213.72-441045.1 (J1912-4410 en abrégé) est distante de 773 années-lumière. Elle tourne 300 fois plus vite que notre planète. Sa taille est comparable à celle de la Terre, mais sa masse est au moins aussi grande que celle du Soleil. Cela signifie qu'une cuillère à café de matière naine blanche pèserait environ 15 tonnes. Les naines blanches commencent leur vie à des températures extrêmement élevées avant de se refroidir pendant des milliards d'années. La basse température de J1912-4410 indique ainsi un âge avancé.

La découverte de J1912-4410 confirme qu'il existe de nombreuses naines blanches pulsar, comme le prédisaient les modèles. Il y avait d'autres prédictions faites par le modèle dynamo, qui ont été confirmées par la découverte de J1912-4410. En raison de leur âge avancé, les naines blanches de ces systèmes pulsar devaient être froides. Leurs compagnes doivent être suffisamment proches pour que l'attraction gravitationnelle de la naine blanche ait permis d'aspirer une bonne partie de leur matière, les faisant ainsi tourner rapidement. Toutes ces prédictions sont valables pour le nouveau pulsar découvert : la naine blanche est plus froide que 13000 K, tourne sur son axe une fois toutes les cinq minutes et son attraction gravitationnelle a une influence majeure sur sa compagne.

*Vue d'artiste d'une naine blanche pulsar.
(U. of Warwick)*



L'origine des Géminides

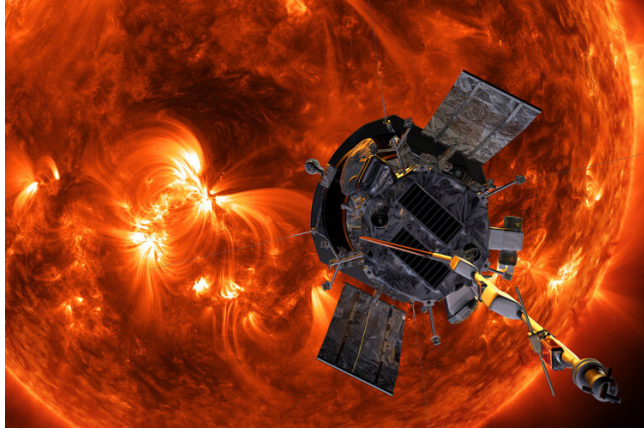
Basé sur un communiqué NASA

La plupart des pluies de météorites sont dues à des comètes. Celles-ci sont constituées de glace et de poussière. Lorsqu'elles se rapprochent du Soleil, la glace s'évapore et libère du gaz, délogeant en même temps des fragments qui s'éparpillent en une traînée de poussière. Lentement, ce processus répété remplit l'orbite de la comète. Les pluies de météorites ont lieu lorsque la Terre traverse ce flux.

Les Géminides, qui ont lieu à la mi-décembre, sont l'une des pluies d'étoiles filantes les plus intenses. Ces météorites semblent provenir non pas d'une comète, mais de l'astéroïde 3200 Phaethon.

Les astéroïdes faits de roches ne sont généralement pas affectés par la chaleur du Soleil comme le sont les comètes. Mais Phaethon est un astéroïde hors norme. Son orbite est atypique pour un astéroïde et ressemble plutôt à celle d'une comète. S'approchant près du Soleil – deux fois plus près que Mercure – il semble avoir une certaine activité liée à la température. Peut-être s'agit-il d'une ancienne comète qui a fini par s'éteindre.

Les chercheurs ont utilisé les données de la mission Parker Solar Probe pour étudier

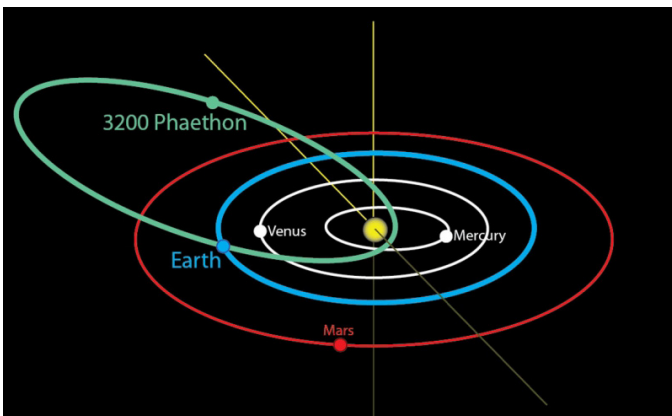


*La sonde Parker survole le Soleil.
Vue d'artiste.
(NASA/Johns Hopkins APL/Steve Gribben)*

la structure et le comportement du nuage de poussière qui remplit le Système solaire. Profitant de la trajectoire de Parker – une orbite qui la fait passer plus près du Soleil que n'importe quel autre vaisseau spatial – les scientifiques ont pu obtenir les meilleures données sur les grains de poussière libérés par les comètes et les astéroïdes.

Ils ont pu modéliser trois scénarios de formation possibles, puis en ont comparé les résultats aux modèles existants créés à partir d'observations terrestres. Ils ont constaté que les modèles violents étaient les plus cohérents avec les données de Parker. Cela signifie qu'il est probable qu'un événement soudain et brutal – comme une collision à grande vitesse avec un autre corps – ait libéré les Géminides.

*Orbite de Phaethon.
(NASA)*



TOI-2096

Basé sur un communiqué ULiège

Une étude dirigée par des chercheurs de l'université de Liège – en ayant recours aux observations du télescope TESS de la NASA – a permis la découverte d'un système de deux planètes un peu plus grandes que la Terre qui orbitent autour d'une étoile froide en une danse synchronisée. Baptisé TOI-2096, ce système se situe à 150 années-lumière de la Terre.

La découverte résulte d'une collaboration étroite entre des universités européennes et américaines et a été rendue possible par la mission spatiale TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) dont le but est de trouver des planètes qui orbitent autour d'étoiles brillantes et proches de nous.

TESS surveille le ciel entier à la recherche de transits parmi des centaines de milliers d'étoiles. Néanmoins, malgré sa très grande efficacité de détection de nouveaux mondes, la mission TESS a besoin du soutien de télescopes sur Terre pour confirmer la nature planétaire des signaux détectés.

Les planètes TOI-2096 b et TOI-2096 c ont été observées avec plusieurs réseaux de télescopes, ce qui a permis leur confirmation et aussi leur caractérisation. La majorité des transits ont été obtenus avec les télescopes des projets TRAPPIST et SPECULOOS dirigés par l'université de Liège. L'analyse détaillée des données a révélé que les deux planètes sont en résonance orbitale : pour chaque orbite de la planète extérieure, la planète intérieure fait deux fois le tour de l'étoile. Leurs périodes sont donc proches d'un multiple l'une de l'autre avec 3,12 jours pour la planète b et 6,38 jours pour la planète c. Cette configuration est très particulière et cause une forte interaction gravitationnelle entre les planètes. Cette interaction a pour effet de retarder ou d'accélérer le passage des planètes devant l'étoile, ce qui pourra conduire à la mesure des masses des planètes en utilisant des télescopes plus puissants dans un futur proche.

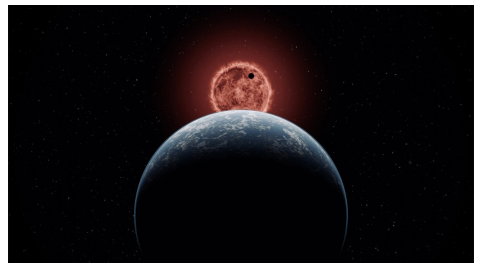
Les scientifiques estiment que le rayon de la planète b – la plus proche de l'étoile – est 1,2 fois plus grand que celui de la Terre,

d'où sa dénomination de « super-Terre ».

Ses propriétés pourraient être semblables à celles de la Terre : une planète de composition essentiellement rocheuse, éventuellement entourée d'une mince atmosphère. De même, le rayon de la planète c est de 1,9 fois le rayon de la Terre et 55% de celui de Neptune, ce qui pourrait placer la planète dans la catégorie des « mini-Neptunes », des planètes composées d'un cœur de roches et de glaces entouré d'une atmosphère étendue riche en hydrogène ou en eau, telle Uranus et Neptune. Ces tailles sont très intéressantes car le nombre de planètes possédant un rayon entre 1,5 et 2,5 rayons terrestres est plus petit que ce qui est prédit par la théorie, ce qui fait de ces planètes une rareté. La formation des super-Terres et des mini-Neptunes reste un mystère. Il existe plusieurs modèles de formation qui essaient de l'expliquer, mais aucun n'est vraiment en adéquation parfaite avec ce que l'on observe. TOI-2096 est le seul système trouvé à l'heure actuelle qui possède une super-Terre et une mini-Neptune précisément avec des tailles où les modèles se contredisent. En d'autres mots, TOI-2096 est peut-être le système que l'on cherchait pour comprendre comment ces systèmes planétaires se forment.

Par ailleurs, ces planètes figurent parmi les meilleurs candidates pour une étude détaillée de leur atmosphère avec le télescope spatial JWST. Ces études vont permettre de confirmer la présence d'une atmosphère, étendue ou non, autour des planètes b et c et de donner des indications sur leur mécanisme de formation.

*Vue d'artiste du système TOI-2096.
(Lionel J. Garcia)*



TRAPPIST-1 c

Basé sur un communiqué Webb Space Telescope

Les astronomes ont utilisé le télescope spatial JWST pour mesurer l'énergie thermique émise par l'exoplanète rocheuse TRAPPIST-1 c. Le résultat suggère que l'atmosphère de la planète – si elle existe – est extrêmement mince.

Avec une température diurne d'environ 380 K, TRAPPIST-1 c est désormais l'exoplanète rocheuse la plus froide jamais caractérisée sur la base de l'émission thermique. La précision nécessaire à ces mesures démontre en outre l'utilité de Webb pour caractériser des exoplanètes rocheuses semblables en taille et en température à celles du Système solaire.

Le résultat marque une autre étape pour déterminer si les planètes en orbite autour de naines rouges comme TRAPPIST-1 – les étoiles les plus nombreuses de la Galaxie – peuvent maintenir une atmosphère capable de soutenir la vie telle que nous la connaissons.

Vue d'artiste de l'exoplanète rocheuse chaude TRAPPIST-1 c. La deuxième des sept planètes connues du système TRAPPIST-1 orbite autour de son étoile à une distance de 0,016 UA, effectuant un circuit en 2,42 jours. TRAPPIST-1 c est légèrement plus grosse que la Terre, et est à peu près de la même densité, ce qui indique qu'elle doit avoir une composition rocheuse. Les mesures par le JWST dans l'infrarouge moyen suggèrent que la planète n'a pas d'atmosphère, ou a une atmosphère très ténue de dioxyde de carbone.

En arrière-plan on a représenté TRAPPIST-1 b, la planète la plus interne du système TRAPPIST-1. TRAPPIST-1 b est également rocheuse et ne semble pas avoir d'atmosphère substantielle.

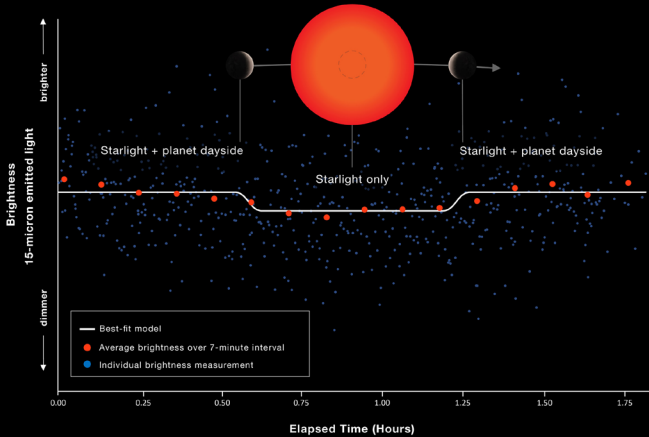
L'étoile, TRAPPIST-1, est une naine rouge avec une température de 2550 K, et une masse de seulement 0,09 fois celle du Soleil.

(NASA, ESA, ASC, Joseph Olmsted/STScI, Sebastian Zieba/MPI-A, Laura Kreidberg/MPI-A)



ROCKY EXOPLANET TRAPPIST-1 c SECONDARY ECLIPSE LIGHT CURVE

MIRI | Time-Series Photometry (F1500W)



WEBB
SPACE TELESCOPE

Jusqu'ici, on ne pouvait vraiment étudier que des planètes ayant une atmosphère épaisse et riche en hydrogène. Avec le JWST, les astronomes peuvent enfin commencer à rechercher des atmosphères dominées par l'oxygène, l'azote et le dioxyde de carbone.

TRAPPIST-1 c est intéressante car il s'agit essentiellement d'une jumelle de Vénus : elle a à peu près la même taille que Vénus et reçoit de son étoile hôte une quantité de rayonnement semblable à celle que Vénus reçoit du Soleil. On pouvait imaginer qu'elle pourrait, comme elle, avoir une épaisse atmosphère de dioxyde de carbone.

TRAPPIST-1 c est l'une des sept planètes rocheuses en orbite autour d'une étoile naine rouge froide (naine M) distante de 40 années-lumière. Bien que ces planètes soient semblables en taille et en masse aux planètes rocheuses intérieures du Système solaire, il n'est

Courbe de lumière montrant le changement de luminosité du système TRAPPIST-1 lorsque TRAPPIST-1 c passe derrière l'étoile.

Les astronomes ont utilisé l'instrument MIRI de Webb pour mesurer ces variations dans l'infrarouge moyen.

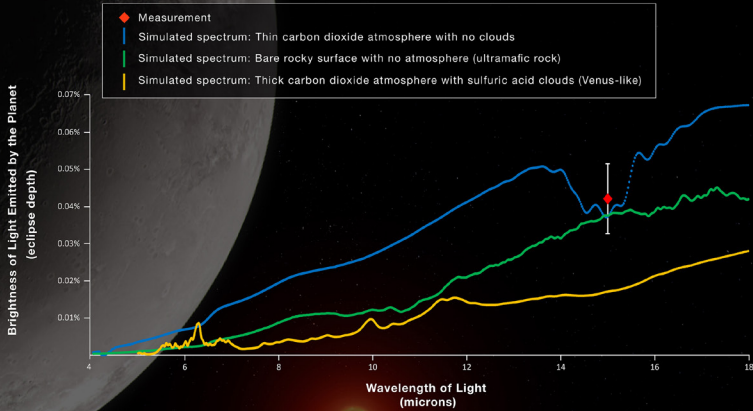
Le graphique montre les données combinées de quatre observations distinctes effectuées à l'aide du filtre F1500W de MIRI, qui ne laisse passer que les longueurs d'onde de 13,5 à 16,7 microns. Les carrés bleus sont des mesures de luminosité individuelles. Les cercles rouges indiquent les mesures qui sont moyennées pour faciliter la visualisation de l'évolution dans le temps. La ligne blanche est la courbe de lumière du modèle qui correspond le mieux aux données. La diminution de la luminosité lors de l'éclipse secondaire est inférieure à 0,05 %.

La température calculée à partir de cette observation est de 380 ± 31 K. TRAPPIST-1 c est l'exoplanète rocheuse la plus froide jamais observée en utilisant la photométrie d'une éclipse secondaire.

(NASA, ESA, ASC, Joseph Olmsted/STScI, Sebastian Zieba/MPI-A, Laura Kreidberg/MPI-A)

ROCKY EXOPLANET TRAPPIST-1 c EMISSION SPECTRA

MIRI | Time-Series Photometry (F1500W)


WEBB
SPACE TELESCOPE

Ce graphique compare la luminosité mesurée de TRAPPIST-1 c avec les spectres calculés pour trois modèles différents. La mesure (losange rouge) correspond à une surface rocheuse nue sans atmosphère (ligne verte) ou à une très fine atmosphère de dioxyde de carbone sans nuages (ligne bleue). Une atmosphère épaisse riche en dioxyde de carbone avec des nuages d'acide sulfurique, semblable à celle de Vénus (ligne jaune), est peu probable. La ligne bleue montre à quoi ressemblerait le spectre d'émission du côté jour de la planète en supposant qu'elle a une atmosphère d'oxygène avec 0,01% de dioxyde de carbone, une pression de surface de 0,1 bar et pas de nuages. C'est nettement plus mince que l'atmosphère terrestre, qui est riche en azote et en oxygène, avec 0,04 % de

dioxyde de carbone et une pression de surface de 1 bar.

La ligne verte montre ce que serait le spectre d'émission du côté jour de la planète si elle n'avait pas d'atmosphère et une surface rocheuse faite de roche ultramafique (un type de roche ignée un peu plus riche en fer et en magnésium et plus pauvre en silice que le basalte, qui constitue la croûte sous les océans de la Terre).

La ligne orange montre le spectre d'émission du côté jour de la planète si elle avait une atmosphère plus proche de celle de Vénus, avec 96,5% de dioxyde de carbone, une pression de surface de 10 bars et des nuages d'acide sulfurique. (NASA, ESA, ASC, Joseph Olmsted/STScI, Sebastian Zieba/MPI-A, Laura Kreidberg/MPI-A)

pas évident qu'elles possèdent des atmosphères similaires. Au cours du premier milliard d'années de leur vie, les naines M émettent des rayons X et des rayons ultraviolets intenses qui peuvent facilement éliminer une atmosphère. De plus, il peut ne pas y avoir eu suffisamment d'eau, de dioxyde de carbone et d'autres composés volatils disponibles pour créer des atmosphères substantielles lors de la formation des planètes.

Pour répondre à ces questions, l'équipe a utilisé MIRI (Webb's Mid-Infrared Instrument) pour observer le système TRAPPIST-1 à quatre reprises alors que la planète se déplaçait derrière l'étoile – une éclipse « secondaire ». En comparant la luminosité lorsque la planète est cachée par l'étoile à la luminosité lorsque la planète est à côté de l'étoile, l'équipe a pu calculer la quantité de lumière infrarouge émise à 15 microns par le côté jour de la planète.

Cette méthode est la même que celle utilisée par une autre équipe de recherche pour déterminer que TRAPPIST-1 b, la planète la plus interne du système, est probablement dépourvue d'atmosphère.

La quantité de lumière infrarouge moyenne émise par une planète est directement liée à sa température, qui est à son tour influencée par l'atmosphère. Le gaz carbonique absorbe préférentiellement la lumière à 15 microns, ce qui rend la planète plus sombre à cette longueur d'onde. Cependant, des nuages peuvent refléter la lumière, rendant la planète plus lumineuse et masquant la présence de dioxyde de carbone.

De plus, une atmosphère substantielle de n'importe quelle composition redistribuera la chaleur du côté jour au côté nuit, entraînant une tempé-

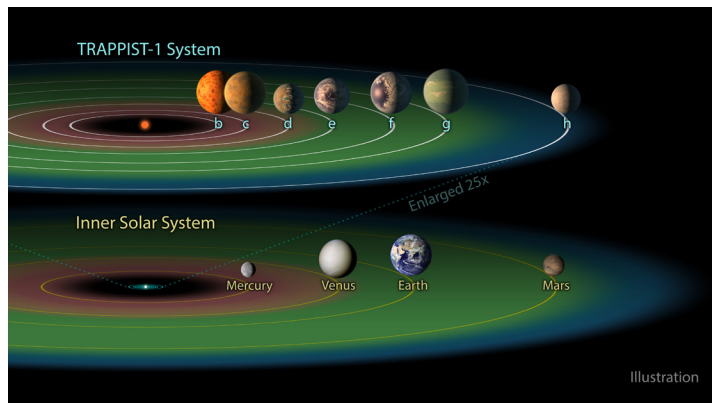
rature du côté jour plus basse qu'elle ne le serait sans atmosphère. Parce que TRAPPIST-1 c orbite si près de son étoile – environ 1/50 de la distance entre Vénus et le Soleil – on pense qu'elle est verrouillée dans sa rotation par les marées, avec un côté dans un jour perpétuel et l'autre dans l'obscurité sans fin.

Bien que ces mesures initiales ne fournissent pas d'informations définitives sur la nature de TRAPPIST-1 c, elles aident à réduire les possibilités. Les résultats sont cohérents avec une planète rocheuse dépourvue d'atmosphère, ou une planète ayant une atmosphère de CO₂ très mince (plus mince que celle de Mars) et sans nuages. Si la planète avait une atmosphère épaisse de CO₂, l'éclipse secondaire aurait été très peu profonde, le gaz carbonique absorbant tout le rayonnement de la planète à 15 microns.

L'absence d'atmosphère épaisse suggère que la planète s'est formée avec relativement peu d'eau. Si les planètes TRAPPIST-1 plus froides et plus tempérées se sont formées dans des conditions similaires, elles aussi ont peut-être commencé avec peu d'eau et d'autres composants nécessaires pour rendre une planète habitable.

La sensibilité requise pour distinguer différents scénarios atmosphériques sur une planète aussi petite et aussi éloignée est vraiment remarquable. La diminution de la luminosité que Webb a détectée pendant l'éclipse secondaire n'était que de 0,04 % .

Comparaison du Système solaire avec celui de TRAPPIST-1, agrandi 25 fois.
(NASA/JPL-Caltech)



Acide aminé dans IC 318

Basé sur un communiqué Instituto de Astrofísica de Canarias

La molécule de tryptophane, un acide aminé essentiel à la formation des protéines et au développement des organismes vivants, a été découverte dans un système stellaire du nuage de Persée. Le tryptophane est l'un des 20 acides aminés considérés comme essentiels à la formation des protéines, qui sont des macromolécules clés pour le développement de la vie sur Terre.

Cet acide aminé possède de nombreuses caractéristiques spectrales dans l'infrarouge que les chercheurs ont pu détecter dans des observations faites par le télescope spatial Spitzer.

Les scientifiques ont examiné les données de nombreuses régions de formation d'étoiles et de planètes. C'est dans l'une des régions les plus proches et les plus connues, le complexe de nuages moléculaires de Persée, et en particulier dans le système stellaire IC 348, que la combinaison de toutes les données spectroscopiques du satellite a permis d'atteindre la sensibilité maximale et d'identifier les raies que le tryptophane produit en laboratoire.

IC 348 est une région de formation d'étoiles exceptionnelle et un laboratoire de chimie extraordinaire ; grâce à sa proximité on peut y effectuer certaines des recherches les plus sensibles de molécules dans le milieu interstellaire. On y a d'ailleurs récemment détecté la signature d'autres molécules telles

que l'eau, le dioxyde de carbone, le cyanure d'hydrogène, l'acétylène, le benzène, des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des fullerènes.

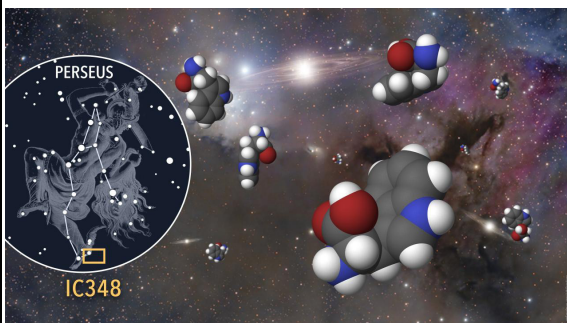
La nouveauté de ce travail est que le tryptophane n'avait jamais été détecté dans le milieu interstellaire. De plus, malgré des décennies de recherche, il n'y a eu aucune détection confirmée d'autres acides aminés dans aucune autre région de formation d'étoiles.

L'étude suggère que le spectre du tryptophane peut également être présent dans d'autres régions de formation d'étoiles et que sa présence, et peut-être celle d'autres acides aminés, est courante dans le gaz à partir duquel les étoiles et les planètes se forment. Il est probable que les acides aminés, les éléments constitutifs des protéines, enrichissent le gaz dans les disques protoplanétaires et les atmosphères des exoplanètes jeunes, et accélèrent peut-être l'émergence de la vie.

L'abondance du tryptophane est dix milliards de fois moindre que celle de l'hydrogène moléculaire. L'analyse des bandes d'émission de cette molécule a également permis d'estimer la température à laquelle on la retrouve dans le nuage : environ 280 K, soit proche de zéro degré Celsius, une température très proche de celle mesurée pour l'hydrogène moléculaire et de l'eau dans cette même région IC 348.

Il est bien connu que des acides aminés se trouvent dans les météorites et peuvent avoir été présents dès la formation du Système solaire. La découverte du tryptophane et, espérons-le, d'autres acides aminés à l'avenir, pourrait indiquer que les agents de construction des protéines, qui sont essentiels au développement des organismes vivants, existent naturellement dans les régions où les étoiles et les systèmes planétaires se forment, et que la vie est peut-être plus courante dans la Galaxie qu'on ne l'imagine.

Vue d'artiste des molécules de tryptophane dans la région de formation d'étoiles IC 348 située dans la constellation de Persée.
(Gabriel Pérez Díaz/IAC)



SN2018ivc, une supernova particulière

Basé sur un communiqué NAOJ

Les astronomes ont découvert une supernova présentant un regain d'intensité aux longueurs d'onde millimétriques, offrant un cas intermédiaire entre deux types de précurseurs de supernovæ, les étoiles solitaires et les systèmes binaires rapprochés.

Les astronomes savent depuis longtemps que la présence d'un compagnon binaire proche peut affecter l'évolution des étoiles massives. Dans une binaire serrée, les interactions gravitationnelles enlèvent de grandes quantités de matière de la progénitrice bien avant l'explosion finale. En revanche, une étoile isolée ou dotée d'une compagne distante conserve la majeure partie de sa masse initiale.

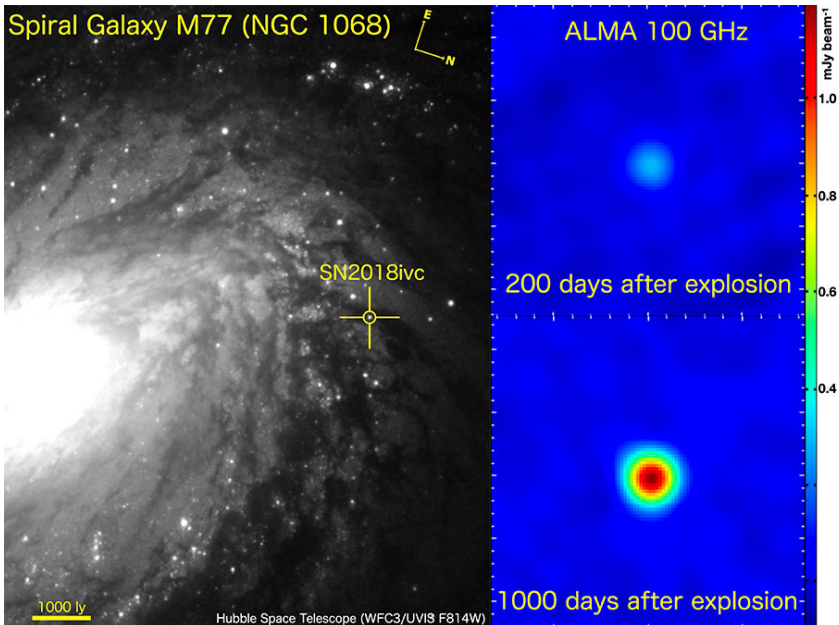
Que se passe-t-il dans le cas d'une binaire ni trop serrée, ni trop écartée? C'est ce que révèlent les observations par ALMA de la supernova SN2018ivc dans M77. L'astre s'est éteint progressivement au cours des premiers mois suivant son explosion, mais des mesures

réalisées 1 000 jours après l'explosion ont montré que l'objet était en train de reprendre vigueur. C'est la première fois qu'un tel phénomène était observé aux longueurs d'onde millimétriques.

Les modélisations suggèrent que l'interaction avec une compagne à distance intermédiaire, environ 1 500 ans avant l'explosion, a créé une grande cavité autour de l'étoile. 200 jours après l'explosion, les éjectas s'échappant de l'explosion n'avaient pas encore atteint les bords de cette cavité. Puis, à un moment entre 200 et 1 000 jours, les éjectas sont entrés en collision avec le milieu circumstellaire, provoquant le sursaut d'éclat observé.

La région centrale de M77 vue par le télescope spatial Hubble (à gauche), avec la position de SN 2018ivc. Les panneaux de droite montrent la vue élargie autour de SN 2018ivc sur la base des données prises par ALMA, à ~200 jours (en haut à droite) et à ~1 000 jours (en bas à droite), indiquant un regain d'éclat environ un an après l'explosion de SN.

(NASA, ESA, STScI, ST-ECF, CADR/NRC/CSA, ALMA/ESO/NAOJ/NRAO), Maeda et al.)



Masse des étoiles primitives

Basé sur un communiqué Subaru Telescope

Les conditions de l'Univers primordial sont relativement préservées dans les régions externes de la Voie lactée. Les observations d'une région de formation d'étoiles située dans cette périphérie ont révélé que la distribution des masses stellaires n'y est pas radicalement différente de ce qui est observé plus près du Système solaire. Il s'agit d'une étape importante vers la compréhension de l'effet de l'environnement local sur la distribution de masse des étoiles.

On sait que les étoiles contenues dans les amas proches du Soleil montrent une répartition de leurs masses très similaire, mais qu'en est-il ailleurs ? Pour répondre à cette question, les astronomes ont utilisé le télescope Subaru pour observer Sh 2-209, une région de formation d'étoiles loin du centre de la Voie lactée.

Comparé à la composition chimique du gaz interstellaire dans le voisinage solaire, Sh 2-209 affiche une faible métallicité, ce qui dans le jargon des astronomes signifie beaucoup d'hydrogène et peu d'éléments lourds. Cela en fait un bon analogue des conditions

qui régnaient dans l'Univers il y a 10 milliards d'années.

Les chercheurs ont identifié deux amas dans Sh 2-209, dont un grand, composé de 1 500 étoiles. C'est la première fois qu'un tel amas, formant activement des étoiles, est identifié dans la partie externe de la Galaxie. Grâce à la haute sensibilité et à la haute résolution spatiale du télescope Subaru, l'équipe a réussi à détecter des étoiles allant d'environ un dixième de la masse du Soleil jusqu'à 20 fois cette valeur. Les résultats montrent que Sh 2-209 n'a qu'une fraction légèrement plus élevée d'étoiles massives par rapport aux régions de formation d'étoiles du voisinage solaire.

Ces résultats suggèrent que bien qu'un nombre relativement important d'étoiles massives se soient formées dans l'Univers primitif, leur proportion n'est pas radicalement différente de celle des amas d'étoiles actuels.

Sh 2-209, une région de formation d'étoiles de la périphérie galactique est vue ici par MORICS sur le télescope Subaru.

Le bleu, le vert et le rouge correspondent respectivement aux bandes infrarouges J (1,26 micron), H (1,64 micron) et Ks (2,15 microns). (NAOJ)

