

L'astronomie dans le Monde

Expansion de l'Univers

Basé sur un communiqué HST

Des astronomes ont utilisé le télescope spatial Hubble pour mesurer le taux d'expansion de l'Univers au moyen d'une technique indépendante des précédentes.

Mesurer la valeur exacte de la vitesse d'expansion de l'Univers a été l'un des plus grands défis de l'astrophysique ces dernières années. C'est la clé qui permettrait de déterminer l'âge, la taille et le destin du cosmos. La nouvelle étude renforce l'idée que de nouvelles théories pourraient être nécessaires pour expliquer les découvertes des scientifiques. Elle confirme l'écart troublant qui existe entre le taux d'expansion, appelé constante de Hubble, calculé à partir de mesures de l'univers local, et le taux prédit par le rayonnement de fond dans l'univers primitif, une époque antérieure à l'existence des galaxies et des étoiles.

La dernière valeur est la plus précise jamais obtenue. Elle se base sur la méthode de la lentille gravitationnelle, où la gravité d'une galaxie d'avant-plan agit comme une loupe géante, amplifiant et déformant la lumière des objets d'arrière-plan. On ne s'appuie donc plus sur la technique traditionnelle de l'échelle des distances cosmiques pour mesurer avec précision les distances des galaxies au travers de différents types d'étoiles utilisées comme étalons de luminosité.

L'équipe à l'origine des nouvelles mesures de la constante de Hubble est appelée H0LiCOW (H0 Lenses in COSMOGRAIL's Wellspring), COSMOGRAIL étant l'acronyme de Cosmological Monitoring of Gravitational Lenses, un grand projet international dont le but est de surveiller les lentilles gravitationnelles. Wellspring (la « source ») fait référence à l'abondance de quasars affectés par des lentilles gravitationnelles.

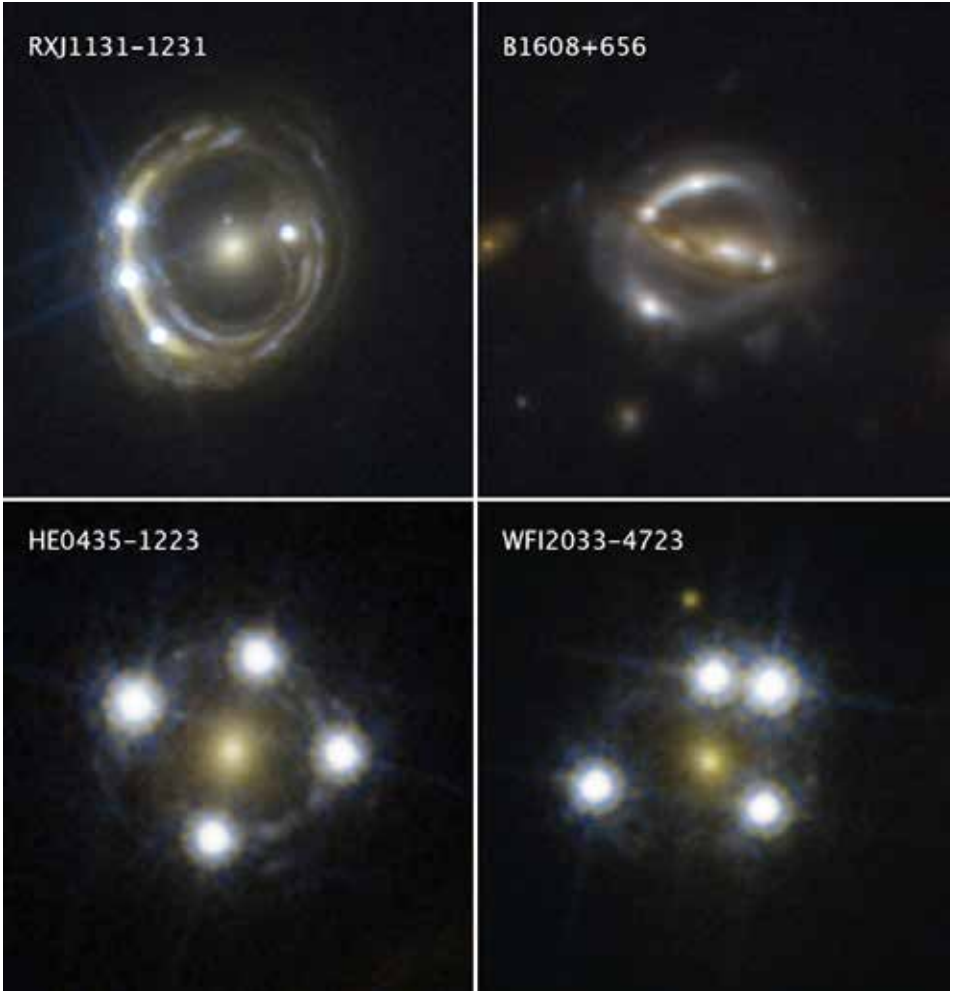
H0LiCOW et d'autres mesures récentes suggèrent un taux d'expansion de l'univers local plus rapide que ce qui était prévu sur la base des observations du satellite Planck montrant comment le cosmos se comportait il y a plus de 13 milliards d'années.

L'écart entre les deux valeurs a des implications importantes pour la compréhension des paramètres physiques sous-jacents de l'Univers et pourrait nécessiter une révision de certains concepts. Il faut peut-être y voir le signe que nous ne comprenons pas bien comment la matière et l'énergie ont évolué dans le temps, en particulier au tout début.

L'équipe H0LiCOW a utilisé Hubble pour observer la lumière de six quasars lointains situés derrière une lentille gravitationnelle – une galaxie massive – formant quatre images de chacun d'eux. Les galaxies en question se trouvent à une distance de 3 à 6,5 milliards d'années-lumière tandis que la distance moyenne des quasars est de 5,5 milliards d'années-lumière.

Les rayons lumineux de chaque quasar suivent un chemin légèrement différent à travers l'espace pour atteindre la Terre. La longueur du trajet dépend de la quantité de matière qui déforme l'espace le long de la ligne de visée du quasar. Pour tracer chaque trajet, les astronomes surveillent les variations d'éclat du quasar lorsque son trou noir avale de la matière. Ces variations se manifestent à des moments différents pour chaque image du même objet.

La séquence des variations permet aux chercheurs de mesurer les délais entre les images. Pour bien comprendre ces délais, l'équipe a d'abord utilisé le télescope spatial Hubble pour établir des cartes précises de la répartition de la matière dans chaque galaxie. Les astronomes ont ensuite pu déduire de manière fiable les distances respectives des objets. En comparant ces valeurs de distance,



Chacun de ces clichés du télescope spatial Hubble révèle quatre images déformées d'un quasar d'arrière-plan autour du noyau d'une galaxie massive plus proche.

Les images multiples ont été produites par la gravité de la galaxie qui agit comme une loupe par l'effet de lentille gravitationnelle. Les rayons lumineux de chaque image de quasar lentille prennent un chemin légèrement différent dans l'espace pour atteindre la Terre. La longueur du trajet dépend de la quantité de matière qui déforme l'espace le long de la ligne de visée du quasar. Les images ont été prises entre 2003 et 2004 avec la caméra ACS (Advanced Camera for Surveys).

(NASA, ESA, S.H. Suyu, K.C. Wong)

les chercheurs ont pu mesurer le taux d'expansion de l'Univers. La durée de chaque délai indique la vitesse d'expansion de l'Univers. Si les délais sont plus courts, alors l'Univers se développe plus rapidement. S'ils sont plus longs, le taux d'expansion est plus lent.

Le processus de retardement est analogue à celui de quatre trains quittant la même gare exactement au même moment et voyageant à la même vitesse pour atteindre la même destination. Cependant, chacun des trains arrive à la destination à une heure différente. En effet, chaque train emprunte un itinéraire différent, et la distance pour chaque itinéraire n'est pas la même. Certains trains passent par des collines. D'autres passent par des vallées, et d'autres encore contournent des montagnes. D'après les différentes heures d'arrivée, on peut déduire que chaque train a parcouru une distance différente pour atteindre le même arrêt. De même, la modulation des quasars n'apparaît pas en même temps car la lumière peut-être retardée par le fait qu'elle doit négocier les obstacles créés par la gravité de la matière dense dans la galaxie.

Les chercheurs ont calculé une valeur de la constante de Hubble de 73 kilomètres par seconde par mégaparsec (avec une incertitude de 2,4%). Cela signifie que pour un éloignement supplémentaire de 3,3 millions d'années-lumière de la Terre, une galaxie semble se déplacer 73 kilomètres par seconde plus vite, en raison de l'expansion de l'Univers.

La mesure faite par l'équipe est proche de la valeur de la constante de Hubble de 74 calculée par l'équipe SHOES (Supernova H0 for the Equation of State), qui a utilisé la technique de l'échelle des distances.

Les valeurs de SHOES et H0LiCOW diffèrent sensiblement de celle de Planck (67), ce qui renforce la discordance entre les mesures de la constante de Hubble de l'univers moderne et la valeur prédite basée sur les observations de l'univers primitif.

Le nouveau résultat a été permis par des techniques innovantes de modélisation de la masse, développées pour mesurer la distribu-

tion de la matière d'une galaxie, notamment des modèles conçus pour utiliser l'imagerie Hubble à haute résolution.

Constituée en 2012, l'équipe H0LiCOW dispose désormais d'images Hubble et d'informations sur les retards d'une dizaine de quasars avec lentille. Elle continuera à rechercher et à suivre de nouveaux quasars à lentille en collaboration avec les chercheurs de deux nouveaux programmes. L'un de ces programmes, appelé STRIDES (STRong-lensing Insights into Dark Energy Survey), est à la recherche de nouveaux systèmes de quasars à lentille. Le second, appelé SHARP (Strong-lensing at High Angular Resolution Program), utilise l'optique adaptative avec les télescopes W.M. Keck pour imager de tels systèmes. L'objectif de l'équipe est d'observer 30 autres systèmes de quasars à lentille pour réduire leur incertitude de 2,4 % à 1 %.

Le futur télescope spatial James Webb de la NASA, dont le lancement est prévu en 2021, pourrait aider à atteindre cet objectif de 1% d'incertitude beaucoup plus rapidement grâce à la capacité de Webb à cartographier les vitesses des étoiles dans une galaxie à lentille, ce qui permettra aux astronomes de développer des modèles plus précis de la distribution de la matière noire dans la galaxie. Les travaux de l'équipe H0LiCOW ouvrent également la voie à l'étude de centaines de quasars à lentille que les astronomes découvrent grâce à des études telles que le Dark Energy Survey et le PanSTARRS (Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System), et le futur Large Synoptic Survey Telescope de la National Science Foundation, qui devrait permettre de découvrir des milliers de sources supplémentaires.

Le programme WFIRST (Wide Field Infrared Survey Telescope) de la NASA aurait pu aider les astronomes à résoudre le désaccord sur la valeur de la constante de Hubble en retraçant l'histoire de l'expansion de l'Univers. Ce programme semble malheureusement devoir être abandonné en raison des surcoûts du télescope Webb.

La galaxie lenticulaire IC 676

Située à environ 65 millions d'années-lumière, IC 676 est une galaxie lenticulaire barrée dont la masse stellaire est estimée à 1,3 milliard de fois celle du Soleil. Elle présente en son centre un noyau double dont les composantes sont séparées en projection d'environ 650 années-lumière le long du grand axe de la galaxie.

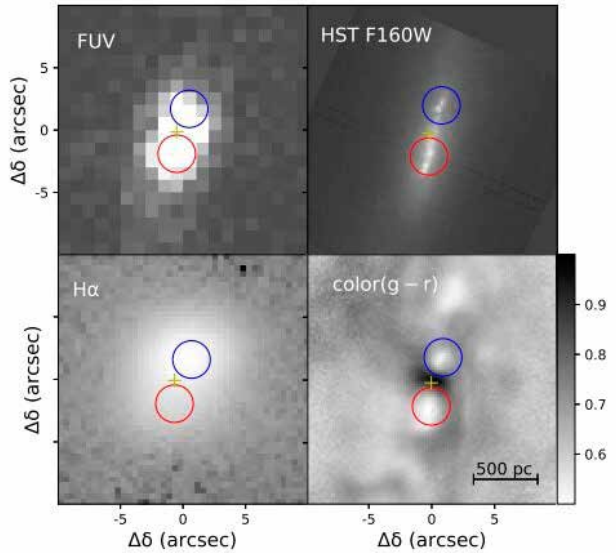
Les galaxies lenticulaires (type S0) sont considérées comme des intermédiaires entre les galaxies spirales et elliptiques. Elles présentent un renflement central et un disque semblables à ceux des galaxies spirales, mais n'ont pas de bras spiraux.

Les régions nucléaires des galaxies sont des composantes structurales importantes qui peuvent fournir des informations importantes sur leur formation et leur évolution. Des morphologies nucléaires particulières, telles que des noyaux multiples présentent ainsi un intérêt tout particulier.

Les observations ont montré que les régions centrales d'IC 676 sont le siège d'une formation stellaire active, avec un taux de formation stellaire d'environ 0,28 masse solaire par an.

Des observations spectroscopiques d'IC 676 ont été effectuées à l'aide du spectrographe et de la caméra pour objets faibles (BFOSC) du télescope de 2,16 mètres de l'observatoire de Xinglong. L'étude était axée sur la nature des noyaux doubles de la galaxie et les chercheurs espéraient que les observations permettraient de fixer des contraintes importantes aux processus physiques marquant l'évolution des galaxies. Pour les besoins de la recherche, les scientifiques ont également utilisé des données d'archives du Télescope Canada-France-Hawaii (CFHT) et du Télescope spatial Hubble (HST).

Les observations ont montré que les noyaux d'IC 676 contiennent plusieurs jeunes



Région centrale d'IC 676. Les images dans l'UV lointain sont de GALEX FUV, celle dans l'infrarouge proche à 1,6 micron est du HST. Les images dans le visible, H α et (g-r), sont du CFHT. Les deux noyaux sont marqués par les cercles bleus et rouges. (Zhou et al, 2020)

amas d'étoiles massives d'un âge d'un à dix millions d'années.

Le noyau nord a une activité de formation d'étoiles plus forte et une extinction par les poussières plus importante que le noyau sud, bien que les deux noyaux aient une métallicité stellaire similaire. L'activité de formation d'étoiles est la principale source d'ionisation des gaz dans les noyaux d'IC 676.

Les taux de formation stellaire sont estimés à 0,19 et 0,08 masse solaire par an pour les noyaux nord et sud, respectivement. Cela confirme que la quasi-totalité de la formation d'étoiles dans l'IC 676 leur est due.

IC 676 semble avoir eu une histoire complexe. Le gaz de la galaxie est probablement affecté par la barre stellaire et poussé vers les régions intérieures de la galaxie, ce qui entraîne la formation d'étoiles.

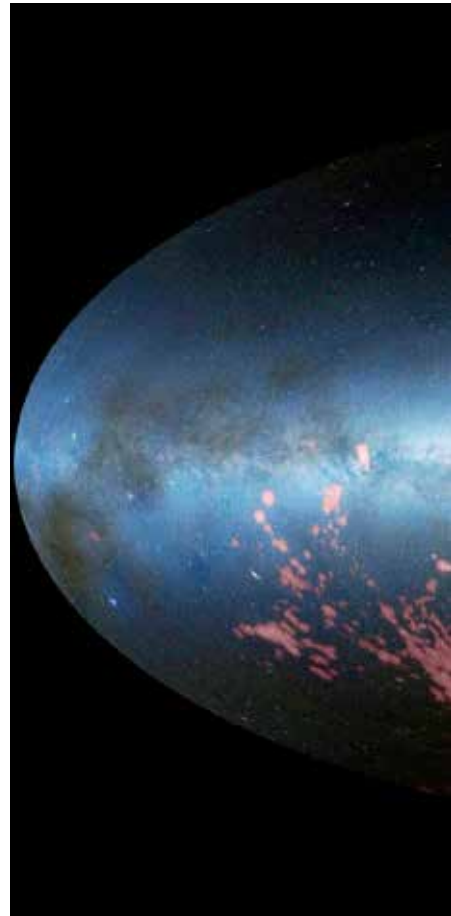
Amas Price-Whelan 1

Les chercheurs ont trouvé un amas de centaines d'étoiles jeunes en bordure de la Voie lactée qui semble s'être formé à partir de gaz arraché aux Nuages de Magellan. Contrairement au centre galactique la majeure partie du combustible disponible loin du centre galactique a déjà été utilisée ce qui rend cette découverte très surprenante.

L'analyse spectrale suggère qu'au moins les 27 étoiles les plus brillantes de l'amas ont une teneur en métaux inhabituellement faible, ce qui plaide pour une origine extragalactique. Le responsable serait selon toute probabilité le bras principal du « courant de Magellan », un nuage qui s'étire des Nuages de Magellan vers la Voie lactée et qui est trop ténu pour pouvoir donner naissance à des étoiles.



◀ *Illustration situant l'amas Price-Whelan 1 par rapport à la Voie lactée et aux Nuages de Magellan. (Meli thev, CC BY-SA 4.0)*

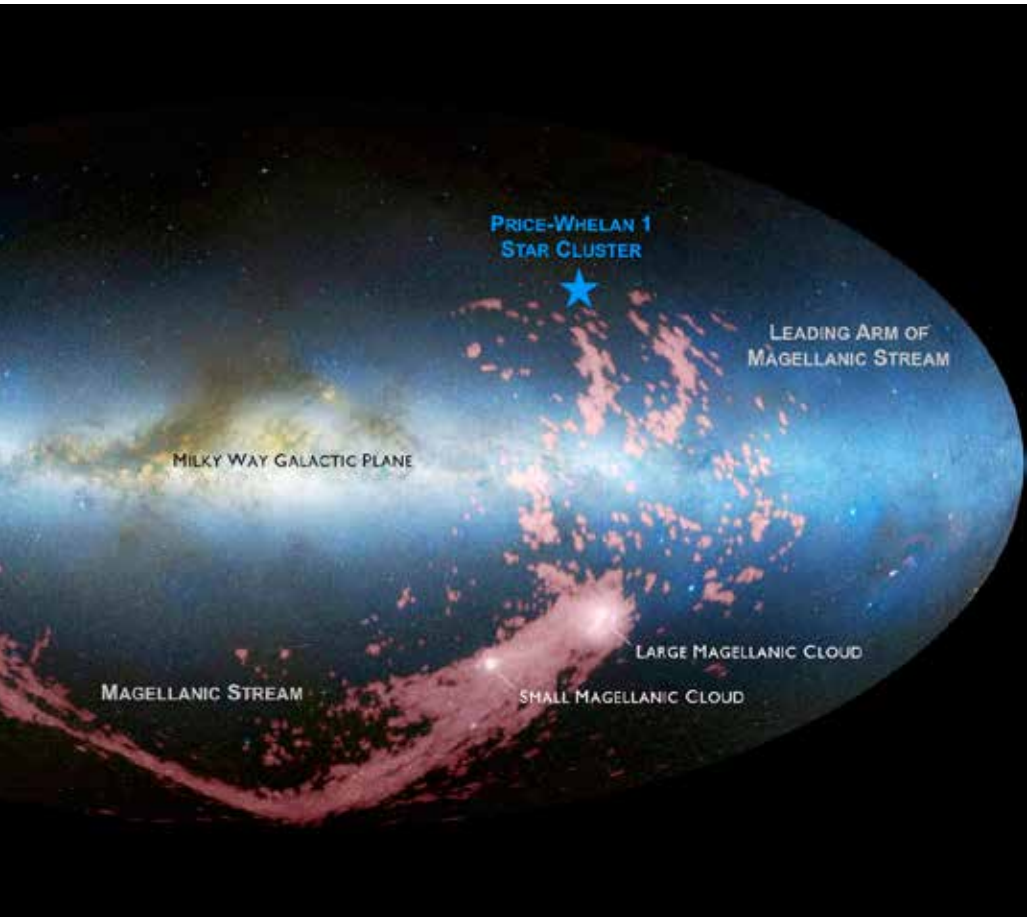


Les astronomes pensent que ce courant a probablement traversé la Voie lactée et est entré en collision avec le milieu interstellaire local en engendrant une espèce d'onde de choc. La compression résultante a permis à certaines régions du courant de s'effondrer sous l'effet de la gravité et de former des étoiles dont les caractéristiques spectrales reflètent celle du courant et non de notre galaxie.

Cette découverte devrait permettre de mieux connaître le courant de Magellan et de prévoir son interaction avec la Voie lactée, ainsi que où et quand il formera de nouveaux amas d'étoiles.

Un nouvel amas d'étoiles jeunes a été découvert loin des régions centrales de notre galaxie. Ces étoiles se sont probablement formées à partir de matière provenant de nos plus voisines extragalactiques, les Nuages de Magellan.

(D. Nidever ; NASA)



Bételgeuse

Basé sur un communiqué ESO

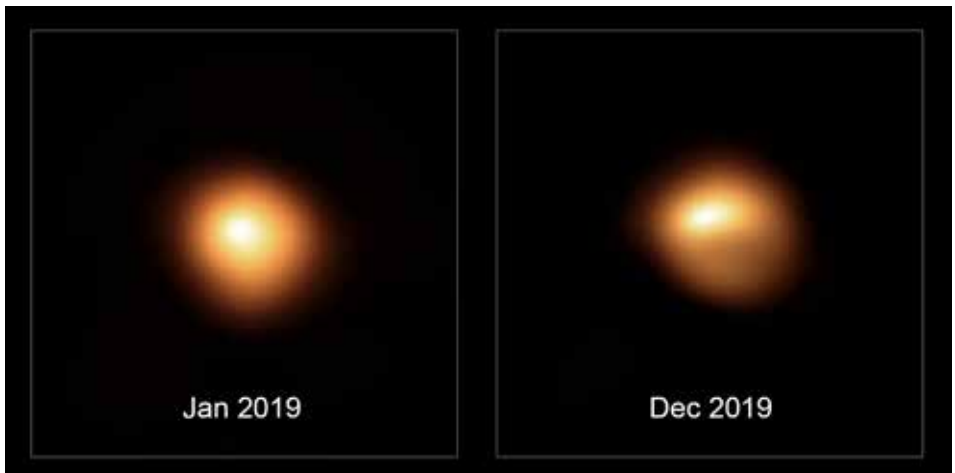
Grâce au Very Large Telescope (VLT) de l'ESO, les astronomes ont capturé une image figurant l'affaiblissement sans précédent de Bételgeuse, une supergéante rouge de la constellation d'Orion. Les clichés récents témoignent, non seulement de la baisse de luminosité de la supergéante rouge, mais également des modifications de sa forme apparente.

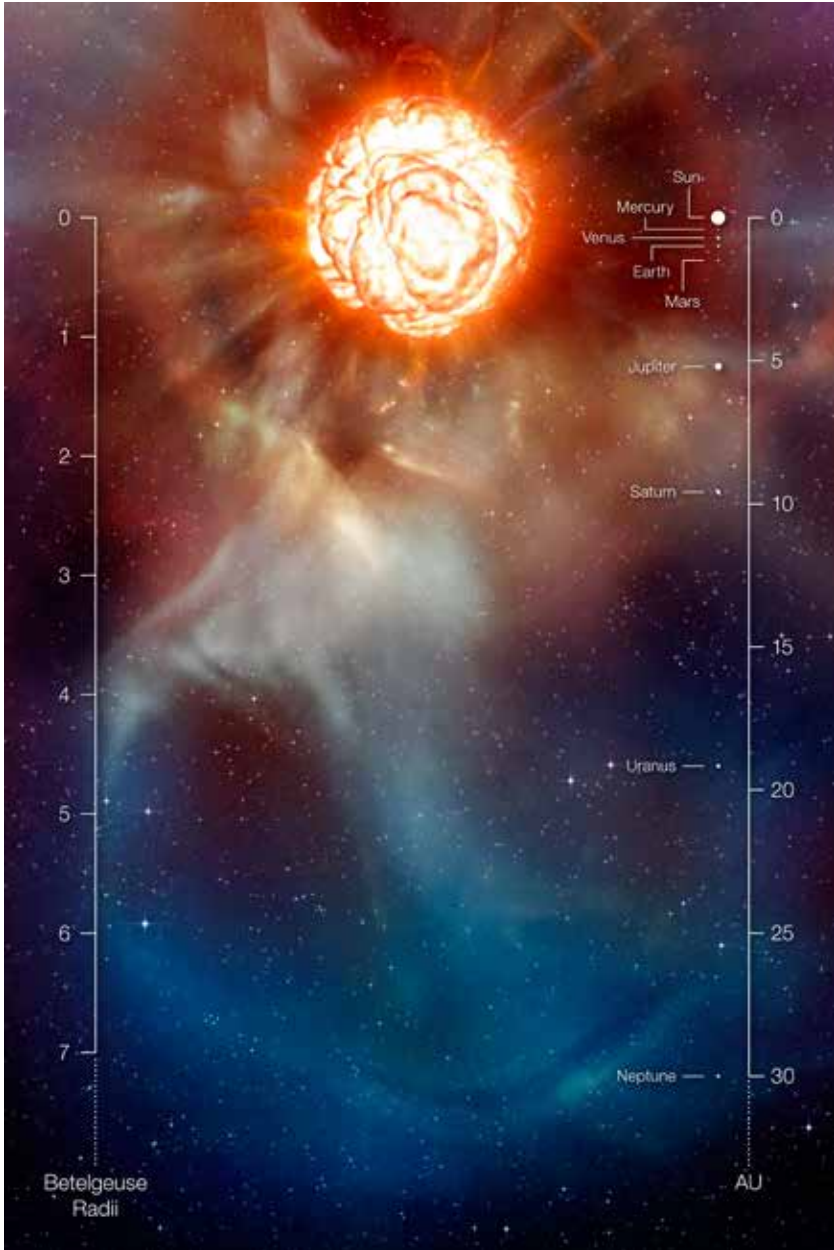
Bételgeuse a longtemps constitué, pour les observateurs stellaires, un phare dans le ciel nocturne. L'année passée toutefois, sa luminosité a commencé à diminuer pour atteindre en février seulement 36% de sa valeur habituelle, un changement nettement visible à l'œil nu.

Des astronomes qui avaient déjà observé l'étoile au moyen de l'instrument SPHERE du VLT en janvier 2019 l'ont réobservée en décembre dans le but de comprendre la raison de sa soudaine baisse de luminosité. Nous disposons ainsi de deux clichés de Bételgeuse témoignant de l'avant et de l'après de la baisse de luminosité. Acquisées en lumière visible, ces images montrent les changements intervenus, tant dans la brillance que dans la forme de l'étoile.

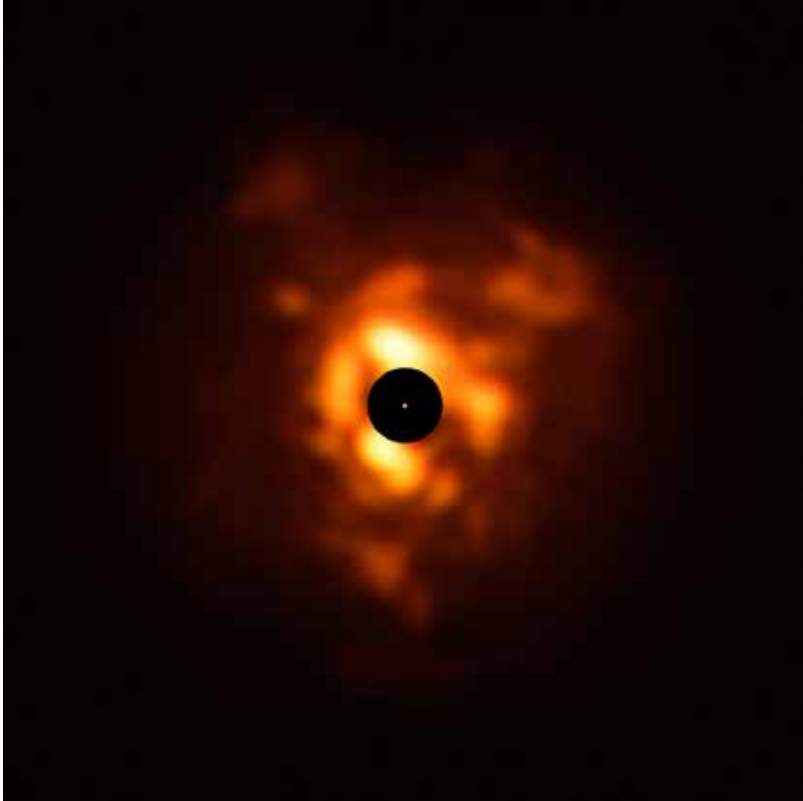
De nombreux astronomes amateurs se sont demandé si la baisse de luminosité de Bételgeuse signifiait qu'elle était sur le point d'exploser. À l'instar des autres supergéantes rouges, Bételgeuse deviendra tôt ou tard une supernova, mais cela ne semble pas imminent. D'autres hypothèses sont susceptibles de rendre compte de ces changements de forme et de brillance dont témoignent les images de SPHERE. Un scénario repose sur un refroidissement de la surface généré par une activité stellaire exceptionnelle. La surface irrégulière de Bételgeuse est parsemée de vastes cellules convectives qui se déplacent, rétrécissent et gonflent alternativement. En outre, l'étoile pulse. Ces battements de cœur rendent compte de ses variations périodiques de luminosité. Les changements de convection et de pulsation observés à la surface de Bételgeuse témoignent simplement de son activité stellaire. Un autre scénario invoque l'éjection de poussière le long de la ligne de visée.

Bételgeuse avant et après son importante perte de luminosité. Les observations ont été acquises au moyen de l'instrument SPHERE qui équipe le Very Large Telescope de l'ESO. Outre l'affaiblissement, on constate un changement d'apparence. (ESO/M. Montargès et al.)





Vue d'artiste de la supergéante rouge Bételgeuse. L'échelle, graduée en rayons stellaires, permet une comparaison avec le Système solaire. (ESO/L. Calçada)



L'observatoire Paranal de l'ESO est l'une des rares installations capables d'imager la surface de Bételgeuse. Les instruments qui équipent le VLT permettent d'effectuer des observations dans une large gamme de longueurs d'onde s'étendant du visible à l'infrarouge moyen, offrant aux astronomes la possibilité d'observer tant la surface de Bételgeuse que la matière environnante.

Une autre image, acquise cette fois au moyen de l'instrument VISIR du VLT, montre la lumière infrarouge émise par la poussière qui entoure l'étoile Bételgeuse au mois de décembre 2019. La longueur d'onde de l'image est semblable à celle qu'utilisent les caméras thermiques. Les nuages de poussière, qui jaillissent telles des flammes sur l'image de VISIR, se forment lorsque l'étoile expulse de la matière dans l'espace.

Image prise en décembre 2019 grâce à l'instrument VISIR et montrant l'émission thermique de la poussière qui entoure Bételgeuse. Le disque noir occulte le centre de l'image pour éviter la saturation. Le point orange central est l'image de Bételgeuse acquise par SPHERE, dont les dimensions avoisinent celles de l'orbite de Jupiter. (ESO/P. Kervella/M. Montargès et al., Eric Pantin)

FRB périodique

Les FRB (Fast Radio Bursts : sursauts radio rapides) sont de brèves émissions radio (quelques millisecondes) extragalactiques. Leur origine est inconnue.

Certaines sources de FRB émettent de façon répétitive, ce qui exclut une origine cataclysmique. On parle alors de « répéteurs ». Les recherches de périodicité n'ont rien donné quelle que soit l'échelle de temps explorée, de quelques millisecondes à plusieurs jours. Les éclairs apparaissent sporadiquement, sans schéma régulier.

Une exception, cependant, vient d'être mise en évidence. Le projet CHIME/FRB (Canadian Hydrogen Intensity Mapping Experiment Fast Radio Burst Project) a permis de détecter une périodicité de $16,35 \pm 0,18$ jours pour le répéteur FRB 180916.J0158+65. 28 événements enregistrés entre le 16 septembre 2018 et le 30 octobre 2019 se placent autour de la même phase dans une fenêtre de 4 jours, certains

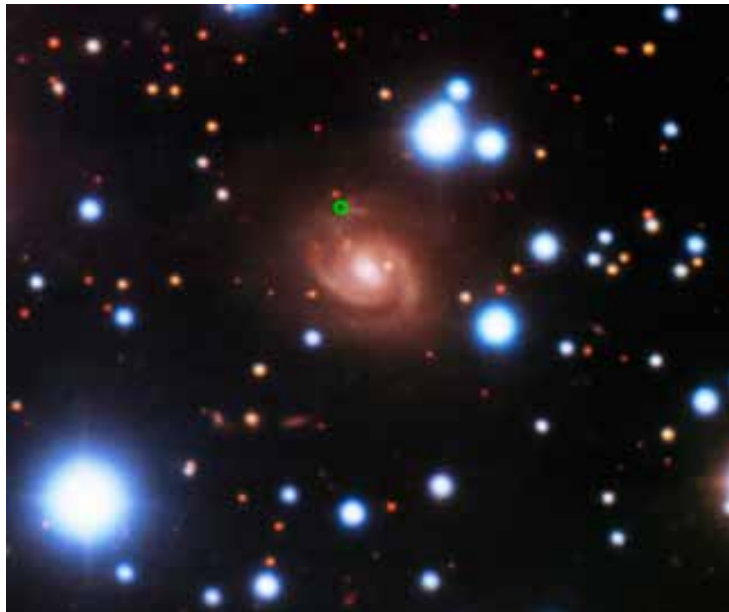
cycles ne présentant aucun éclat, et d'autres en présentant plusieurs. Ce résultat suggère une modulation périodique soit de l'émission de la salve elle-même, soit par amplification ou absorption, et excluent les modèles invoquant des processus purement sporadiques.

La collaboration CHIME/FRB a rapporté la découverte de huit nouvelles sources répétitives FRB, dont FRB 180916.J0158+65 qui a été récemment localisée dans une région de formation d'étoiles située dans un bras d'une galaxie spirale massive proche, à un décalage vers le rouge de $0,0337 \pm 0,000210$.

FRB 180916.J0158+65 est la source la plus active de ce récent échantillon de répéteur CHIME/FRB.

Les sursauts radio rapides se produisent probablement depuis des milliards d'années, mais ils n'ont été découverts qu'en 2007. Depuis on n'en a trouvé que quelques dizaines. Il a fallu attendre juin 2019 pour que les astronomes puissent associer un FRB et sa galaxie hôte.

L'origine du répéteur de sursauts brefs FRB 180916.J0158+65 a été retracée dans la galaxie spirale SDSS J015800.28 + 654253.0 distante de 500 millions d'années-lumière. À l'heure actuelle, la galaxie d'origine n'a pu être localisée que pour trois FRB. (Gemini Observatory/AURA)





Ces sursauts sont si rares, et si brillants – ils sont visibles jusqu’à des milliards d’années-lumière – que l’on avait tendance à supposer qu’ils provenaient d’un événement cataclysmique, comme la collision de deux étoiles.

Le schéma répétitif révélé par CHIME/FRB suggère bien autre chose. Le FRB 180916.J0158+65 traverse périodiquement des cycles d’activité de quatre jours, pouvant émettre des ondes radio presque toutes les heures. Ensuite vient une période de silence de 12 jours. Parfois, la source semble sauter ces périodes de veille de quatre jours, ou ne laisse échapper qu’un seul éclair. Il faut cependant remarquer que CHIME/FRB ne peut surveiller le FRB en permanence et le détecteur a pu rater de nombreux FRB pendant la période d’activité.

***Le radiotélescope CHIME en Colombie-Britannique a révélé une périodicité dans les sursauts émis par le répéteur rapide FRB 180916.J0158+65.
(CHIME Collaboration)***

Personne ne sait ce que ce schéma signifie, mais il contredit les explications habituelles avancées pour les FRB.

En général, des processus périodiques en astrophysique sont liés à des objets en rotation ou en orbite. Par exemple le clignotement des pulsars dû à la rotation d’étoiles à neutrons, les variations de lumière dues à des éclipses ou des transits d’étoiles ou de planètes.

FRB 180916.J0158+65 semble bien indiquer un mécanisme lié à une rotation, mais il est trop tôt pour dire si ce schéma régit tous les FRB ou seulement certains d’entre eux.

Trous noirs de galaxies naines

Basé sur un communiqué NRAO

Le VLA (Karl G. Jansky Very Large Array) a permis la découverte de 13 trous noirs supermassifs dans des galaxies naines situées à moins d'un milliard d'années-lumière. Cela devrait aider les astronomes à comprendre les mécanismes qui ont abouti à la formation de trous noirs massifs au début de l'histoire de l'Univers.

Les galaxies naines sont plus de 100 fois moins massives que la Voie lactée. Elles sont connues pour abriter des trous noirs centraux d'une masse moyenne d'environ 400 000 fois celle du Soleil. Le premier de ces trous noirs avait été trouvé en 2011, déjà avec le VLA,

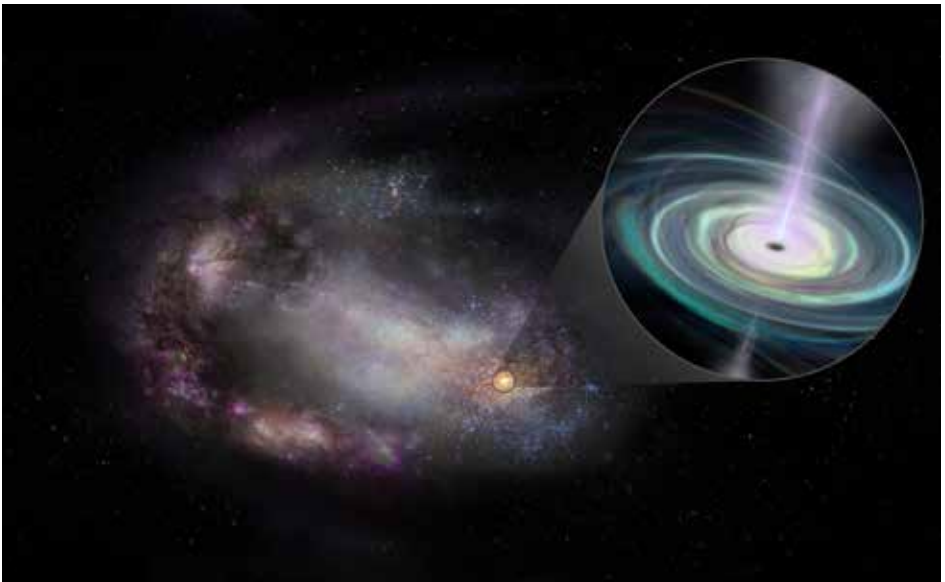
Illustration artistique d'une galaxie naine déformée après une interaction avec une autre galaxie et abritant un trou noir loin de son centre. Le trou noir avale la matière environnante via un disque d'accrétion et envoie une partie dans l'espace sous la forme de deux jets symétriques.
(Sophia Dagnello, NRAO/AUI/NSF)

une découverte qui fut une réelle surprise pour les astronomes et qui suscita de nouvelles recherches.

Les astronomes ont commencé par sélectionner un échantillon de galaxies dans le NASA-Sloan Atlas, un catalogue de galaxies réalisé avec des télescopes optiques. Ils ont choisi les galaxies dont les étoiles totalisent moins de 3 milliards de fois la masse du Soleil, soit à peu près l'équivalent du Grand Nuage de Magellan. De cet échantillon, ils ont retenu celles qui montraient une faible émission radio à la longueur d'onde de 20 cm dans le sondage FIRST (Faint Images of the Radio Sky at Twenty centimeters) réalisé également au VLA entre 1993 et 2011.

Ce même VLA a alors été utilisé pour observer à haute résolution, et à plus grande sensibilité, 111 des galaxies sélectionnées.

Les nouvelles observations ont révélé que 13 galaxies abritent probablement un trou noir massif actif se nourrissant de la matière environnante. Curieusement, dans la moitié de ces galaxies, le trou noir est excentré, contrairement aux grandes galaxies dont le trou noir occupe exactement le centre. Cela signifie que





les galaxies ont probablement fusionné avec d'autres au cours de leur évolution, ce qui est en accord avec les simulations numériques qui prédisent qu'environ la moitié des trous noirs massifs des galaxies naines doivent errer dans les régions périphériques.

▲ *Images en lumière visible de galaxies observées avec le VLA et montrant des signes de présence d'un trou noir massif. Au centre, l'illustration d'un trou noir actif. (Sophia Dagnello, NRAO/AUI/NSF; DECaLS survey; CTIO)*

► *Vue du Very Large Array Radiotelescope. (CC BY 2.0 / nerolf)*



La nébuleuse Oméga

Basé sur un communiqué NASA/JPL

L'une des régions de formation d'étoiles les plus brillantes et les plus massives de notre galaxie, la nébuleuse Oméga, ou du Cygne, n'a sa forme caractéristique que depuis relativement peu de temps. De nouvelles observations révèlent que des régions se sont formées séparément au cours de plusieurs épisodes de naissance d'étoiles. La nouvelle image obtenue par SOFIA, l'observatoire stratosphérique pour l'astronomie infrarouge, permet aux astronomes de retracer l'évolution de cette nébuleuse.

Lever le voile sur les secrets de la nébuleuse n'est pas une tâche facile. Elle est située à plus de 5 000 années-lumière dans la constellation du Sagittaire. Elle contient en son centre plus de 100 étoiles jeunes parmi les plus massives de la Galaxie. Ces étoiles ont plusieurs fois la taille du Soleil et sont beaucoup plus brillantes que lui, mais de plus jeunes générations se forment dans des cocons de poussière et de gaz, où elles sont très difficiles à voir, même avec des télescopes spatiaux. Comme la région centrale est très brillante, les détecteurs des télescopes spatiaux étaient saturés aux longueurs d'onde étudiées par SOFIA.

Heureusement, la caméra infrarouge de SOFIA, FORCAST (Faint Object Infrared Camera for the SOFIA Telescope) vient à la rescousse pour percer ces cocons.

La nouvelle image révèle neuf protoétoiles, des zones denses de la nébuleuse qui s'effondrent sur elles-mêmes assurant ainsi la première étape de la naissance des étoiles. En estimant l'âge des différentes régions de la nébuleuse les astronomes ont découvert que certaines parties n'ont pas été créées en même temps, mais ont pris forme au cours de plusieurs épisodes de formation stellaire.

La région centrale est la plus ancienne, la plus évoluée et a probablement été la première à se former. Ensuite, la région nord s'est formée, tandis que la région sud est la plus jeune. Même si la région septentrionale est plus ancienne que la région méridionale, le rayonnement et les vents stellaires des générations d'étoiles précédentes ont perturbé la matière qui s'y trouvait, l'empêchant de s'effondrer pour former la prochaine génération.

Les étoiles massives, comme celles de la nébuleuse du Cygne, libèrent tellement d'énergie qu'elles peuvent changer l'évolution de galaxies entières. Mais moins d'un pour cent de toutes les étoiles sont aussi énormes, et les astronomes en savent très peu sur elles. Les observations antérieures de cette nébuleuse faites avec des télescopes spatiaux n'avaient jamais révélé autant de détails que SOFIA.

Mosaïque de la région de la nébuleuse Oméga obtenue dans le cadre du survey 2MASS. En rouge l'hydrogène ionisé par le rayonnement des étoiles massives. (2MASS/UMass/IPAC-Caltech/NASA/NSF)





Image composite de la nébuleuse Oméga due à SOFIA. On y voit en bleu le gaz chauffé par les étoiles massives et émettant à 20 microns. Le vert, près du centre révèle l'émission à 37 microns de la poussière chauffée à la fois par les étoiles massives et les étoiles jeunes proches. Les nouvelles protoétoiles ont été trouvées principalement dans les régions sud. Les zones rouges près du bord correspondent à la poussière froide détectée par le télescope spatial

Herschel à 70 microns, tandis que le champ stellaire est dû au télescope spatial Spitzer (3,6 microns). Les télescopes spatiaux n'ont pas pu observer les régions bleues et vertes en grand détail parce que les détecteurs étaient saturés. Cette image suggère que des parties de la nébuleuse se sont formées séparément pour créer la forme caractéristique. (NASA/SOFIA/Lim, De Buizer, & Radomski et al. ; ESA/Herschel ; NASA/JPL-Caltech)

TOI 700 d

Basé sur un communiqué NASA/JPL

Le télescope spatial TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) a découvert sa première planète de taille terrestre située dans la zone « habitable » de son étoile, c'est-à-dire là où les conditions permettent à l'eau d'exister sous forme liquide à la surface d'une planète. Les scientifiques ont confirmé cette découverte à l'aide du télescope spatial Spitzer.

TOI 700 d est l'une des rares planètes de la taille de la Terre découvertes jusqu'à présent dans la zone habitable d'une étoile. Parmi les autres, on compte plusieurs planètes du système TRAPPIST-1 et une vingtaine d'autres mondes découverts par le télescope spatial Kepler.

TESS a été conçu spécifiquement pour trouver des planètes de la taille de la Terre en orbite autour d'étoiles proches. Ces planètes peuvent ensuite être étudiées avec de plus puissants télescopes, dans l'espace et sur la Terre.

La découverte de TOI 700 d est un moment clé pour TESS. Confirmer la taille de la planète et sa présence dans la zone habitable est aussi une victoire pour Spitzer alors qu'il approchait de la fin de ses opérations scientifiques (prévue en janvier).

TESS surveille successivement de grandes étendues de la sphère céleste, des « secteurs », pendant 27 jours d'affilée. Cela permet au satellite de suivre les changements

de luminosité des étoiles causés par le transit de planètes.

TOI 700 est une étoile naine froide de type M située à un peu plus de 100 années-lumière dans la constellation australe de la Dorade. Elle a environ 40 % de la masse et de la taille du Soleil et environ la moitié de sa température de surface. L'étoile apparaît dans 11 des 13 secteurs TESS observés au cours de la première année de la mission, et les scientifiques ont pu relever de multiples transits de ses trois planètes.

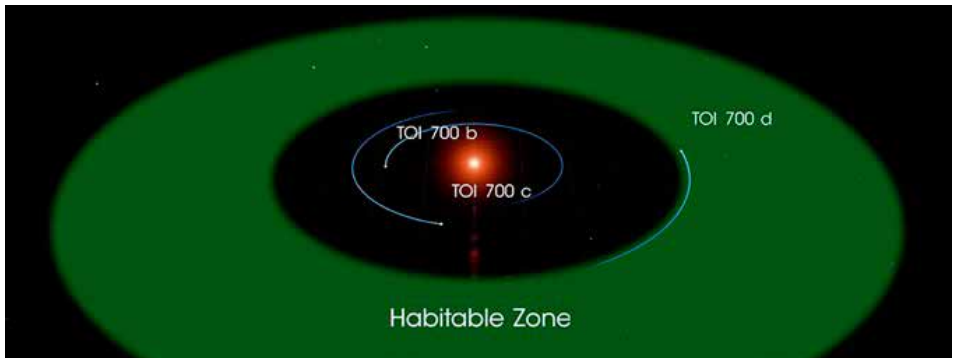
À l'origine, l'étoile a été mal classée dans la base de données TESS, car elle ressemblait davantage au Soleil. Les planètes paraissaient donc plus grosses et plus chaudes qu'elles ne le sont en réalité. Après correction des paramètres de l'étoile, la taille des planètes a diminué, et la plus éloignée s'est révélée de la taille approximative de la Terre et elle se trouvait être dans la zone habitable.

En 11 mois d'observations, l'étoile n'a présenté aucune éruption, ce qui accroît les chances que TOI 700 d soit habitable et facilite la modélisation de ses conditions atmosphériques et de surface.

La planète la plus intérieure du système, TOI 700 b, a presque exactement le diamètre

Le système TOI 700, distant de 100 années-lumière, abrite une planète de taille terrestre dans sa zone habitable, la première de ce type découverte par TESS.

(NASA's Goddard Space Flight Center)





***TOI 700 d. Impression d'artiste.
(NASA)***

tifiques selon lesquelles les planètes intérieure et extérieure sont rocheuses et la planète moyenne est gazeuse.

De futures missions spatiales pourraient déterminer si les planètes ont une atmosphère et déterminer leur composition.

Bien que les conditions exactes sur TOI 700 d soient encore inconnues, les scientifiques peuvent utiliser l'information

actuelle, comme la taille de la planète et le type d'étoile autour de laquelle elle orbite, pour générer des modèles informatiques et faire des prédictions. Les chercheurs ont modélisé 20 environnements potentiels de TOI 700 d afin de déterminer les températures et pressions de surface convenant à l'habitabilité. Leurs modèles climatiques 3D ont exploré une variété de types de surface et de compositions atmosphériques généralement associés à ce que les scientifiques considèrent comme des mondes potentiellement habitables. Parce que TOI 700 d est verrouillé par la marée à son étoile, les formations nuageuses et les régimes de vent de la planète peuvent être étonnamment différents de ceux de la Terre.

Une des simulations comprenait une TOI 700 d couverte d'océan avec une atmosphère dense, dominée par le dioxyde de carbone, semblable à ce que les scientifiques soupçonnent d'avoir entouré la jeune Mars. L'atmosphère du modèle contient une profonde couche de nuages du côté jour. Un autre modèle représente TOI 700 d comme une version sans nuages et entièrement terrestre de la Terre moderne, où les vents s'éloignent du côté nocturne de la planète et convergent vers le point faisant directement face à l'étoile. Des spectres ont été simulés pour chacun des 20 modèles, ce qui pourrait permettre de les comparer avec de vrais spectres de TOI 700 d lorsqu'un futur télescope en aura obtenus. Quel que soit le résultat il est presque certain que ce sera très différent de ce que nous connaissons sur Terre.

de la Terre. Elle est probablement rocheuse et effectue une orbite tous les 10 jours. La planète du milieu, TOI 700 c, est 2,6 fois plus grande que la Terre – entre les dimensions de la Terre et celles de Neptune. Elle effectue une orbite tous les 16 jours et est probablement une géante gazeuse. TOI 700 d, la planète la mieux connue du système et la seule de la zone habitable, mesure 20 % de plus que la Terre, orbite en 37 jours et reçoit de son étoile 86 % de l'énergie que le Soleil fournit à la Terre. On pense que toutes les planètes sont synchronisées avec l'étoile, ce qui signifie que la même face est constamment dirigée vers elle.

Des observations de suivi réalisées avec l'observatoire spatial Spitzer ont permis de confirmer le statut de TOI 700 d. Spitzer a vu le transit de TOI 700 d exactement au moment prédit. Les données de Spitzer ont ainsi augmenté la confiance des scientifiques dans la réalité de TOI 700 d et ont affiné leurs mesures de sa période orbitale et de sa taille. Elles ont également permis d'écarter d'autres causes possibles du signal de transit, comme la présence d'un petit compagnon stellaire.

Les observations d'un télescope de 1 mètre de l'observatoire de Las Cumbres ont servi également à préciser les données relatives à TOI 700 c.

Étant donné que TOI 700 est brillante, proche et ne montre aucun signe d'éruptions, le système est un candidat de choix pour des mesures de masse précises par les observatoires terrestres actuels. Ces mesures pourraient confirmer les estimations des scien-



Amas de Coma et de Persée

Basé sur un communiqué ESA

Les mouvements du gaz chaud dans les amas de galaxies de Persée et Coma ont été déterminés grâce à une nouvelle technique de calibration des données du télescope spatial XMM-Newton.

Les amas de galaxies sont les plus grands systèmes de l'Univers liés par la gravité. Ils contiennent des centaines ou des milliers de galaxies et de grandes quantités de plasma atteignant des températures de 50 millions de degrés qui le rendent brillant dans le domaine des rayons X.

On connaît peu de choses sur les mouvements de ce plasma, alors qu'ils pourraient nous amener à comprendre le comportement des amas, comment ils se forment et évoluent. Pour combler cette lacune les astronomes ont sélectionné deux amas de galaxies proches bien connus, massifs et brillants, ceux de Persée et de Coma et en ont cartographié la vitesse radiale du plasma.

Les grands champs étudiés – une zone de la taille de deux pleines lunes pour Persée, et de quatre pour Coma – ont nécessité l'uti-

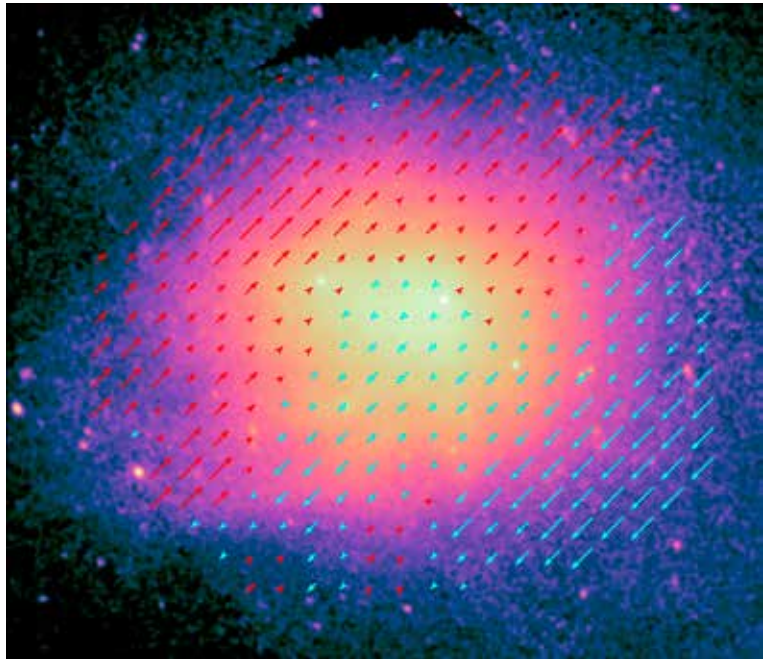
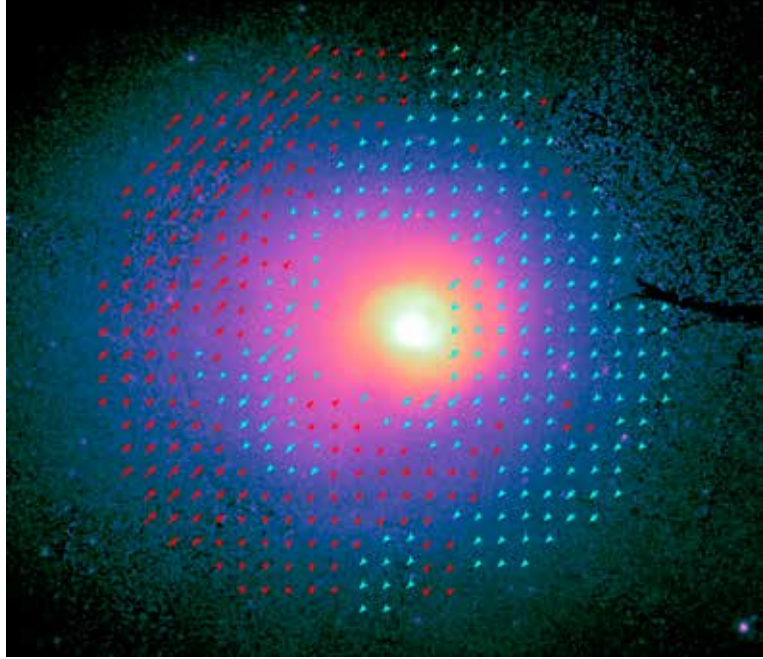
Image composite X et visible de l'amas de galaxies de Persée – l'un des objets connus les plus massifs de l'Univers – obtenue avec la caméra EPIC de XMM-Newton et le Digitized Sky Survey II. (ESA/XMM-Newton/DSS-II/J. Sanders et al. 2019)

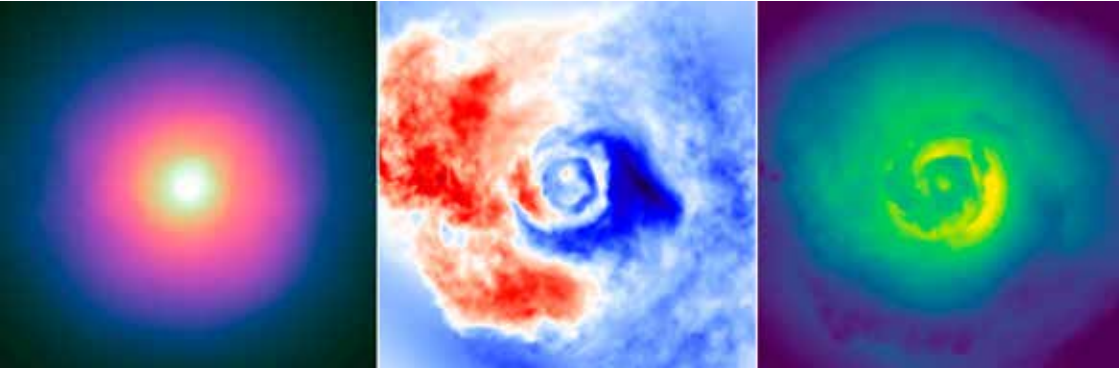
lisation du télescope spatial XMM-Newton, le seul capable de les observer en un temps raisonnable.

Le plasma s'est révélé animé de mouvement désordonnés dans l'amas de Persée, l'un des objets connus les plus massifs de l'Univers, et l'amas le plus brillant du ciel en rayons X. Bien que ces ballottements aient été prédits par la théorie, ils n'avaient pas encore été observés dans le cosmos.

Des simulations numériques suggèrent que les mouvements résultent de la collision et de la fusion de petits sous-amas de galaxies avec l'amas principal lui-même. Ces événements sont suffisamment énergiques pour perturber le champ gravitationnel de Persée et déclencher une agitation durant plusieurs millions d'années.

*Cartographie des
mouvements radiaux
dans les amas de Persée
(en haut) et Coma.
Les flèches bleues
représentent le gaz qui
se rapproche de nous, et
les rouges représentent
le gaz qui s'éloigne. La
longueur des flèches
donne la grandeur de la
vitesse.
(ESA/XMM-Newton/
DSS-II/J. Sanders et al.
2019)*





Contrairement à celui de Persée, caractérisé par plusieurs sous-structures, l'amas de Coma semble plutôt être un amas massif, composé de deux sous-amas principaux qui fusionnent lentement sans provoquer de grande agitation. Coma contient deux galaxies centrales massives au lieu d'un seul monstre comme c'est habituellement le cas dans les amas. Différentes régions montrent des mouvements différents qui laissent penser qu'elles sont seulement en train de se réunir pour former un seul objet cohérent.

Cette découverte a été rendue possible grâce à une nouvelle technique d'étalonnage appliquée à la caméra EPIC de XMM-Newton. Cette méthode ingénieuse, qui a nécessité l'extraction de deux décennies de données archivées, a permis d'améliorer la précision des mesures de vitesse de la caméra par un facteur de plus de 3,5 en réduisant d'insidieux effets instrumentaux.

EPIC comprend trois caméras CCD conçues pour capturer les rayons X de basse et haute énergies et fait partie d'un trio d'instruments avancés à bord de XMM-Newton.

Explorant le ciel dynamique des rayons X depuis son lancement en 1999, XMM-Newton est le plus grand satellite scientifique jamais construit en Europe et transporte certains des plus puissants miroirs de télescope jamais développés.

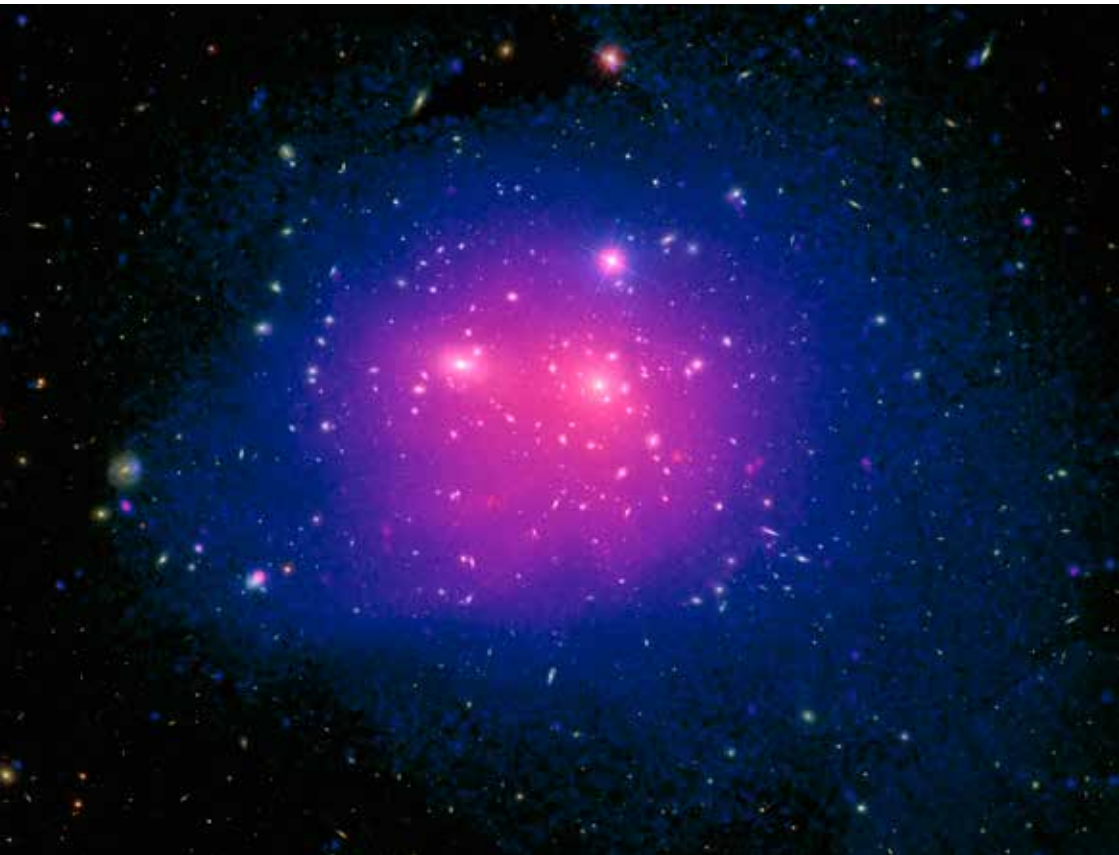
Simulation de l'amas de Persée montrant la luminosité du gaz de l'amas en rayons X (à gauche), sa température (au milieu) et ses vitesses (à droite).

Le gaz le plus brillant est visible dans des tons de jaune-orange et le plus faible dans des tons de violet foncé et de noir (à gauche); le gaz le plus chaud est représenté en rouge sombre et le plus froid en bleu sombre (au centre).

Le gaz animé des mouvements les plus rapides est en jaune, tandis que le plus lent est en bleu foncé (à droite).

(ESA/XMM-Newton/DSS-II/J. Sanders et al. 2019)

Ces observations XMM-Newton resteront inégalées jusqu'au lancement du télescope Athena (Advanced Telescope for High-ENERgy Astrophysics) de l'ESA en 2031, l'étude d'aussi grands champs dépassant largement les capacités des autres futurs télescopes spatiaux X comme XRISM (X-ray Imaging and Spectroscopy Mission) un projet commun JAXA/NASA. Athena combinera un grand télescope à rayons X et des instruments scientifiques de pointe pour jeter un nouvel éclairage sur l'univers des hautes énergies.



▲ *Image composite X et visible de l'amas de galaxies de Coma obtenue avec la caméra EPIC de XMM-Newton et le Digitized Sky Survey II. (ESA/XMM-Newton/DSS-II/J. Sanders et al. 2019)*

◀ *Vue d'artiste de XMM-Newton, le télescope X le plus sensible jamais construit. Sa conception de haute technologie fait appel à plus de 170 miroirs cylindriques de faible épaisseur répartis sur trois télescopes. Son orbite l'amène à presque un tiers du trajet vers la Lune. Lancé depuis Kourou, en Guyane française, le 10 décembre 1999, il tire son nom de sa conception de multi-miroirs à rayons X et rend hommage à Sir Isaac Newton. (ESA)*

NGC 6240

Basé sur un communiqué NRAO

Le réseau ALMA a permis de créer l'image la plus détaillée à ce jour des nuages de gaz entourant deux trous noirs supermassifs dans une galaxie. Celle-ci, NGC 6240, distante de 400 millions d'années-lumière dans la constellation d'Ophiuchus, résulte de la collision et de la fusion de deux galaxies. NGC 6240 a déjà été observée à plusieurs reprises, car elle est relativement proche. Sa forme est irrégulière, complexe et chaotique. La collision entre les deux galaxies originales est toujours en cours et leurs trous noirs supermassifs n'ont pas encore fusionné.

Les nouvelles observations d'ALMA ont accru d'un facteur dix la résolution des images obtenues auparavant, montrant pour la première fois la structure du gaz froid dans la galaxie, même dans la sphère d'influence des trous noirs.

La clé pour comprendre ce système de galaxies est le gaz moléculaire. Il est le

combustible nécessaire à la formation des étoiles, mais il alimente aussi les trous noirs supermassifs, ce qui leur permet de se développer.

La majeure partie du gaz se trouve dans une région située entre les deux trous noirs. Des observations moins détaillées faites précédemment suggéraient que le gaz pourrait être distribué dans un disque en rotation. Les

NGC 6240 vue par ALMA (en haut à droite) et le télescope spatial Hubble (image combinée à gauche et zoom de la partie centrale en bas à droite). Dans l'image ALMA, le gaz moléculaire est bleu et les trous noirs sont les points rouges.

ALMA offre la vue la plus nette du gaz moléculaire autour des trous noirs dans cette galaxie en fusion.

(ALMA/ESO/NAOJ/NRAO, E. Treister; NRAO/AUI/NSF, S. Dagnello; NASA/ESA Hubble)



images d'ALMA montrent au contraire un flux chaotique de gaz avec des filaments et des bulles entre les trous noirs. Une partie du gaz est expulsé vers l'extérieur à une vitesse pouvant atteindre 500 kilomètres par seconde.

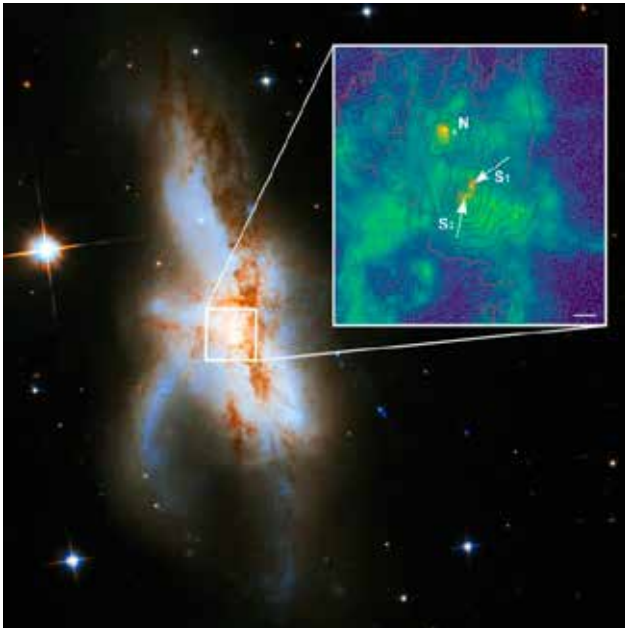
Une autre raison d'observer le gaz de façon aussi détaillée est que cela aide à déterminer la masse des trous noirs. Les modèles précédents, basés sur le mouvement des étoiles environnantes, indiquaient que les trous noirs étaient beaucoup plus massifs que ce à quoi nous nous attendions, soit environ un milliard de fois la masse du Soleil. Les nouvelles données montrent pour la première fois combien de gaz est effectivement capturé dans la sphère d'influence des trous noirs. Cette masse est importante, ce qui permet de réduire les estimations de la masse des trous noirs : quelques centaines de millions de fois la masse du Soleil.

Ce résultat laisse penser que la plupart des mesures précédentes de trous noirs dans des systèmes tels que celui-ci pourraient être erronées de 5 à 90%.

Le gaz est plus concentré autour des trous noirs qu'on ne l'imaginait. Il est situé dans un environnement très extrême et l'on pense qu'il finira par tomber dans les trous noirs, ou qu'il sera éjecté à grande vitesse.

Les astronomes ne trouvent pas de signe de la présence d'un troisième trou noir qu'une autre équipe avait récemment prétendu avoir découvert. Il n'y a pas de gaz moléculaire associé à ce prétendu troisième noyau. Il pourrait s'agir d'un amas d'étoiles au lieu d'un trou noir.

La haute sensibilité d'ALMA et sa résolution sont cruciales pour en apprendre davantage sur les trous noirs supermassifs et le rôle du gaz dans les galaxies en interaction. NGC 6240 est si complexe que l'on ne pourrait jamais savoir ce qui se passe à l'intérieur sans ces images radio détaillées. Les astronomes ont maintenant une meilleure idée de la structure 3D de la galaxie, ce qui leur donne l'occasion de comprendre comment les galaxies évoluent au cours des dernières étapes d'une collision. Dans quelques centaines de millions d'années, cette galaxie aura une apparence bien différente de celle que nous voyons actuellement.



Il y a peu (Le Ciel, janvier 2020, p 41), des astronomes annonçaient la présence d'un troisième trou noir supermassif dans NGC 6240, une proposition qui est maintenant remise en question.

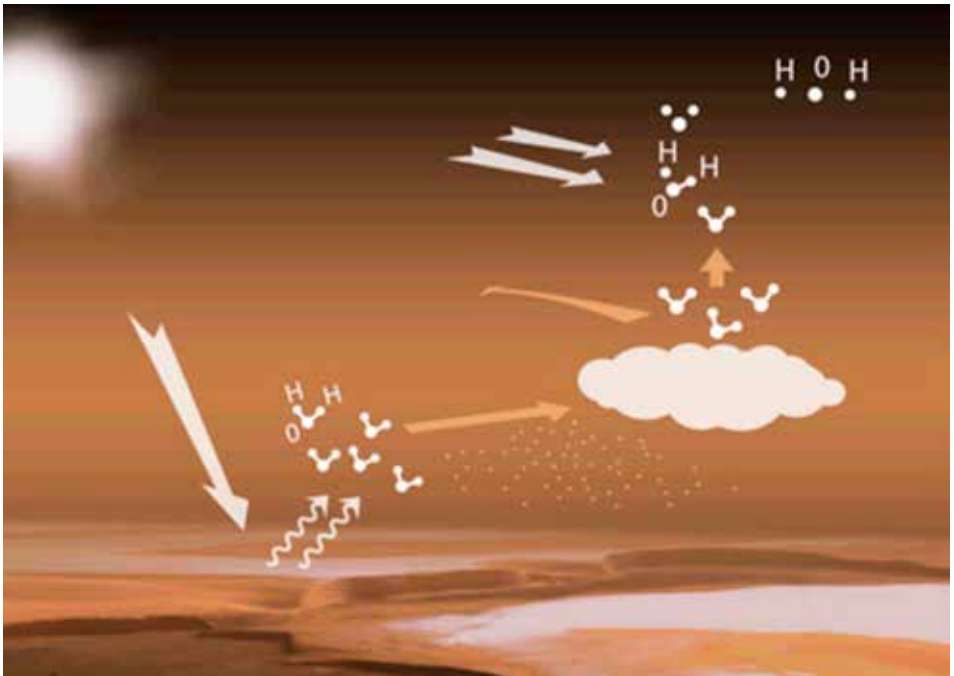
(Weilbacher/AIP, NASA, ESA, the Hubble Heritage/STScI/AURA-ESA/Hubble Collaboration, A Evans/University of Virginia/Charlottesville/NRAO/Stony Brook University)

L'eau de Mars

Basé sur un communiqué CNRS

La petite Planète rouge se vide plus rapidement de son eau que ce que la théorie et les observations passées laissaient penser. La disparition progressive de l'eau se déroule dans la très haute atmosphère de Mars : le rayonnement solaire et la chimie dissocient les molécules d'eau en atomes d'hydrogène et d'oxygène que la faible gravité martienne ne peut empêcher de s'échapper dans l'espace. Des chercheurs viennent de mettre en évidence que la vapeur d'eau s'accumulait dans des proportions inattendues à plus de 80 km d'altitude dans l'atmosphère martienne. De grandes poches atmosphériques sont même en état de sursaturation extrême : l'atmosphère contient alors 10 à 100 fois plus de vapeur d'eau que sa température ne lui permet en théorie. Avec les taux de sursaturation constatés, la capacité de l'eau à s'échapper serait plus que décuplée à certaines saisons.

Cycle de l'eau dans l'atmosphère de Mars. Lorsque les grands réservoirs de glace des pôles sont éclairés par le Soleil, de la vapeur d'eau est libérée dans l'atmosphère. Ces molécules d'eau sont transportées par les vents vers des altitudes plus élevées et plus froides où, en présence de poussières, elles peuvent se condenser en nuages ce qui empêche leur progression rapide et en masse vers les altitudes supérieures (comme sur Terre). Sur Mars, la condensation est souvent entravée. L'atmosphère est donc régulièrement sursaturée en vapeur d'eau, ce qui permet à encore plus d'eau d'atteindre la haute atmosphère où le rayonnement UV du Soleil la dissocie en atomes. La découverte d'une présence accrue de vapeur d'eau à très haute altitude implique qu'un nombre plus important d'atomes d'hydrogène et d'oxygène sont capables de s'échapper de Mars, amplifiant la perte de l'eau martienne sur le long terme.
(ESA)



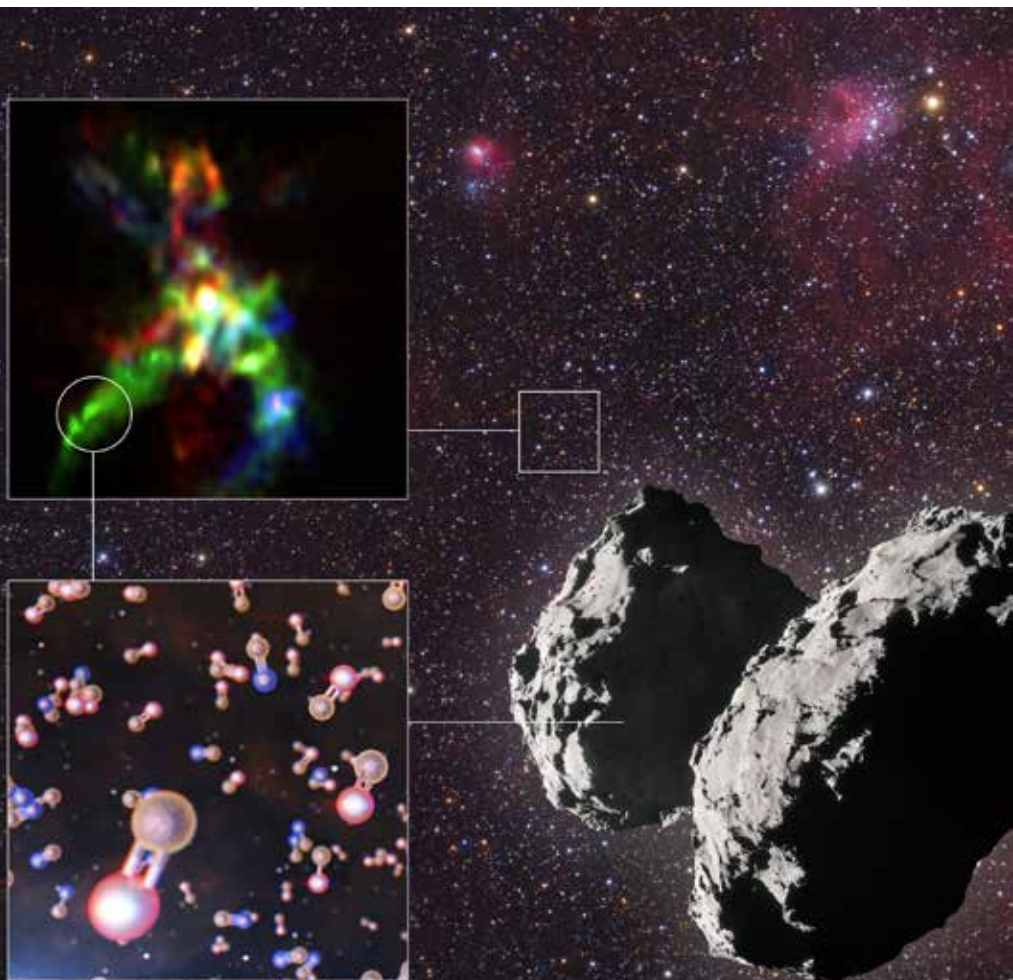
Phosphore

Basé sur un communiqué ESO

Présent dans notre ADN et nos membranes cellulaires, le phosphore est un élément essentiel à la vie telle que nous la connaissons. Toutefois, les modalités de son arrivée sur la Terre primitive demeurent inconnues. Les astronomes sont cependant parvenus à retracer le parcours du phosphore depuis les régions de formation stellaire jusqu'aux comètes en combinant les données acquises par le réseau ALMA et la sonde Rosetta de l'Agence

Spatiale Européenne. Leur travail de recherche révèle le site de production des molécules contenant du phosphore, leur transport cométaire ainsi que le rôle crucial joué par une molécule particulière dans l'apparition de la vie sur notre planète il y a quelque 4 milliards d'années.

La résolution d'ALMA a permis d'examiner en détail la région de formation stellaire AFGL 5142. Les astronomes ont donc pu localiser le site de production des molécules phosphorées comme le monoxyde de phosphore. De nouvelles étoiles et leurs cortèges



planétaires se forment dans des nuages de gaz et de poussière qui constituent des cibles privilégiées pour la recherche des éléments constitutifs de la vie.

Les observations d'ALMA ont montré que la création de molécules phosphorées accompagne la formation d'étoiles massives. Les vents stellaires créent des cavités et, sous les effets combinés des ondes de choc et du rayonnement, des molécules contenant du phosphore se forment sur leurs parois – en particulier le monoxyde de phosphore, la molécule phosphorée la plus abondante sur ces sites.

Après avoir recherché cette molécule dans diverses régions stellaires au moyen d'ALMA, l'équipe s'est focalisée sur un objet du Système solaire : la célèbre comète 67P/Churyumov–Gerasimenko. L'idée était de suivre la trace de ces composés phosphorés. Si les parois de la cavité s'effondrent pour donner lieu à une étoile – de faible masse, comme le Soleil en l'occurrence –, le monoxyde de phosphore est susceptible de geler et de se retrouver piégé dans des grains de poussière glacés qui demeurent en périphérie de la nouvelle étoile. Avant même que l'étoile ne soit complètement formée, ces grains de poussière s'agglutinent en cailloux, en rochers, et finalement en comètes, qui deviennent des vecteurs de monoxyde de phosphore.

L'instrument ROSINA (Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis) embarqué à bord de la sonde ROSETTA a collecté, deux années durant, des données concernant 67P. À l'époque de la mission, ces données avaient révélé la présence de phosphore. Toutefois, les astronomes ignoraient quelle était la molécule ayant contribué à son acheminement sur la comète. Le monoxyde de phosphore était un excellent candidat et, en ré-examinant les données, les astronomes ont pu en dénicher la trace.

Cette première détection de monoxyde de phosphore sur une comète permet d'établir une relation entre les régions de formation stellaire, sites de production de la molécule, et la Terre.

La combinaison des données d'ALMA et de ROSINA a révélé une sorte de fil conducteur chimique durant tout le processus de formation stellaire, dans lequel le monoxyde de phosphore joue un rôle crucial.

Le phosphore est un élément essentiel à la vie telle que nous la connaissons. Les comètes ont probablement acheminé de vastes quantités de composés organiques jusqu'à la Terre. Le monoxyde de phosphore découvert dans la comète 67P renforce ainsi le lien entre les comètes et la vie sur Terre.

◀ *Les observations réalisées avec le réseau ALMA ont permis de déterminer avec précision l'origine des molécules contenant du phosphore : des régions de formation stellaire comme AFGL 5142. À l'arrière-plan de cette infographie figure le ciel de la constellation d'Auriga. L'image ALMA de cet objet se trouve dans le coin supérieur gauche de l'infographie, et l'un des endroits où l'équipe a trouvé des molécules phosphorées est indiqué par un cercle. La molécule phosphorée la plus courante dans AFGL 5142 est le monoxyde de phosphore, représenté en orange et en rouge dans le diagramme en bas à gauche. Une autre molécule qui y a été trouvée est le nitrure de*

phosphore, représenté en orange et en bleu. En utilisant les données de l'instrument ROSINA à bord de la sonde Rosetta, les astronomes ont également trouvé du monoxyde de phosphore sur la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko, représentée en bas à droite. Cette première observation de monoxyde de phosphore sur une comète aide les astronomes à établir un lien entre les régions de formation des étoiles, où la molécule est créée, et la Terre, où elle a joué un rôle crucial dans le démarrage de la vie. (ALMA/ESO/NAOJ/NRAO, Rivilla et al. ; ESO/L. Calçada ; ESA/Rosetta/NAVCAM ; Mario Weigand, www.SkyTrip.de)