



L'astronomie dans le monde

Rayons cosmiques

Basé sur un communiqué Tohoku University

L'Univers est rempli de particules énergétiques, telles que les rayons X, les rayons gamma et les neutrinos, dont l'origine restait en grande partie mystérieuse. Une équipe internationale de chercheurs a proposé un scénario pour les expliquer. Les trous noirs à faible activité agiraient comme d'importantes usines de particules cosmiques de haute énergie.

Les rayons gamma sont des photons dont l'énergie est de plusieurs ordres de grandeur plus grande que celle de la lumière visible. Les observatoires spatiaux ont détecté des rayons gamma cosmiques d'une énergie allant du mégaélectronvolt au gigaélectronvolt.

On pense généralement que les trous noirs supermassifs actifs, en particulier ceux montrant des jets puissants, sont les émetteurs les plus probables de rayons gamma et de neutrinos de haute énergie. Cependant, des études récentes ont révélé qu'ils n'expliquent pas les observations de rayons gamma et de neutrinos. D'autres types de sources sont nécessaires.

Le nouveau modèle montre que non seulement les trous noirs actifs, mais aussi les trous noirs non actifs, sont importants et jouent le rôle d'usines à rayons gamma et à neutrinos.

Les galaxies contiennent un trou noir supermassif en leur centre. Lorsque de la matière y tombe, une énorme quantité d'énergie gravitationnelle est libérée. Ce processus chauffe le gaz, formant un plasma à haute température. La température peut atteindre des dizaines de milliards de degrés Celsius pour les trous noirs peu actifs en raison d'un refroidissement inefficace et le plasma peut générer des rayons gamma de l'ordre du mégaélectronvolt.

Ces trous noirs tranquilles constituent des sources faibles individuelles, mais ils sont nombreux dans l'Univers. Les chercheurs ont estimé que les rayons gamma résultant des trous noirs supermassifs à faible émission peuvent contribuer de manière significative aux rayons gamma observés dans la gamme des mégaélectronvolts.

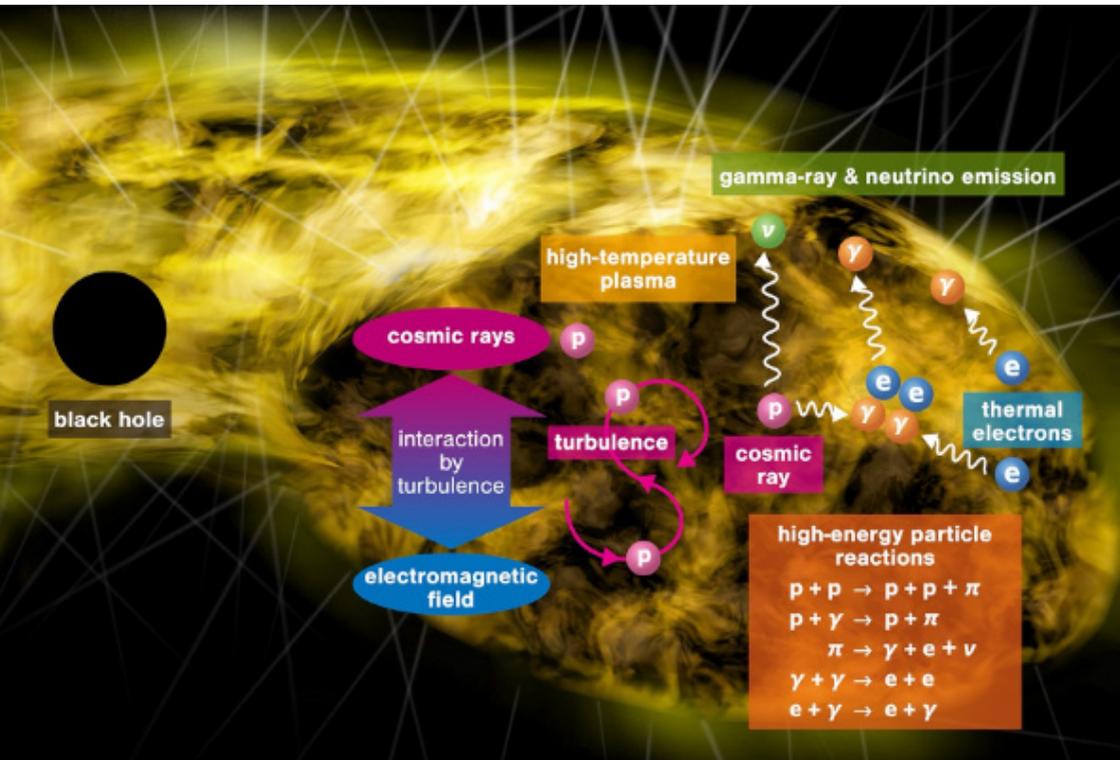
Dans le plasma, les protons peuvent être accélérés à des énergies environ 10 000

fois supérieures à celles atteintes par le LHC (Large Hadron Collider), le plus grand accélérateur de particules construit par l'homme. Les protons accélérés produisent des neutrinos à haute énergie par le biais d'interactions avec la matière et le rayonnement, ce qui peut expliquer les observations de neutrinos cosmiques dans ce domaine d'énergie. Ce scénario peut être appliqué aux trous noirs actifs, comme l'ont démontré des recherches antérieures. Les trous noirs supermassifs, y compris les noyaux galactiques actifs et non actifs, peuvent expliquer une grande partie des neutrinos observés par IceCube dans une large gamme d'énergie.

Les futurs programmes d'observation multimessagers sont cruciaux pour identifier l'origine des particules cosmiques de haute énergie. Le scénario proposé prévoit des contreparties de rayons gamma dans la gamme

des mégaelectronvolts pour les sources de neutrinos. La plupart des détecteurs de rayons gamma existants ne sont pas conçus pour les détecter, mais les futures expériences sur les rayons gamma, ainsi que les expériences sur les neutrinos de la prochaine génération, seront capables de détecter les signaux multimessagers.

Schéma de trous noirs supermassifs non actifs. Un plasma chaud se forme autour d'un trou noir supermassif. Les électrons sont chauffés à très haute température, ce qui permet d'émettre efficacement des rayons gamma. Les protons sont accélérés à des énergies élevées et ils émettent des neutrinos.
(Shigeo S. Kimura)



Perseverance sur Mars

Basé sur un communiqué NASA/JPL/Caltech

Les images du dernier six-roues de la NASA sur la Planète rouge suggèrent que la région a connu d'importantes inondations. Le cycle hydrologique du lac du cratère Jezero, aujourd'hui asséché, est plus complexe – et plus intéressant – qu'on ne le pensait. Les résultats sont basés sur les images d'escarpements qui se sont formés à partir de l'accumulation de sédiments à l'embouchure d'une ancienne rivière qui a longtemps alimenté le lac.

Les images révèlent qu'il y a des milliards d'années, lorsque Mars avait une atmosphère suffisamment épaisse pour permettre à l'eau de s'écouler à sa surface, le delta de Jezero a subi des inondations tardives qui ont entraîné des roches et des débris provenant des hautes terres situées bien loin du cratère.

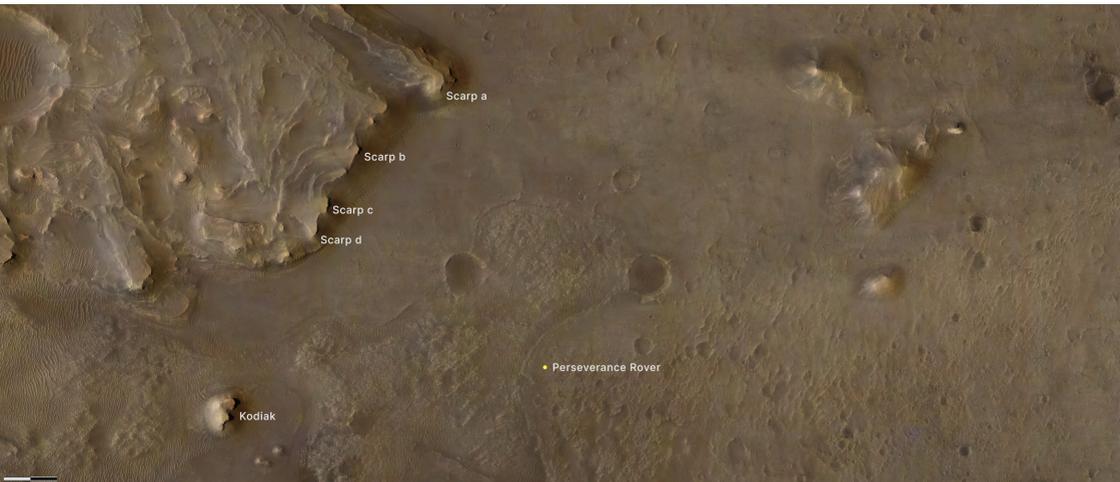
Ces images donnent également un aperçu de l'endroit où le rover pourrait concentrer ses recherches d'échantillons de roches et de sédiments, notamment ceux qui pourraient contenir des composés organiques et d'autres preuves de vie ancienne. L'un des principaux objectifs de la mission est de collecter des échantillons qui pourraient être ramenés sur Terre dans le cadre de la mission de retour

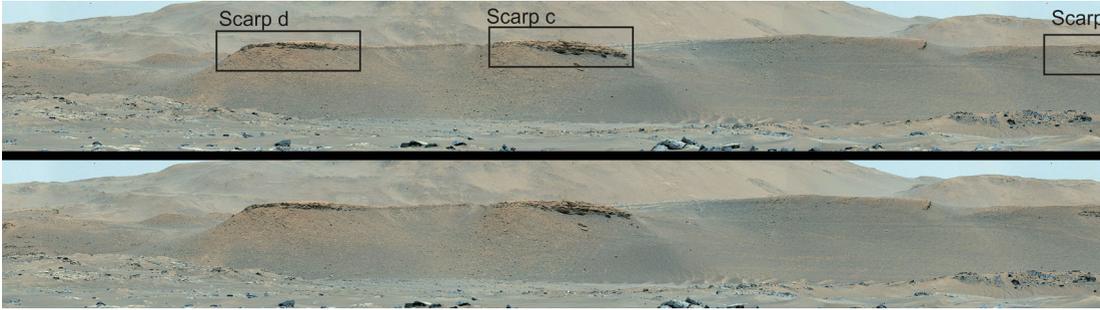
d'échantillons de Mars, ce qui permettrait aux scientifiques d'analyser le matériel à l'aide d'équipements de laboratoire trop volumineux pour être transportés sur Mars.

Au sud-ouest du rover, se trouve un autre affleurement rocheux surnommé Kodiak qui, dans un passé lointain, se trouvait à la limite sud du delta. Avant l'arrivée de Perseverance, Kodiak n'avait été imagé que depuis l'orbite. Les images du rover ont maintenant révélé la stratigraphie – l'ordre et la position des couches rocheuses, qui fournissent des informations sur la chronologie relative des dépôts géologiques – le long de la face *est* de Kodiak. La stratification inclinée et horizontale qui s'y trouve correspond à ce qu'un géologue s'attendrait à voir dans un delta de rivière sur Terre.

Jamais auparavant une stratigraphie aussi bien préservée n'avait été visible sur Mars. C'est l'observation clé qui permet de confirmer une fois pour toutes la présence d'un lac et d'un delta fluvial à Jezero.

Image annotée du site de Perseverance, montrant la position du rover ainsi que celle de Kodiak et de quatre escarpements.
(NASA/JPL-Caltech/University of Arizona/USGS)



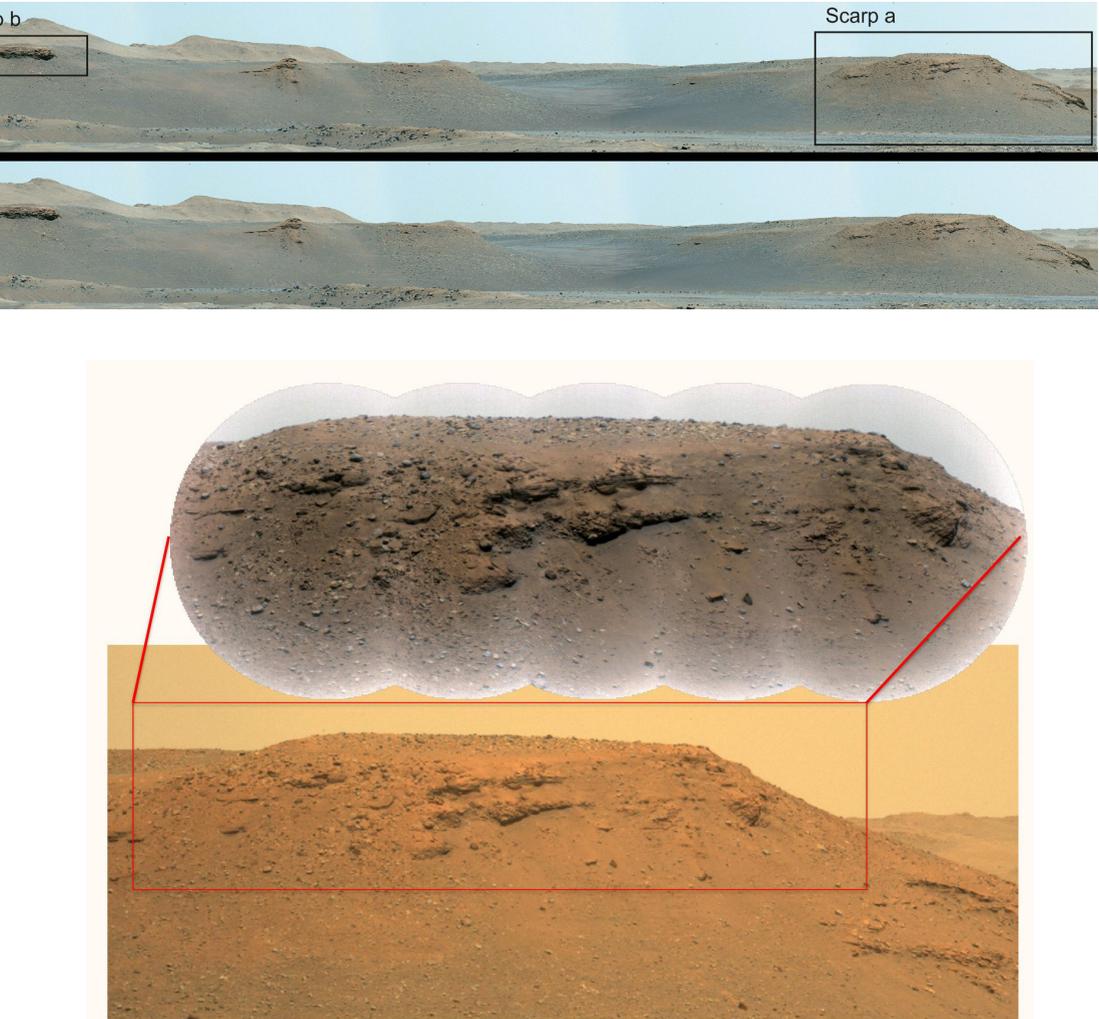


▲ *Mosaïque du delta de la rivière donnant dans le cratère Jezero, faite de photos prises par la Mastcam-Z ce 17 avril. Quatre escarpements notables ont été annotés sur l'image du haut. Ils présentent une stratification similaire à celle de Kodiak sur leurs moitiés inférieures. Plus haut sur leurs parois abruptes ainsi qu'au sommet, on trouve des rochers – certains d'une taille allant jusqu'à 1,5 mètre – qui a priori n'ont rien à faire là. Ces couches signifient qu'il y a eu des crues rapides ultérieures.*
(NASA/JPL-Caltech/ASU/MSSS)

▼ *L'escarpement « a » vu par la caméra Mastcam-Z de Perseverance le 17 avril 2021.*
(NASA/JPL-Caltech/ASU/MSSS)

(Les couleurs de ces images varient selon les efforts faits pour leur donner un aspect terrestre.)





*Image composite d'un escarpement dans le cratère Jezero. Prise par la Mastcam-Z du rover, l'image du bas montre à la fois la base et le plateau de l'escarpement. L'encart, créé à partir d'une mosaïque de cinq images RMI (Remote Microscopic Imager), fait un zoom sur une portion de 115 mètres de large de l'escarpement, permettant une inspection plus approfondie de certaines de ses curieuses caractéristiques géologiques.
(NASA/JPL-Caltech/LANL/CNES/CNRS/ASU/MSSSMastcam-Z: NASA/JPL-Caltech/ASU/MSSS)*



La base des autres escarpements montre une stratification similaire à celle de Kodiak mais, plus haut sur leurs flancs et à leurs sommets, on trouve des pierres et des blocs rocheux, dont certains atteignent 1,5 mètre. La rivière lente et sinueuse qui alimentait le delta a dû être transformée par de fortes crues. Les chercheurs estiment que le torrent d'eau qui a transporté les blocs rocheux, parfois sur des dizaines de kilomètres, avait une vitesse de 6 à 30 km/h. Les sédiments fins au fond du delta semblent les plus prometteurs pour contenir des signes de matières organiques et des biosignatures. Les rochers permettront d'échantillonner d'anciens matériaux crustaux.

***Kodiak vu par Perseverance
le 22 février 2021.
(NASA/JPL-Caltech/ASU/
MSSS)***

Au début de son histoire, le niveau du lac de Jezero devait affleurer le bord *est* du cratère, là où l'imagerie orbitale montre les restes d'un canal d'écoulement. La nouvelle étude décrit un lac qui fluctuait fortement au fil du temps, son niveau d'eau augmentant et diminuant de plusieurs dizaines de mètres avant que la masse d'eau ne disparaisse complètement.

GW Orionis

Basé sur un communiqué UNLV, Las Vegas

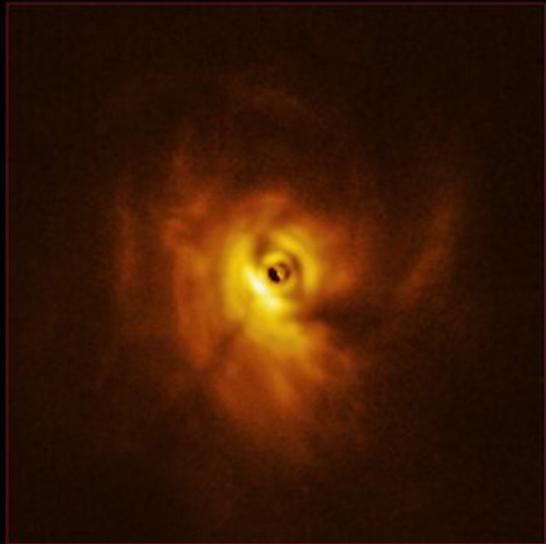
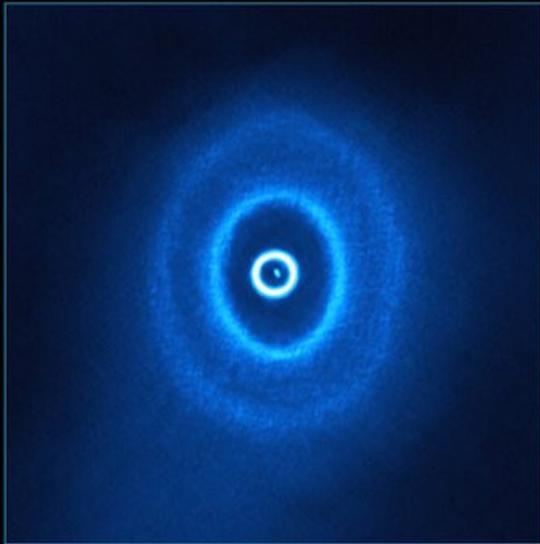
Contrairement au Système solaire, la moitié de tous les systèmes stellaires semblent abriter des étoiles doubles ou multiples, gravitationnellement liées les unes aux autres. Cependant, jusqu'à présent, aucune planète n'avait encore été découverte orbitant autour de trois étoiles – une orbite « circum-triple ». Peut-être est-ce maintenant chose faite. Grâce aux observations du réseau ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), les astronomes ont analysé les anneaux de poussière entourant les trois étoiles constituant le système de GW Orionis. Ces anneaux concentriques sont au nombre de trois, le plus interne étant nettement séparé des deux autres.

Les chercheurs ont envisagé différentes origines, notamment la possibilité que l'écartement ait été créé par l'effet gravitationnel des trois étoiles. Mais après avoir construit un modèle complet de GW Ori, ils ont conclu que l'explication la plus probable et la plus fascinante de l'espacement, est la présence d'une ou plusieurs planètes massives de type Jupiter.

Les géantes gazeuses sont généralement les premières planètes à se former dans un système stellaire, les petites planètes comme la Terre et Mars venant ultérieurement.

Cette découverte, si elle est confirmée, serait non seulement une première, mais elle signifierait que la formation des planètes est beaucoup plus active qu'on le pensait. On attend d'autres observations ALMA dans les mois à venir, pour apporter de nouvelles preuves directes de la présence de planètes.

*GW Orionis est une étoile triple entourée d'un disque dont la structure suggère la présence d'au moins une planète massive. Ce serait le premier exemple de planètes en orbite autour de trois étoiles. L'image de gauche, due à ALMA, montre la structure annulaire du disque, l'anneau le plus interne étant séparé du reste du disque. L'image de droite montre l'ombre de l'anneau le plus interne projetée sur le reste du disque.
(ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), ESO/Exeter/Kraus et al.)*



Aluminium et formation stellaire

Basé sur un communiqué UC Santa Cruz

L'étude d'une région de formation stellaire dans Ophiuchus nous renseigne sur les conditions dans lesquelles le Système solaire est né et sur la façon dont il s'est enrichi en éléments radioactifs à vie courte. Des preuves de ce processus d'enrichissement existent depuis les années 1970. Des scientifiques étudiant certaines inclusions minérales dans des météorites, vestiges des premiers moments du Système solaire, y avaient trouvé les produits de désintégration de radionucléides à courte durée de vie. Ces éléments radioactifs auraient pu être projetés par une supernova proche ou par les vents stellaires d'une étoile massive de type Wolf-Rayet.

Une nouvelle étude s'est basée sur des observations de la région de formation d'étoiles d'Ophiuchus pour révéler les interactions entre les nuages de formation d'étoiles et les radionucléides produits dans un amas jeune voisin. Leurs résultats indiquent que les supernovæ de l'amas sont la source la plus probable de radionucléides à courte durée de vie dans les nuages de formation d'étoiles.

Le Système solaire faisait probablement partie d'un amas qui s'est formé dans un nuage moléculaire géant. Certaines des plus massives de ces étoiles, de vie très courte, ont eu le temps d'exploser en supernovæ et de contaminer le gaz qui a donné naissance au Soleil et à son système planétaire.

Ce scénario, suggéré depuis longtemps, est conforté par les nouvelles observations faites à plusieurs longueurs d'onde ainsi que par une analyse statistique sophistiquée.

Les télescopes spatiaux permettent de détecter les rayons gamma émis par l'aluminium 26, un élément radioactif de vie courte (0,7 million d'années de demi-vie). Ces observations difficiles ne sont convaincantes que dans deux régions de formation d'étoiles, et les meilleures données proviennent du complexe Ophiuchus.

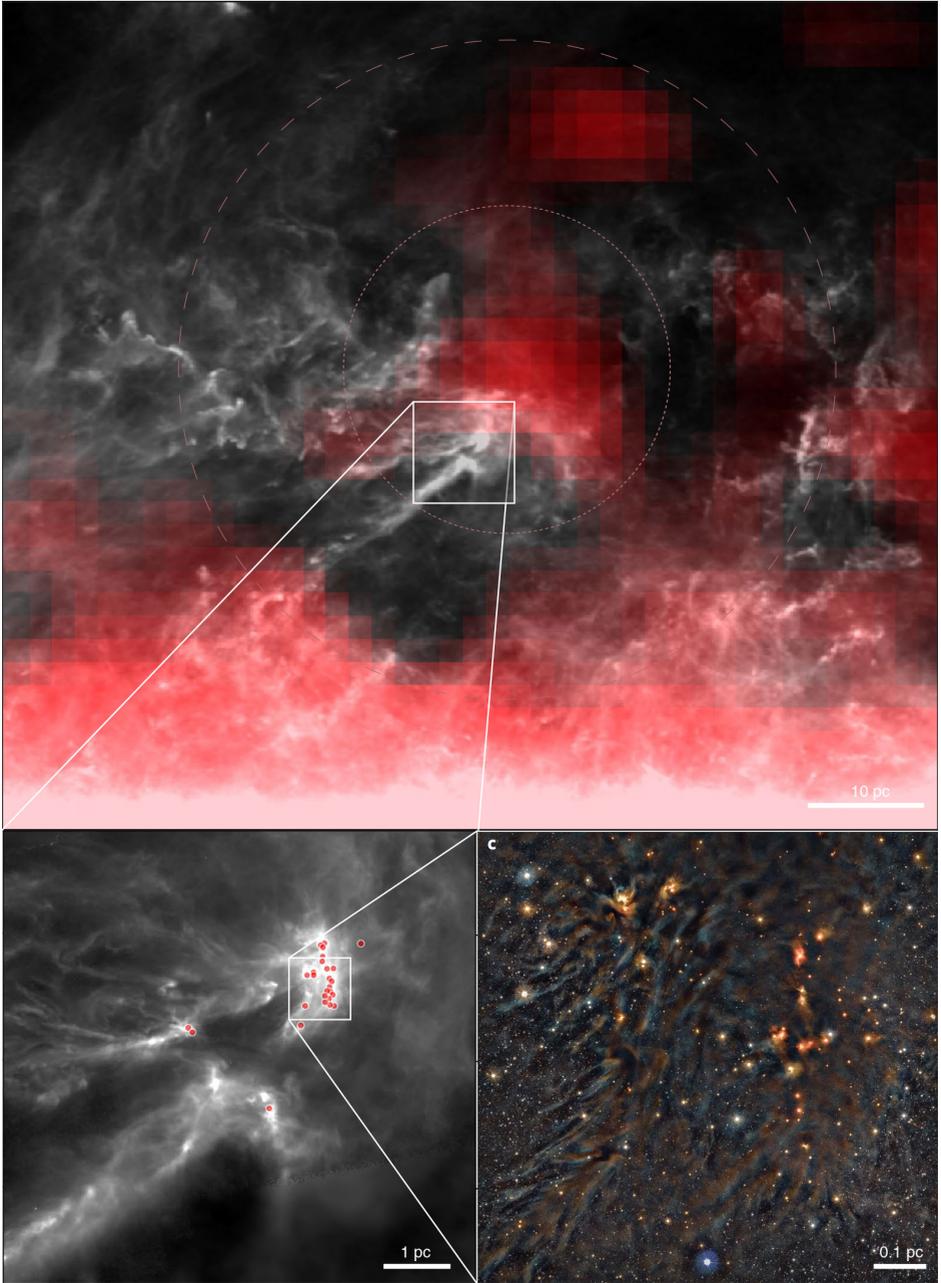
Le complexe de nuages d'Ophiuchus contient de nombreux noyaux protostellaires denses montrant différents stades de

formation et de développement de disques protoplanétaires. En combinant les données d'imagerie dans des longueurs d'onde allant des millimètres aux rayons gamma, les chercheurs ont pu visualiser un flux d'aluminium 26 provenant de l'amas d'étoiles voisin vers la région de formation d'étoiles d'Ophiuchus.

Le processus d'enrichissement dans Ophiuchus est cohérent avec ce qui s'est passé lors de la formation du Système solaire il y a 5 milliards d'années. Les astronomes ont développé un modèle qui prend en compte chaque étoile massive qui aurait pu exister dans cette région, y compris sa masse, son âge et la probabilité qu'elle explose en supernova, et qui incorpore les rendements potentiels d'aluminium 26 provenant des vents stellaires et des supernovæ. Ce modèle a permis de déterminer les probabilités de différents scénarios pour la production de l'aluminium 26 observé aujourd'hui. Il apparaît qu'il y a 59% de chances qu'il soit dû à des supernovæ et 68% de chances qu'il provienne de sources multiples et non d'une seule supernova.

Les nouveaux résultats montrent également que la quantité de radionucléides à vie courte incorporée dans les systèmes stellaires en formation peut varier considérablement, de plusieurs ordres de grandeur. Cela a de l'importance pour l'évolution précoce des systèmes planétaires, car l'aluminium 26 y est la principale source de chaleur. Plus d'aluminium 26 signifie probablement des planètes plus sèches.

► *Des observations multi-longueurs d'onde de la région de formation d'étoiles d'Ophiuchus révèlent des interactions entre les nuages de gaz de formation d'étoiles et les radionucléides produits dans un amas jeune voisin. L'image du haut montre la distribution de ²⁶Al en rouge, tracée par les émissions gamma. L'image inférieure gauche montre les proto-étoiles, tandis que celle du bas à droite est une composite dans le proche infrarouge du nuage L1688, contenant de nombreux noyaux prétéllaires de gaz dense avec des disques et des proto-étoiles. Elle provient du survey de VISIONS de l'ESO, où le bleu, le vert et le rouge correspondent respectivement aux bandes J (1,2 µm), H (1,6 µm) et KS (2,2 µm).*



(Forbes et al., Nature Astronomy 2021 ; João Alves/ESO VISIONS)

VT 1210+4956, une supernova très spéciale

Basé sur des communiqués NRAO, CALTECH

En 2017, une source d'ondes radio inhabituelle, particulièrement lumineuse, avait été remarquée parmi les données du survey VLAS, un projet qui utilise le réseau VLA (Very Large Array) pour balayer le ciel dans les longueurs d'onde radio. Les astronomes ont maintenant pu établir que l'éruption radio avait été causée par la collision d'un trou noir ou d'une étoile à neutrons avec une compagne stellaire, un processus encore jamais observé. En effet, les étoiles massives explosent généralement en supernovæ lorsqu'elles n'ont plus de combustible nucléaire.

Le projet VLAS recherche des événements radio transitoires, un excellent moyen d'identifier des événements astronomiques inhabituels, tels que des étoiles massives qui explosent et projettent des jets énergétiques ou la fusion d'étoiles à neutrons.

En passant au crible l'énorme ensemble de données du VLA, les astronomes ont repéré une source d'ondes radio extrêmement lumineuse, VT 1210+4956, l'une des plus brillantes jamais associées à une supernova. La source radio était à l'origine étoile entourée d'une épaisse enveloppe de gaz. Cette coquille de gaz avait été rejetée par l'étoile quelques centaines d'années avant notre époque. Le transitoire radio s'est produit lorsque l'étoile a finalement explosé en supernova et que la matière éjectée par l'explosion a interagi avec la coquille de gaz.

Cette enveloppe de gaz et l'échelle de temps sur laquelle elle a été rejetée par l'étoile ont intrigué les astronomes. Ils ont comparé ce phénomène radio avec un catalogue d'événements transitoires dans le domaine X. Certains de ceux-ci ne duraient que quelques secondes. L'une des sources de rayons X provenait du même endroit du ciel que VT 1210+4956. Grâce à une analyse minutieuse, on a pu établir que les sursauts X et radio provenaient probablement d'un seul et même événement.

Le transitoire X était un événement inhabituel. Il correspondait à un jet relativiste lancé au moment de l'explosion. Le flash radio indiquait que la matière éjectée s'était ensuite écrasée dans un tore massif de gaz dense émis par l'étoile auparavant. De tels événements sont très rares individuellement et ils n'avaient jamais été observés associés l'un à l'autre.

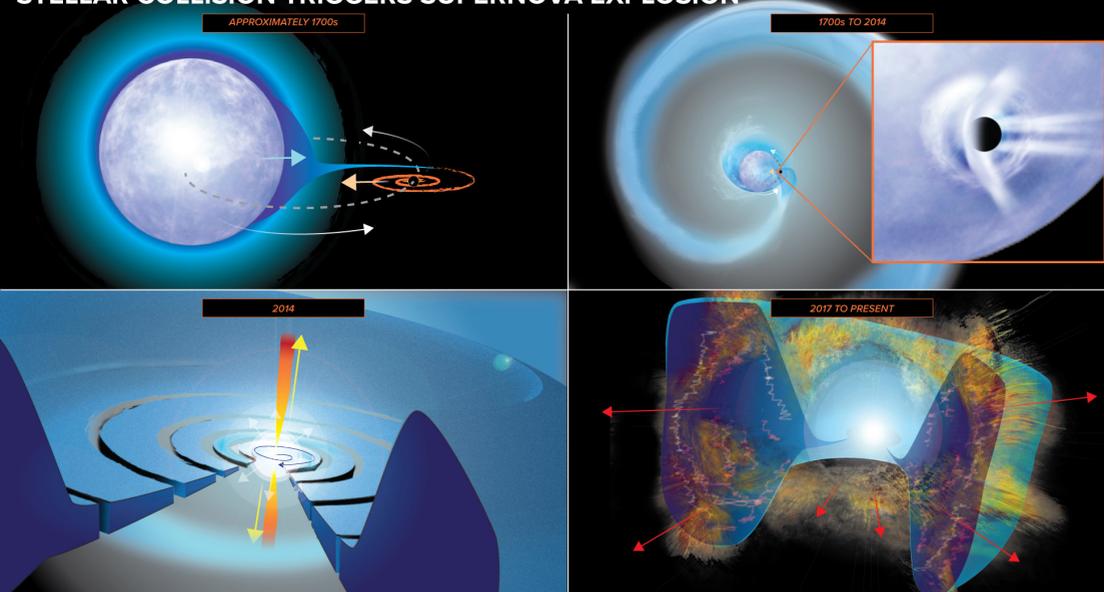
Une modélisation minutieuse suggère que l'explication la plus probable implique certains des acteurs cosmiques connus pour générer des ondes gravitationnelles. Le résidu compact d'une étoile massive – un trou noir ou une étoile à neutrons – aurait commencé à siphonner l'atmosphère d'une compagne stellaire proche, formant un anneau de gaz. Les deux objets se rapprochèrent progressivement jusqu'à fusionner, provoquant l'effondrement de l'étoile compagne et son explosion en supernova.

Les rayons X furent émis par un jet provenant du cœur de l'étoile au moment de son effondrement. Les ondes radio, en revanche,

***L'objet sur le point d'exploser.
(Chuck Carter)***



STELLAR COLLISION TRIGGERS SUPERNOVA EXPLOSION



se produisirent des années plus tard lorsque l'explosion atteignit l'anneau de gaz.

Une binaire composée d'une étoile massive et d'un objet compact peut former un système stable, dans lequel les deux corps se rapprochent en spirale pendant une période de temps extrêmement longue – des millions ou des milliards d'années – et entrent finalement en collision pour émettre le type d'ondes gravitationnelles observées par LIGO et VIRGO ces dernières années. Cependant, dans le cas de VT 1210+4956, les deux objets sont entrés en collision immédiatement et de manière catastrophique, produisant les explosions de rayons X et d'ondes radio observées. Bien que des collisions de ce type aient été prédites en théorie, VT 1210+4956 fournit la première preuve concrète qu'elles se produisent.

Le VLA Sky Survey produit d'énormes quantités d'informations, mais passer au crible ces données pour découvrir un événement intéressant tel que VT 1210+4956 revient à trouver une aiguille dans une botte de foin. La découverte de cette aiguille-ci a été, d'une certaine manière, fortuite. Les astronomes avaient quelques idées sur ce qu'ils pourraient découvrir mais ils restaient ouverts à la possibilité de trouver des choses inattendues, une attitude qui s'est révélée payante.

La séquence des événements.

De haut en bas et de gauche à droite : (1.) Une étoile à neutrons ou un trou noir tourne autour d'une étoile compagnon « normale » (en bleu), se rapprochant au fil des milliers d'années.

(2.) L'astre compact pénètre dans l'atmosphère de son compagnon, projetant du gaz vers l'extérieur dans une spirale en expansion.

(3.) Lorsque l'intrus atteint le cœur de son compagnon, la matière forme brièvement un disque qui propulse un jet ultra-rapide vers l'extérieur, se frayant un chemin hors de l'étoile. Les réactions de fusion qui permettaient au noyau de l'étoile de résister à sa propre gravité sont interrompues, ce qui déclenche un effondrement et l'explosion en supernova.

(4.) La matière projetée par l'explosion de la supernova rattrape celle éjectée auparavant et provoque des ondes de choc qui produisent les ondes radio observées par le VLA. (Bill Saxton, NRAO/AUI/NSF)

Mille observations radar de NEA

Basé sur un communiqué JPL/CALTECH

Le 14 août 2021, un petit astéroïde géocroiseur (NEA), 2021 PJ1, est passé non loin de nous, à une distance d'environ 1,7 million de kilomètres. D'une taille de l'ordre de 20 ou 30 mètres, cet astéroïde que l'on venait de découvrir ne menaçait aucunement la Terre. L'approche de cet astéroïde était cependant historique, puisqu'il s'agissait du millième NEA observé par le radar planétaire en un peu plus de 50 ans.

Sept jours plus tard, le radar planétaire observait le mille unième objet de ce type, mais celui-ci était beaucoup plus gros que 2021 PJ1.

Depuis la première observation radar de l'astéroïde 1566 Icarus en 1968, la technique radar a été utilisée pour observer les astéroïdes géocroiseurs et les comètes (collectivement appelés objets géocroiseurs ou NEO). Ces détections améliorent notre connaissance des orbites de ces objets, en fournissant des données qui permettent de prolonger les éphémérides de plusieurs décennies, voire de plusieurs siècles, et aident à prédire si un astéroïde va

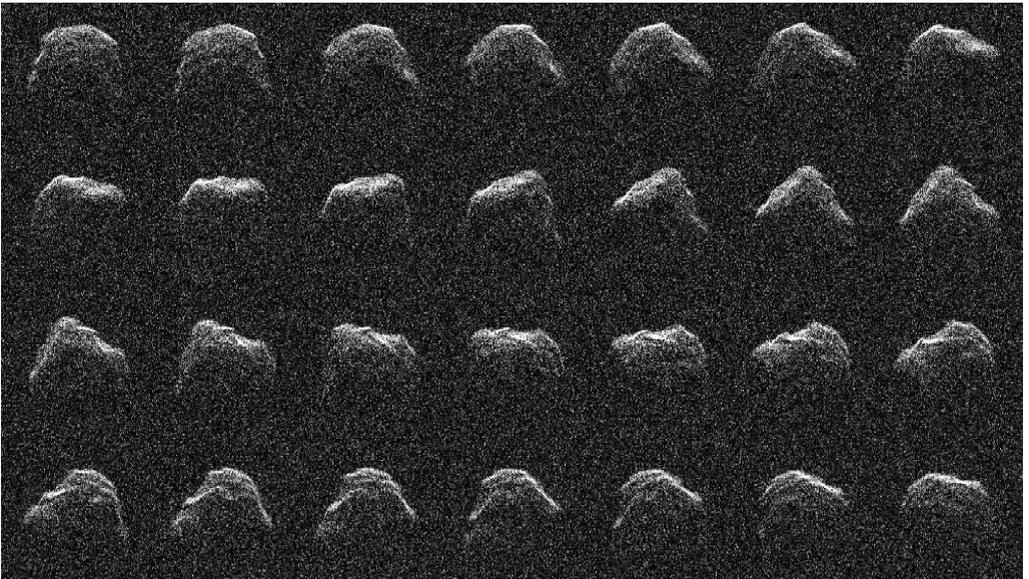
frapper la Terre ou s'il va simplement passer à proximité. Par exemple, les récentes mesures radar de l'astéroïde Apophis, potentiellement dangereux, ont permis d'éliminer toute possibilité d'impact sur la Terre dans les cent prochaines années.

En outre, elles peuvent fournir aux scientifiques des informations détaillées sur les propriétés physiques qui, autrement, ne pourraient être obtenues qu'en envoyant une sonde spatiale auprès de ces objets. Selon la taille et la distance de l'astéroïde, le radar peut être utilisé pour obtenir des images détaillées de sa surface et déterminer ses dimensions exactes, sa forme, sa vitesse de rotation et voir s'il est accompagné ou non d'une ou plusieurs petites lunes.

Dans le cas de 2021 PJ1, l'astéroïde était trop petit et le temps d'observation trop court

Quelques phases de la rotation de l'astéroïde 2016 AJ193 observé avec l'antenne de 70 mètres de Goldstone le 22 août. D'un diamètre de 1,3 kilomètre, l'objet est le 1001^e astéroïde géocroiseur mesuré par un radar planétaire depuis 1968.

(NASA/JPL-Caltech)



***L'antenne de 70 m DSS-14,
la plus grande du Deep Space
Network au Goldstone Deep
Space Communications Complex.
(NASA/JPL-Caltech)***



pour acquérir des images. Mais, en tant que 1000^e NEA détecté par le radar planétaire, ce jalon souligne les efforts déployés pour étudier ces objets qui frôlent notre planète.

Pour observer 2021 PJ1, les scientifiques ont utilisé l'antenne de 70 mètres de la Deep Space Station 14 (DSS-14) au Goldstone Deep Space Complex du Deep Space Network, près de Barstow en Californie, pour émettre des ondes radio vers l'astéroïde et en recevoir les échos radar.

Parmi tous les astéroïdes observés par les radars planétaires, bien plus de la moitié ont été observés par le grand télescope de 305 mètres de l'observatoire d'Arecibo à Porto Rico avant qu'il ne soit endommagé et mis hors service en 2020 (l'antenne s'est effondrée peu après). L'antenne DSS-14 de 70 m et la DSS-13 de 34 mètres de Goldstone ont observé 374 astéroïdes géocroiseurs à ce jour. Quatorze géocroiseurs ont également été observés en Australie à l'aide des antennes du complexe de communication spatiale de Canberra faisant partie du Deep Space Network (pour émettre des ondes radio vers des astéroïdes) et celles de l'Australian Telescope Compact Array et de l'observatoire Parkes du CSIRO en Nouvelle-Galles du Sud (pour recevoir les réflexions radar).

Près des trois quarts de toutes les observations radar de NEA ont été réalisées depuis que le programme d'observation des géocroiseurs de la NASA, qui fait maintenant partie de son programme de défense planétaire, a augmenté le financement de ces travaux il y a dix ans.

Le 1001^e astéroïde observé par radar s'est approché de la Terre une semaine seulement après 2021 PJ1. Entre le 20 et le 24 août, Goldstone a pris des images de 2016 AJ193 alors qu'il passait à une distance d'environ 3,4 millions de kilomètres. Bien que plus éloigné

que 2021 PJ1, ses échos radar étaient plus forts car 2016 AJ193 est environ 40 fois plus grand, avec un diamètre d'environ 1,3 km. Les images radar ont révélé des détails considérables sur la surface de l'objet, notamment des crêtes, des petites collines, des plateaux, des concavités et peut-être des blocs rocheux.

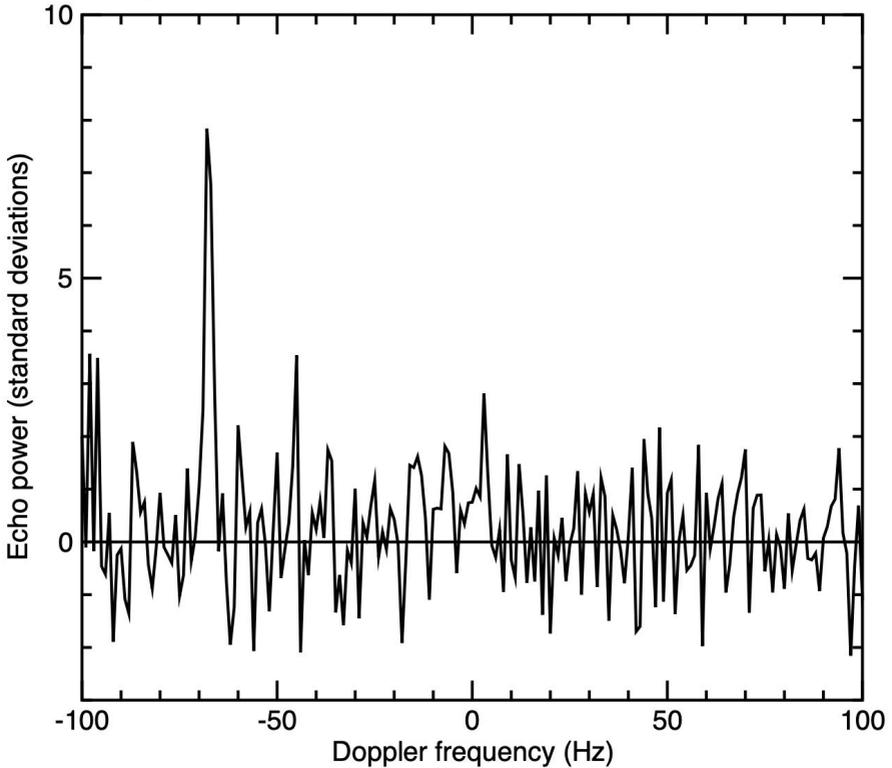
L'approche de 2016 AJ193 a fourni une occasion importante d'étudier les propriétés de l'objet et d'améliorer la connaissance de son orbite. Celle-ci est d'aspect cométaire, ce qui suggère qu'il pourrait s'agir d'une comète inactive. On savait peu de choses sur cet objet avant ce passage, à part sa taille et la quantité de lumière solaire que sa surface reflète, ce qui a justifié la planification de cette campagne d'observation il y a des années.

La mission NEOWISE de la NASA avait déjà mesuré la taille de 2016 AJ193, mais les observations de Goldstone ont révélé plus de détails : il s'avère être un objet très complexe et intéressant qui tourne avec une période de 3,5 heures.

En plus des études qui utilisent des télescopes optiques terrestres et spatiaux pour détecter et suivre près de 27 000 géocroiseurs dans tout le Système solaire, le radar planétaire est un outil important pour surveiller les astéroïdes qui s'approchent de la Terre. L'atteinte de cette étape importante, avec maintenant plus de 1 000 détections radar de NEA, souligne la contribution importante qui a été faite dans la caractérisation de cette population dangereuse, ce qui est fondamental pour les efforts de défense planétaire.

Goldstone Radar Detection of 2021 PJ1

2021 August 14, 21:26:07-21:42:03 UT, 35 runs, Resolution = 1 Hz, solution 7



Avec ses dimensions plus que modestes – 20 à 30 mètres – l’astéroïde 2021 PJ1 était trop petit pour être imagé en détail par le radar, mais la puissante antenne de 70 mètres de la station spatiale Deep Space Station 14 (DSS-14) du Deep Space Network, près de Barstow en Californie, a pu mesurer le spectre Doppler des ondes radio qui se sont réfléchies sur la surface de l’objet. Les données ont été enregistrées pendant 16 minutes le 14 août 2021.

La figure montre l’intensité du signal d’écho radar sur l’axe vertical en fonction de la fréquence Doppler (en Hertz) et donc de la vitesse radiale. Le pic élevé en dessous de 70 Hz est l’écho revenant de 2021 PJ1. Les autres pics, plus petits, sont des parasites. Grâce à ces informations, les scientifiques du

Jet Propulsion Laboratory ont pu calculer avec plus de précision la vitesse de l’astéroïde, sa distance par rapport à la Terre et préciser son orbite autour du Soleil.

Ces observations s’appuyaient sur des éphémérides qui comportaient des incertitudes relativement importantes, car l’astéroïde n’avait été découvert que quelques jours auparavant. Si la prédiction originale avait été parfaite, l’écho radar serait apparu à zéro Hz. Le fait que l’écho radar soit à moins 70 Hz indique qu’une correction de moins de 1,2 mètres par seconde s’imposait. Cette mesure a également permis de réduire l’incertitude sur la distance de l’astéroïde par rapport à la Terre de 2 100 kilomètres à 8,3 kilomètres, soit une réduction d’un facteur d’environ 250. (NASA/JPL-Caltech)

Super-volcans martiens

Basé sur un communiqué JPL

La région martienne d'Arabia Terra aurait connu des milliers de super-éruptions, les plus grandes éruptions volcaniques connues, il y a des milliards d'années.

Certains volcans peuvent produire des éruptions si puissantes que les poussières et les gaz toxiques qu'elles dégagent bloquent la lumière du Soleil et modifient le climat d'une planète pendant des décennies. En étudiant la topographie et la composition minérale d'une partie d'Arabia Terra, au nord de Mars, les scientifiques ont récemment trouvé les traces de telles super-éruptions. Crachant de la vapeur d'eau, du dioxyde de carbone et du dioxyde de soufre dans l'air, ces explosions ont ravagé la surface de la planète sur une période de 500 millions d'années, il y a environ 4 milliards d'années.

Chacune des éruptions aurait eu un impact climatique significatif – le gaz libéré a pu bloquer le rayonnement solaire, rendre l'atmosphère plus épaisse, la refroidir. Après avoir projeté l'équivalent de centaines de millions de piscines olympiques de roches en fusion et de gaz, et répandu une épaisse couche de cendres à des milliers de kilomètres à la ronde, un volcan de cette ampleur s'effondre en une caldera. Les calderas, qui existent aussi sur Terre, peuvent faire des dizaines de kilomètres de diamètre. Les sept calderas d'Arabia Terra ont été les premiers indices montrant que la région a pu autrefois abriter des volcans capables de super-éruptions. Elles avaient tout d'abord été identifiées comme impacts d'astéroïdes mais une étude de 2013 a proposé une origine volcanique. Elles n'étaient pas parfaitement rondes comme les cratères, et présentaient certains signes d'effondrement.

Pour vérifier cette hypothèse, les scientifiques n'ont pas cherché les volcans eux-mêmes, mais les cendres qu'ils avaient répandues. Des calculs permettaient de prédire les zones où les cendres d'éventuelles super-éruptions devaient s'être déposées.

En examinant les spectres obtenus par le MRO (Mars Reconnaissance Orbiter) des pa-

rois des canyons et des cratères à des centaines ou des milliers de kilomètres des calderas, là où les cendres auraient été transportées par le vent, les chercheurs ont identifié des minéraux volcaniques transformés en argile par l'eau, notamment la montmorillonite, l'émolite et l'allophane. Les images des caméras de MRO ont fourni des cartes topographiques tridimensionnelles d'Arabia Terra. En superposant les données sur les minéraux aux cartes topographiques des canyons et des cratères, les chercheurs ont pu constater que, dans les dépôts riches en minéraux, les couches de cendres étaient très bien conservées. Au lieu d'être mélangées par les vents et l'eau, les cendres étaient superposées en strates bien nettes, comme si elles étaient fraîches.

La quantité de matière projetée a pu être évaluée en se basant sur le volume des calderas. Ces informations ont permis de calculer le nombre d'éruptions nécessaires pour produire l'épaisseur de cendres observée. Il s'est ainsi avéré qu'il y a eu des milliers d'éruptions.

Comment une planète peut-elle n'avoir qu'un seul type de volcan dans une région ? Sur Terre, les volcans capables de super-éruptions – la plus récente a eu lieu il y a 76 000 ans à Sumatra, en Indonésie – sont présents dans les mêmes zones que les autres types de volcans. Mars possède également de nombreux autres types de volcans, dont le plus grand volcan du Système solaire, Olympus Mons, qui est 100 fois plus volumineux que le plus grand volcan de la Terre, le Mauna Loa à Hawaï. Il est possible que les volcans super-éruptifs aient été concentrés dans des régions de la Terre mais qu'ils aient été érodés physiquement et chimiquement ou déplacés autour du globe lors du déplacement des continents dû à la tectonique des plaques. Ces types de volcans explosifs pourraient également exister dans des régions d'Io, la lune de Jupiter, ou sur Vénus.

► ***Cratères d'Arabia Terra couverts de couches de roches.***
(MRO, NASA/JPL-Caltech/University of Arizona)



Le mystère des galaxies dormantes

Basé sur un communiqué University of Massachusetts Amherst

Une nouvelle étude répond à l'une des questions fondamentales sur l'Univers : pour-quoi certaines des galaxies les plus anciennes et les plus massives sont-elles devenues inactives au début de leur formation ? La réponse, nous la connaissons maintenant, c'est parce qu'elles manquaient de gaz froid.

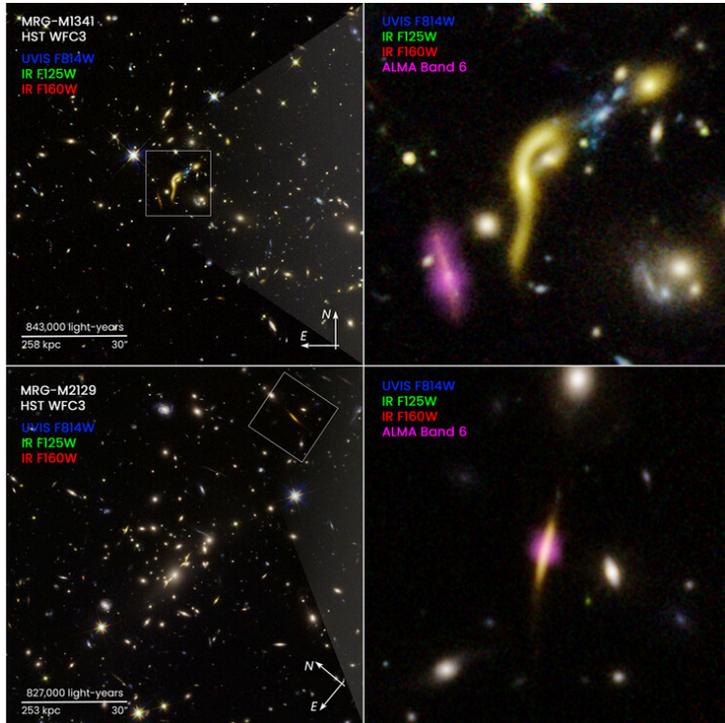
Les galaxies les plus massives de notre Univers se sont formées incroyablement tôt, juste après le Big Bang, il y a 14 milliards d'années, mais, pour une raison inconnue, elles se sont vite assagies, ne formant plus de nouvelles étoiles.

Pour trouver la réponse, les astronomes ont observé des galaxies très lointaines, témoins d'un passé vieux de 10 à 12 milliards d'années, au moyen du télescope spatial Hubble, qui voit la lumière de l'ultraviolet au proche infra-rouge, ainsi que du réseau ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), qui détecte des rayonnements de beaucoup plus grandes longueurs d'onde.

Les astronomes ont découvert six galaxies lointaines et massives où la formation d'étoiles a cessé en raison de l'épuisement d'une source de carburant, l'hydrogène froid. Les images de deux de ces galaxies sont issues de données du télescope spatial Hubble et du réseau ALMA. Le jaune retrace la lumière des étoiles, le violet la poussière froide détectée par ALMA.
(Katherine E. Whitaker/UMass ; Joseph DePasquale/STScI)

ALMA a permis de déceler le gaz froid, la principale source d'énergie qui alimente la formation de nouvelles étoiles. L'Univers primitif contenait énormément de gaz froid, laissant supposer que ces galaxies lointaines devaient en avoir encore beaucoup. Au lieu de cela, les astronomes n'en ont trouvé que des traces situées au centre de chaque galaxie. Cela signifie que, au cours des premiers milliards d'années de l'existence de l'Univers, ces galaxies ont brûlé leurs réserves d'énergie ou les ont éjectées et, en outre, que quelque chose a pu bloquer l'approvisionnement en gaz froid de chaque galaxie.

Dans l'ensemble, ces recherches nous aident à réécrire l'histoire initiale de l'Univers afin d'avoir une idée plus claire de la façon dont les galaxies évoluent. La prochaine étape des astronomes consiste à déterminer à quel point le gaz résiduel est compact dans ces galaxies quiescentes et pourquoi il n'existe qu'au centre des galaxies.



Supernova triple

Basé sur un communiqué UCPH

En multipliant les images d'une galaxie lointaine, une lentille gravitationnelle a permis d'observer une même supernova à trois positions différentes dans le ciel. Ils prévoient qu'une quatrième image de la même explosion apparaîtra dans le ciel d'ici 2037. Cette observation offre une occasion unique d'explorer non seulement la supernova elle-même, mais aussi l'expansion de notre Univers.

Les images ont été obtenues dans l'infrarouge avec le télescope spatial Hubble. En analysant les données d'archive, les chercheurs ont noté que trois sources qui étaient bien visibles en 2016 dans les images gravitationnelles d'une galaxie avaient disparu lorsque Hubble a revisité la zone en 2019. Ces trois sources se sont avérées être l'image démultipliée d'une seule étoile dont la vie s'est terminée par une explosion de supernova – laquelle a reçu le surnom de SN-Requiem.

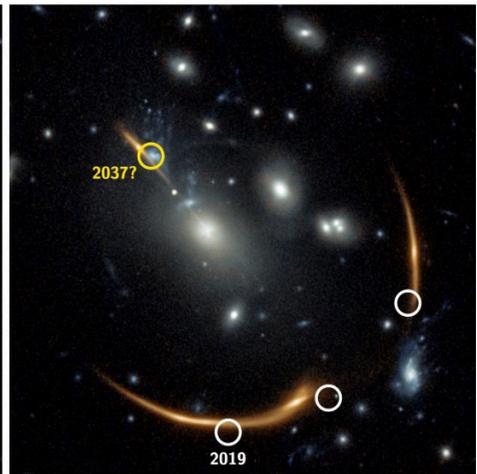
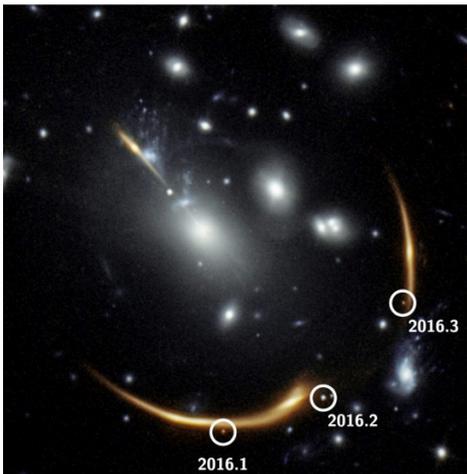
Les rayons lumineux qui ont formé les différentes images de la galaxie ont suivi des parcours différents et ont mis plus ou moins de temps pour arriver jusqu'à nous. Chaque image présente ainsi une phase différente du développement de la supernova. Dans deux des images, elle n'a même pas encore

explosé. En examinant la structure de l'amas de galaxies MACSJ0138 qui constitue la lentille gravitationnelle, il est possible d'estimer les délais entre les diverses images, ce qui a permis aux astronomes de faire une prédiction remarquable : la quatrième image de la galaxie a environ 21 ans de retard, ce qui devrait nous permettre de voir la supernova exploser en 2037.

Cette répétition pourrait confirmer notre compréhension de la gravité, et devrait contribuer à faire la lumière sur une autre énigme cosmologique, l'expansion de l'Univers.

Différentes méthodes permettent de mesurer la vitesse de cette expansion. Le problème est qu'elles ne produisent pas toutes le même résultat, même si l'on tient compte des incertitudes de mesure.

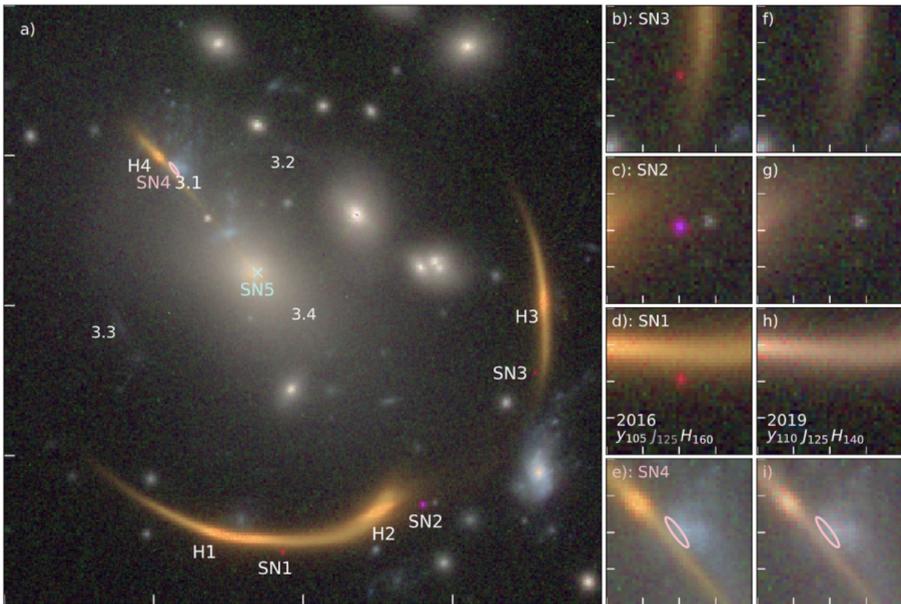
La gravité de l'amas de galaxies MACSJ0138 courbe tellement l'espace que la lumière d'une galaxie située derrière est démultipliée. À gauche, une image de l'amas datant de 2016, dans laquelle la lumière d'une supernova est visible à trois endroits distincts. À droite, on voit la même zone en 2019, d'où la supernova est absente. Les astronomes ont calculé qu'elle y apparaîtra en 2037. (S. Rodney (U. of S. Carolina), G. Brammer (Cosmic Dawn Center), J. DePasquale (STScI), P. Laursen (Cosmic Dawn Center)).



Nos techniques d'observation pourraient-elles être défectueuses ou, ce qui est plus intéressant, pourrait-il y avoir une faille dans notre compréhension de la physique fondamentale et de la cosmologie ?

Comprendre la structure de l'Univers sera une priorité absolue pour les principaux observatoires terrestres et les organisations spatiales internationales au cours de la prochaine décennie. Les études prévues couvriront une grande partie du ciel et devraient révéler des dizaines, voire des centaines

de lentilles gravitationnelles rares avec des supernovae comme SN-Requiem. Les mesures précises des retards provenant de telles sources fournissent des déterminations fiables de l'expansion cosmique et peuvent même contribuer à révéler les propriétés de la matière noire et de l'énergie noire. La matière noire et l'énergie noire sont les composantes mystérieuses qui constitueraient 95% de notre Univers, alors que nous ne pouvons en voir que 5%. Les perspectives des lentilles gravitationnelles sont décidément bien prometteuses.



Vue d'ensemble du champ de l'amas MACSJ0138 et des emplacements des images de SN-Requiem (SN1-3) et de sa galaxie hôte (H1-4). La vue du champ en a est de 40 secondes d'arc de côté. Les étiquettes marquées 3.1-3.4 indiquent les emplacements d'une source de référence utilisée pour contraindre les paramètres de la lentille gravitationnelle. Les panneaux b-i montrent des vignettes de 4 secondes d'arc autour de chacune des images de la supernova. Les vignettes bcde montrent l'imagerie de

juillet 2016 où la supernova était visible et les fghi montrent l'imagerie de juillet 2019 où elle s'était estompée. Sur a, e et i, on a indiqué par un ovale l'emplacement où devrait apparaître la supernova aux environs de 2037. Au centre de l'image générale (a) on voit une cinquième image (SN5). L'image SN2 est nettement plus bleue que les deux autres, ce qui permet de contraindre l'âge relatif de chaque image et de classer provisoirement la supernova comme étant de type Ia. (Rodney et al, 2021, Nature Astronomy).

L'origine de la Terre et de Vénus

Basé sur un communiqué University of Arizona

La formation des planètes à partir d'un nuage d'astéroïdes et de miniplanètes fut probablement encore plus désordonnée et compliquée qu'on ne le pensait. De nouveaux résultats remettent en question la vision traditionnelle selon laquelle les collisions entre les planétésimales font qu'elles se collent les unes aux autres et croissent progressivement.

Au lieu de cela, des astronomes proposent un nouveau scénario dans lequel les corps pré-planétaires ont passé une bonne partie de leur temps dans le Système solaire interne à s'écraser et à ricocher les uns sur les autres, avant de se rencontrer à nouveau plus tard. Ayant été ralentis par leur première collision, ils auraient plus de chances de rester ensemble la fois suivante. Les impacts géants, même lorsqu'ils sont relativement lents, ne seraient donc pas les fusions efficaces que les scientifiques imaginaient. Pour que deux planètes fusionnent, il faut qu'elles aient été ralenties par de premières collisions. Ainsi, il est probablement faux de considérer que la Lune s'est formée en un événement unique. Il est plus vraisemblable qu'il a fallu deux collisions consécutives.

L'une des conséquences est que Vénus et la Terre auraient connu des expériences très différentes au cours de leur croissance en tant que planètes, bien qu'elles soient voisines immédiates dans le Système solaire interne. La jeune Terre aurait servi à ralentir les corps planétaires intrus, les rendant finalement plus susceptibles d'entrer en collision avec Vénus et de s'y coller. Pendant la formation du Système solaire, la Terre primitive

aurait servi d'avant-garde pour Vénus, agissant comme un bouclier. Une planète qui rebondissait sur la Terre avait plus de chance de frapper Vénus que la Terre et de fusionner avec elle.

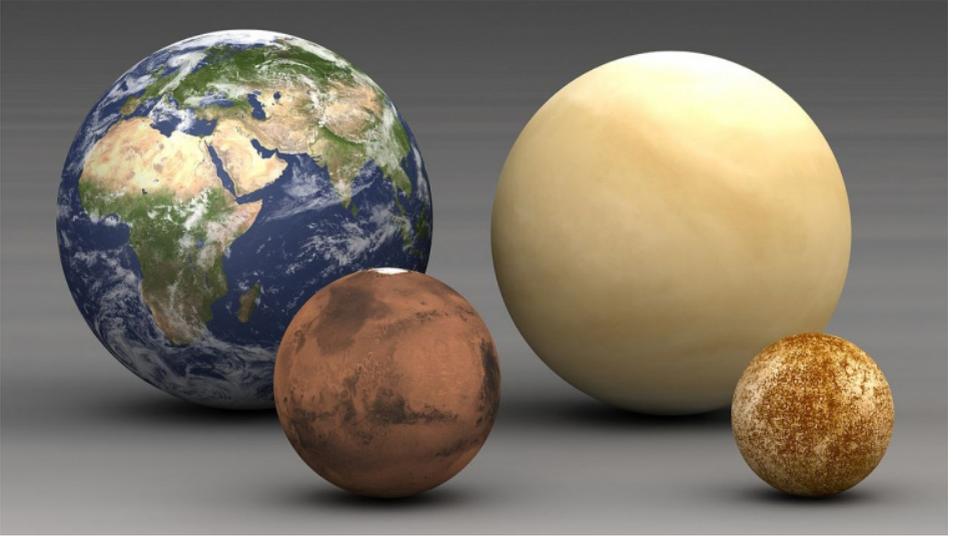
L'analogie d'une balle qui rebondit dans un escalier illustre cet effet : un corps arrivant du Système solaire externe est comme une balle qui rebondit dans un escalier, chaque rebond représentant une collision avec un autre corps. En cours de route, la balle perd de l'énergie, et rebondit toujours vers le bas. À cause de cela, le corps ne peut plus quitter le Système solaire interne. Il ne peut généralement que descendre vers Vénus, et un impacteur qui entre en collision avec Vénus tend à rester dans le Système solaire interne et donc, tôt ou tard, à frapper de nouveau Vénus.

La Terre ne dispose pas d'un tel bouclier pour ralentir ses planètes intruses. D'où une différence entre les deux planètes de taille similaire que les théories conventionnelles ne peuvent expliquer.

On pensait généralement qu'il importait peu que les planètes entrassent en collision et ne fusionnassent pas tout de suite, parce qu'elles devaient se rencontrer à nouveau à un moment donné. Mais il semble bien que ce ne soit pas le cas. Les planètes finissent



***Illustration de la collision de deux astres massifs.
(NASA/SOFIA/Lynette Cook)***



Les planètes internes du Système solaire. Selon la théorie de « l'accrétion tardive », Mars et Mercure (à l'avant, à gauche et à droite) sont ce qui reste d'une population originelle d'embryons, tandis que Vénus et la Terre se sont formées lors d'une série d'impacts géants. De nouvelles recherches se concentrent sur la prépondérance des collisions à répétition dans

les impacts géants et montrent que la proto-Terre aurait servi de répartiteur, ralentissant les corps de la taille d'une planète lors des collisions à répétition. Mais c'est surtout la proto-Vénus qui finissait par les accréter, ce qui signifie qu'il était plus facile pour Vénus d'acquérir des corps provenant du Système solaire externe. (Lsmppascal - Wikimedia commons)

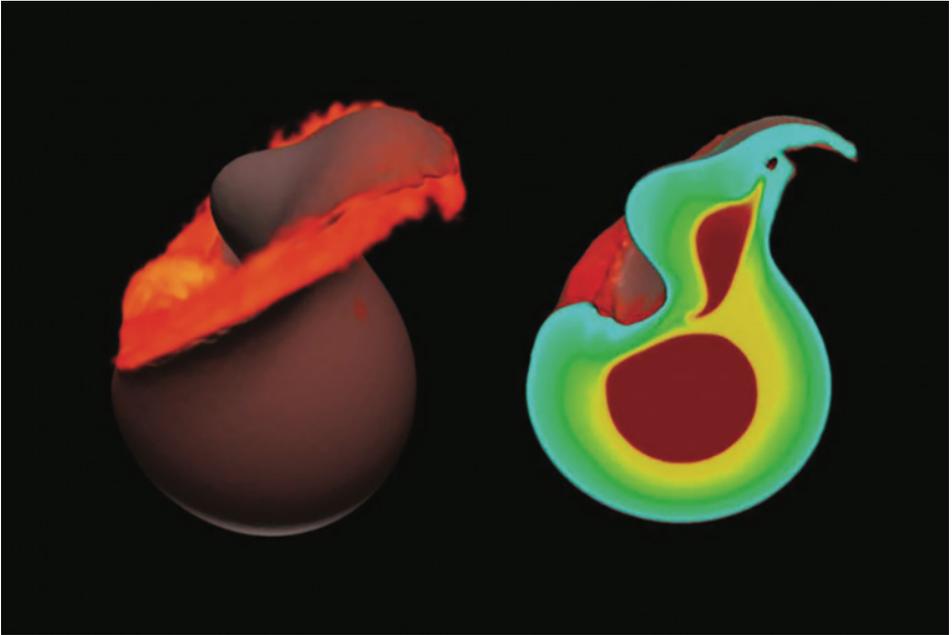
par s'agréger plus volontiers à Vénus qu'à la Terre. Il est plus facile de passer de la Terre à Vénus que l'inverse.

Pour suivre toutes ces orbites et collisions planétaires, et finalement leurs fusions, les chercheurs ont utilisé l'apprentissage automatique et obtenu des modèles prédictifs à partir de simulations 3D d'impacts géants. Ils ont ensuite utilisé ces données pour calculer rapidement l'évolution orbitale, y compris les impacts et les fusions, afin de simuler la formation de planètes terrestres sur une période de 100 millions d'années. Ils ont pu démontrer leur scénario pour la formation de la Lune, reconnaissant les principaux problèmes du modèle standard d'impact géant. Ce dernier suppose une collision très lente, relativement parlant, et crée une Lune qui est composée

principalement de la planète qui a donné l'impact, et non de la proto-Terre, ce qui est un problème majeur puisque la Lune a une chimie isotopique presque identique à celle de la Terre.

Dans le nouveau scénario, une protoplanète de la taille de Mars frappe la Terre, comme dans le modèle standard, mais elle est un peu plus rapide et continue sa course. Elle revient environ un million d'années plus tard pour un impact géant qui ressemble beaucoup au modèle standard.

Ce double impact mélange les choses beaucoup plus qu'un événement unique, ce qui pourrait expliquer la similitude isotopique de la Terre et de la Lune, et aussi comment la deuxième collision, lente et fusionnelle, se serait produite.



Simulation des séquelles d'une collision entre la jeune Terre et un autre corps planétaire. La Lune serait le produit d'un impact géant. Selon une nouvelle théorie, il y aurait eu deux impacts géants consécutifs, séparés d'environ un million d'années, impliquant une « Théia » de la taille de Mars et la proto-Terre. Sur cette

image, la collision proposée est simulée en 3D, une heure environ après l'impact. Une vue en coupe montre les noyaux de fer. Théia (ou la majeure partie de celle-ci) s'échappe à peine, ce qui rend probable une collision subséquente. (A. Emsenhuber/université de Berne/université de Munich)

Les chercheurs pensent que l'asymétrie qui en résulte dans la façon dont les planètes se sont assemblées ouvre la voie à de futures études sur la diversité des planètes terrestres. Par exemple, nous ne comprenons pas comment la Terre s'est retrouvée avec un champ magnétique beaucoup plus puissant que celui de Vénus, ou pourquoi Vénus n'a pas de lune.

La Terre aurait accreté la plupart de ses matériaux lors de collisions frontales et plus lentes que celles subies par Vénus. Les collisions obliques et à grande vitesse auraient de préférence abouti sur Vénus. Cela crée un biais

dans lequel, par exemple, les protoplanètes du Système solaire externe, à vitesse plus élevée, se seraient accrétées préférentiellement sur Vénus plutôt que sur la Terre. En bref, Vénus pourrait être composée de matériaux dont la Terre avait plus de mal à s'emparer.

On pourrait penser que la Terre est davantage composée de matériaux provenant du système externe parce qu'elle est plus proche du Système solaire externe que Vénus. Mais en fait, avec la Terre dans ce rôle de répartiteur, il est plus probable que Vénus accrete des matériaux du Système solaire externe.



*Image radar reconstituée par
Magellan et Pioneer Venus Orbiter.
(NASA)*

contribué au maintien des températures élevées en provoquant un effet de serre piégeant la chaleur sous l'atmosphère dense. La pluie ne pouvant pas tomber si la température est trop élevée à la surface, les océans n'ont donc jamais pu apparaître selon ce modèle climatique.

Les futures missions spatiales allant étudier notre voisine devraient ramener des données permettant de confronter ces résultats théoriques.

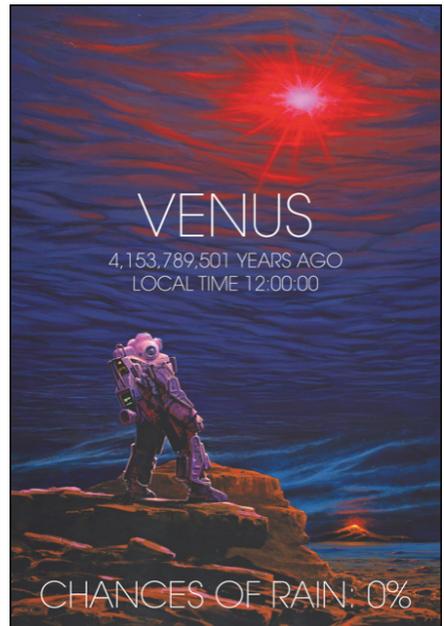
Vénus n'a jamais pu avoir d'océans

Basé sur un communiqué CNRS

Vénus, une des quatre planètes telluriques du Système solaire, garde un mystère : a-t-elle jamais abrité des océans ? Si une étude américaine a émis l'hypothèse que oui, elle est aujourd'hui contredite par de nouveaux travaux.

Grâce à un modèle climatique de dernière génération, les chercheurs ont établi un scénario différent de l'étude américaine : après sa formation, la jeune Vénus était couverte de magma. Pour former des océans, il aurait fallu que la température de son atmosphère diminue afin de permettre des pluies de plusieurs milliers d'années, comme ce fut le cas sur Terre. Or, même si peu après la naissance de Vénus, il y a 4,5 milliards d'années, le Soleil était 30 % moins lumineux, cela n'aurait pas suffi pour que la température de la planète diminue suffisamment et génère des océans. Une telle diminution aurait été possible si la surface de Vénus avait été à l'époque protégée du rayonnement solaire par des nuages. Or, ce modèle de climat a montré que ces derniers étaient principalement du côté nuit de Vénus. Sauf que de ce côté, les nuages ne pouvaient pas protéger du rayonnement solaire absent. Au contraire, au lieu d'offrir une protection, ils ont

*Vue d'artiste pour illustrer
l'absence d'eau sur Vénus.
(Manchu)*



42 astéroïdes en images

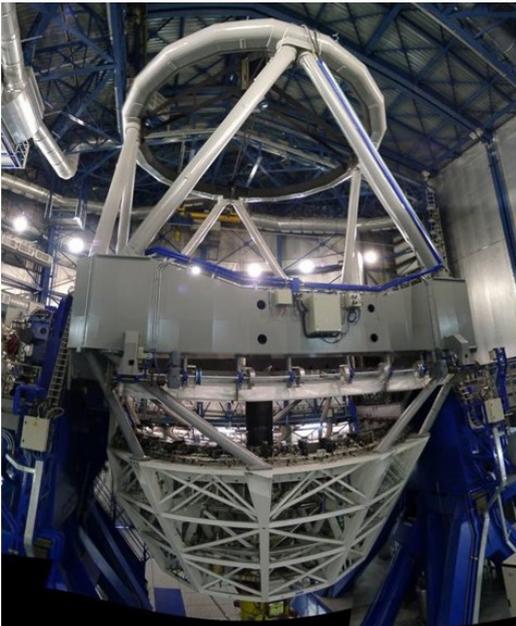
Basé sur des communiqués ESO et U. Liège

Le VLT de l'ESO a donné des images de 42 des plus gros astéroïdes de la ceinture principale située entre Mars et Jupiter. Cet échantillon est le plus grand à ce jour. Les observations révèlent une grande diversité de formes particulières, s'étendant de la sphère classique à l'os de chien, et permettent aux astronomes de retracer l'origine de ces objets dans le Système solaire. L'acquisition de ces images, au moyen de télescopes terrestres, constitue une avancée dans l'étude des astéroïdes.

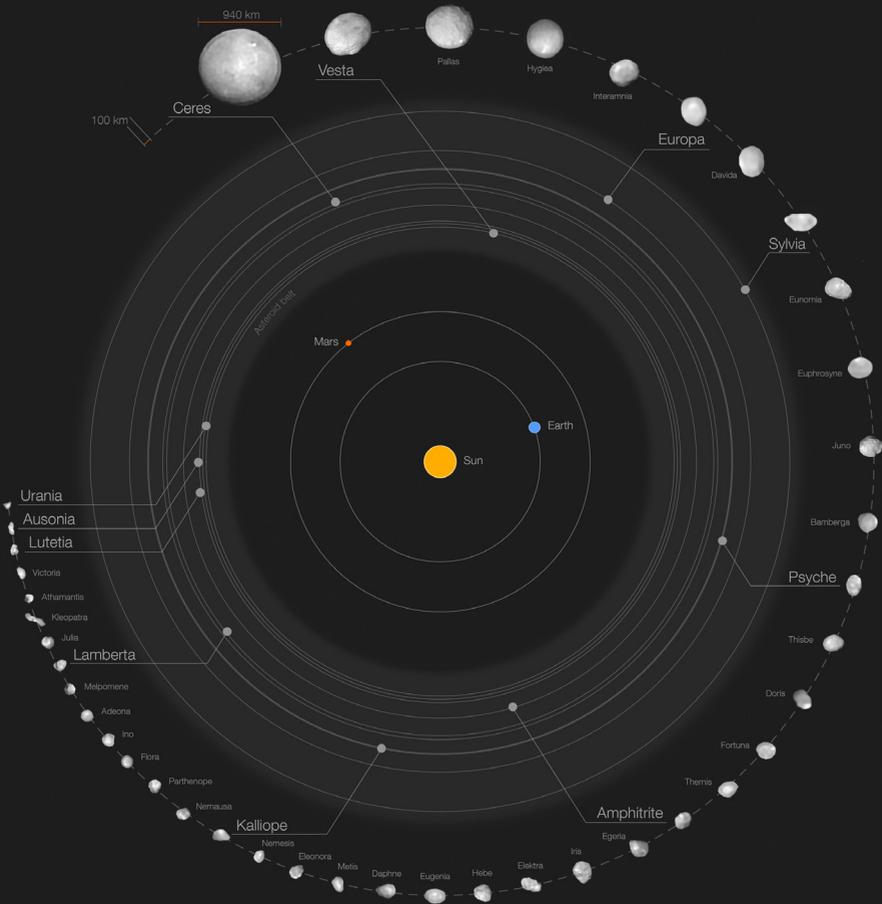
Jusqu'à présent, seuls trois grands astéroïdes de la ceinture principale, Cérés, Vesta et Lutétia, avaient été imagés avec un niveau de détail élevé, lorsque leurs chemins avaient croisé celui des sondes spatiales Dawn de la NASA et Rosetta de l'ESA. Le faible nombre d'observations détaillées d'astéroïdes dont nous disposions jusqu'alors nous empêchait d'accéder à leurs caractéristiques principales que sont leur forme 3D ou leur densité.

▼ *Le petit télescope TRAPPIST de 60 cm a uni ses forces à celles du géant VLT de 8 m 20 pour caractériser 42 gros astéroïdes. (E. Jehin et ESO)*

► *Images des 42 objets étudiés avec SPHERE. 39 d'entre eux ont un diamètre de plus de 100 kilomètres et 20 ont plus de 200 kilomètres. La planche met en lumière certains de ces objets, parmi lesquels Cérés (l'astéroïde le plus grand de la ceinture), Urania (le plus petit corps imagé), Kalliope (dont la densité surpasse celle des autres objets) et Lutétia, que croisa la sonde Rosetta de l'Agence Spatiale Européenne. (ESO/M. Kornmesser/Vernazza et al./MISTRAL algorithm ONERA/CNRS)*



MEET 42 ASTEROIDS IN OUR SOLAR SYSTEM

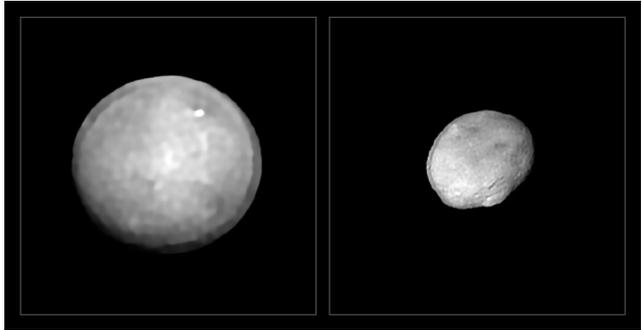


The asteroids presented here, 42 of the largest in our Solar System, were imaged with the European Southern Observatory's Very Large Telescope. The orbits are not to scale.

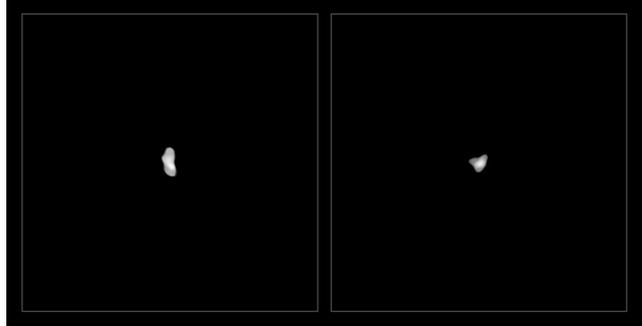


De haut en bas :

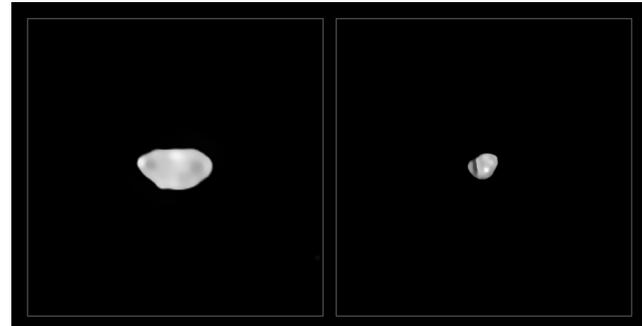
Cérès et Vesta, les deux plus gros objets de la ceinture d'astéroïdes située entre Mars et Jupiter, avec des diamètres de respectivement 940 et 520 kilomètres. Ces deux astéroïdes sont également les plus massifs de l'échantillon constitué.



Ausonia et Urania, les deux plus petits objets de l'échantillon avec des diamètres n'excédant pas 90 kilomètres.

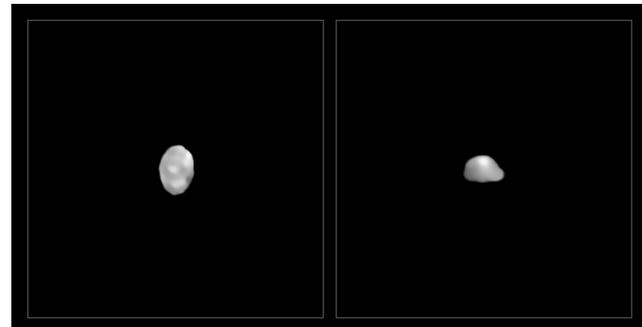


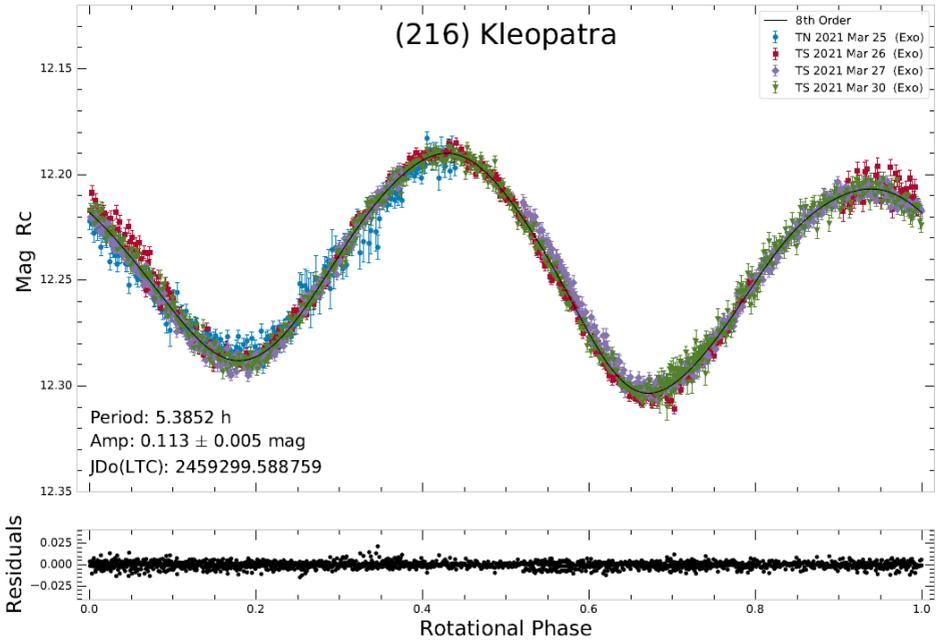
Sylvia et Lamberta, deux des astéroïdes les moins denses de l'échantillon. Leur densité avoisine 1,3 gramme par centimètre cube, soit celle du charbon.



Kalliope et Psyche, les deux objets les plus denses de l'échantillon. Leurs densités de 4,4 et 3,9 grammes par centimètre cube sont supérieures à celle du diamant (3,5 grammes par centimètre cube).

(ESO/Vernazza et al./ MISTRAL algorithm ONERA/CNRS)





Courbe de lumière de rotation de l'astéroïde Kleopatra obtenue avec les télescopes TRAPPIST. (M. Ferrais et al.)

Entre 2017 et 2019, les astronomes ont entrepris de combler cette brèche en menant une étude approfondie des principaux corps de la ceinture d'astéroïdes.

La plupart des 42 objets composant leur échantillon font plus de 100 kilomètres. L'équipe a notamment imagé la quasi-totalité des astéroïdes de taille supérieure à 200 kilomètres – 20 sur les 23 recensés. Les deux objets les plus imposants de l'étude sont Cérès et Vesta avec des diamètres de 940 et 520 kilomètres. À l'opposé, Urania et Ausonia, qui n'excèdent pas les 90 kilomètres, sont les plus petits. Cette collection d'images prises depuis le sol est d'une incroyable richesse. Les astéroïdes ont révélé leurs formes petit à petit grâce aux images prises à différents moments

de leur rotation. On peut même dans certains cas voir et étudier leurs cratères !

En reconstruisant les formes des objets, l'équipe s'est aperçue que les astéroïdes étudiés sont de formes très variées. Certains présentent un aspect quasi parfaitement sphérique, tels Hygiea et Cérès. D'autres en revanche arborent une forme particulière, étirée, à l'image de Kleopatra, semblable à un os.

En combinant les formes des astéroïdes avec les informations concernant leurs masses, l'équipe a pu constater la grande diversité de densités au sein de l'échantillon. Les quatre astéroïdes présentant la plus faible densité, parmi lesquels figurent Lamberta et Sylvia, affichent une densité de 1,3 grammes par centimètre cube – proches de celle du charbon. Les astéroïdes les plus denses en revanche, tels Psyche et Kalliope, affichent des densités de 3,9 et 4,4 grammes par centimètre cube, soit des valeurs supérieures à la densité du diamant (3,5 grammes par centimètre cube).

Cette grande disparité en terme de densité suggère de réelles différences de composition entre les astéroïdes de l'échantillon et offre aux astronomes d'importants indices concernant leurs origines respectives. Elle conforte l'hypothèse d'une migration substantielle de ces corps depuis l'époque de leur formation. En d'autres termes, de telles différences de composition témoignent de la formation de ces objets en des régions distinctes du Système solaire. En particulier, les résultats confirment l'hypothèse selon laquelle les astéroïdes caractérisés par une moindre densité seraient formés dans des régions éloignées, au-delà de l'orbite de Neptune, puis auraient migré vers leurs emplacements actuels.

Ces découvertes ont été permises par l'extrême sensibilité de l'instrument SPHERE (Spectro-Polarimetric High-contrast Exoplanet Research) installé sur le VLT de l'ESO. Les télescopes liégeois TRAPPIST ont obtenu des courbes de lumière pour déterminer la période de rotation précise des astéroïdes.

Les astronomes seront en mesure d'acquérir les images détaillées d'un plus grand nombre d'astéroïdes lorsque l'ELT (Extremely Large Telescope), actuellement en cours de construction au Chili, entrera en service à la fin de cette décennie. L'observation d'astéroïdes de la ceinture principale de diamètres compris entre 35 et 80 kilomètres sera possible et on pourra déceler des cratères de 10 à 25 kilomètres.



Parmi le groupe des 42 astéroïdes, 21 Lutetia est l'un des trois qui avaient déjà été photographiés par une sonde - en l'occurrence Rosetta - qui était passée à 3 000 kilomètres de lui lors de son voyage vers la comète 67P. (ESA)

Une nouvelle molécule détectée dans un disque proto-planétaire

D'après un communiqué CNRS

Comprendre la composition des disques proto-planétaires qui accompagnent systématiquement la formation des étoiles et sont les berceaux des systèmes planétaires, reste une étape clé pour élucider les mécanismes de formation des planètes.

L'observation des molécules constitue le principal moyen de contraindre les mécanismes physiques en action dans ces disques. Mais pour cela, il faut aussi comprendre l'évolution chimique de ces mêmes molécules pour interpréter correctement les observations moléculaires dans les disques.

Parmi les molécules connues à ce jour, celles contenant du soufre restent mal comprises. CS (le mono-sulfure de carbone) a été parmi les premières molécules détectées dans les disques en 1997 (utilisant le télescope de 30 m de l'IRAM). La situation n'a changé que récemment, avec la découverte de H_2CS par ALMA, et celle de H_2S (une molécule clé pour le soufre) par NOEMA.

Les astronomes ont utilisé l'interféromètre NOEMA de l'IRAM, et en particulier sa capacité à observer simultanément de nombreuses raies moléculaires, pour détecter la molécule CCS dans le disque entourant l'étoile triple GG Tau. Ce disque est assez massif, ce qui facilite la détection de molécules peu abondantes, comme H_2S , détecté en 2018.

L'abondance de CCS est environ 20 fois plus faible que celle de CS. La détection de cette molécule et la fixation d'une limite sur l'abondance de OCS, renforcent le problème de la compréhension de la chimie du soufre dans les disques. À ce jour, aucun modèle chimique ne permet encore de prédire correctement les abondances des molécules soufrées bien détectées (CS, H_2S , H_2CS et CCS) ou dont la détection est moins bonne (SO et OCS). La découverte de cette nouvelle molécule est un pas de plus vers un modèle chimique plus cohérent, ouvrant peu à peu la voie à la compréhension de la physico-chimie du disque où naissent les planètes.

C'est avec l'observatoire NOEMA dans les Hautes-Alpes françaises que les chercheurs ont détecté pour la première fois la molécule thioxoéthénylidène (CCS) dans un disque où se forment les planètes. (IRAM, DiVertiCimes)

