



# Astronomie dans le monde

## **Volcanisme d'Io**

*Basé sur un communiqué NASA/JPL*

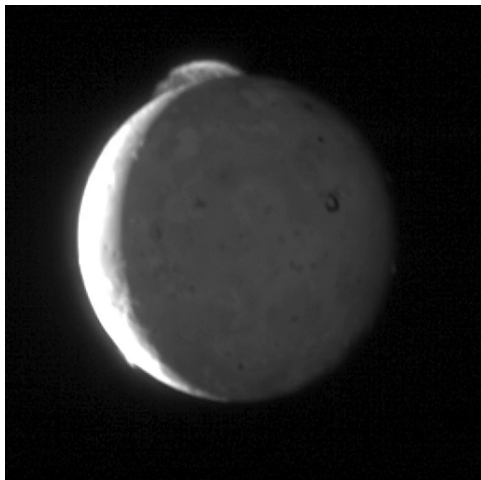
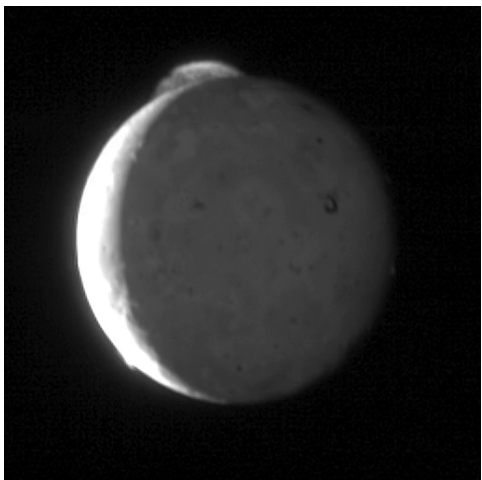
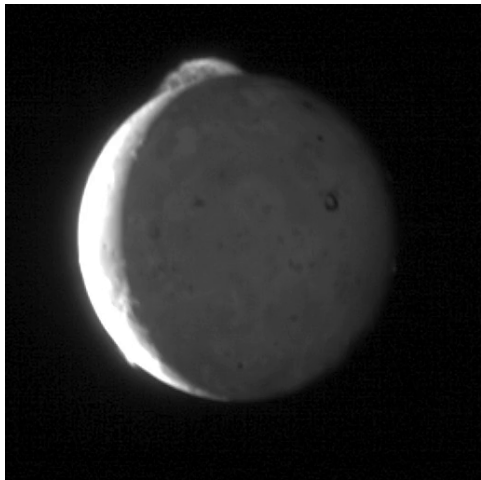
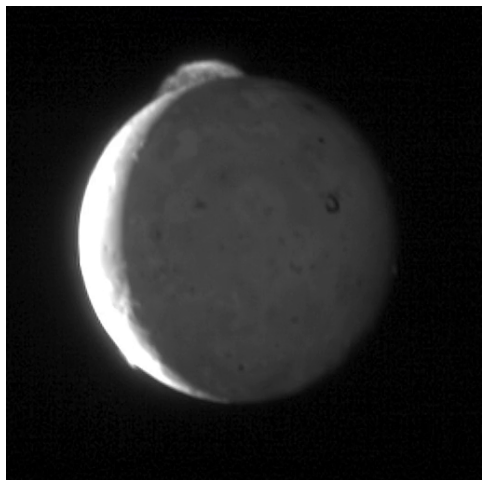
Io, l'un des gros satellites de Jupiter, est le corps volcanique le plus actif du Système solaire. La lune abrite environ 400 volcans, qui projettent de la lave et des panaches dans des éruptions apparemment continues qui contribuent à un resurfaçage constant du terrain.

Cette activité volcanique a été découverte en 1979 par Linda Morabito, qui a identifié un panache volcanique sur une image prise par le vaisseau spatial Voyager 1. Depuis, les planétologues se demandent comment les volcans sont alimentés à partir de lave souterraine. Y a-t-il un océan peu profond de magma, ou leur source est-elle localisée ?

*La région polaire nord d'Io, la lune volcanique de Jupiter, a été capturée par Juno lors de son 57<sup>e</sup> survol le 30 décembre 2023. (NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS ; G. Eichstädt)*

Les données de deux survols très rapprochés de Juno devaient donner des indications sur le fonctionnement de cette lune torturée. Juno a frôlé Io en décembre 2023 et février 2024, s'approchant à environ 1 500 kilomètres du sol. Au cours de ces passages rapprochés, les données Doppler de haute précision sur la vitesse de la sonde ont été utilisées pour mesurer la gravité d'Io, ce qui a donné des informations sur les marées joviennes affectant le satellite.

*Images prises par New Horizons en 2007,  
et montrant un panache de plus de 300  
km jaillissant du volcan Tvashtar d'Io. La  
séquence couvre une période de huit minutes.  
(NASA/Johns Hopkins APL/SwRI)*



Io est proche de Jupiter, et son orbite elliptique est parcourue en 42 heures. À mesure que la distance varie, l'attraction gravitationnelle de Jupiter change, de sorte que la lune est littéralement malaxée par les forces de gravité. Comme une pâte pendant le pétrissage, la lune est soumise à un échauffement dû aux marées. La chaleur dégagée est intense et liquéfie des parties d'Io. Si Io possède un océan de magma global, les déformations de marée doivent être bien plus importantes que si l'intérieur est essentiellement solide. Ainsi, en fonction des résultats de l'exploration du champ de gravité d'Io par Juno, on peut dire si un océan de magma se cache sous la surface.

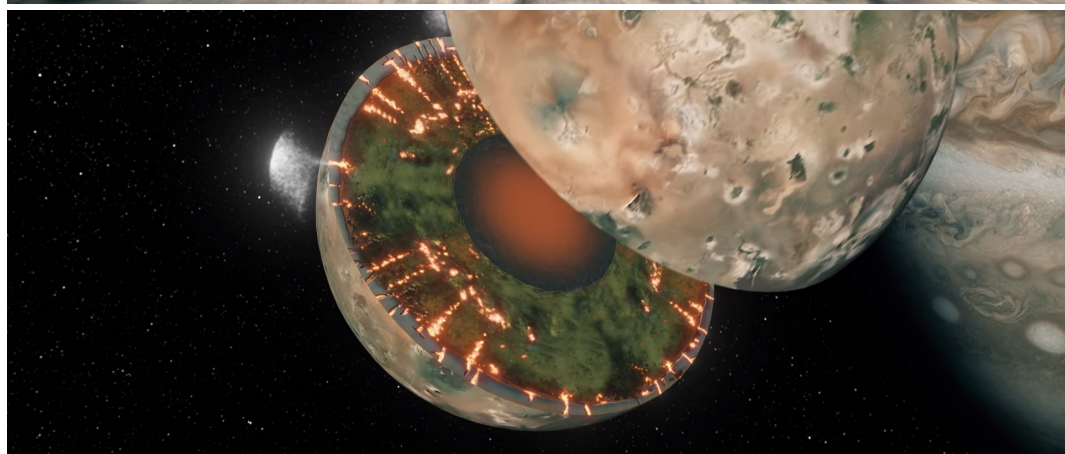
Les données Doppler acquises par Juno lors des deux survols ont été comparées aux observations des missions précédentes et des télescopes terrestres. Les déformations de marée sont en accord avec l'absence d'océan magmatique global, même peu profond. Ainsi les volcans d'Io sont probablement alimentés

par leur propre chambre de magma plutôt que par un océan de magma. Cette découverte résout un mystère vieux de 44 ans sur les origines des caractéristiques géologiques les plus démonstratives du satellite.

Le fait que les forces de marée ne créent pas nécessairement un océan de magma global demande la révision des idées concernant l'intérieur d'Io. Cela a aussi des implications pour notre compréhension d'autres lunes, comme Encelade et Europe, et même des exoplanètes et des super-Terres. Cela touche aussi nos idées sur la formation et l'évolution des planètes.

*Ci-dessous et à la page suivante, extraits d'une animation basée sur les données collectées par Juno, montrant des panaches volcaniques, une vue de la lave à la surface et la structure interne de la lune.  
(NASA/JPL-Caltech/SwRI/Koji Kuramura/  
Gerald Eichstädt)*





## ***Nuages de Jupiter***

*Basé sur un communiqué University of Oxford*

Une collaboration amateurs-professionnels a permis de mieux comprendre la composition des nuages de Jupiter. Au lieu d'être formés de glace d'ammoniac, comme on le pensait, ils seraient composés d'hydrosulfure d'ammonium mélangé à du smog.

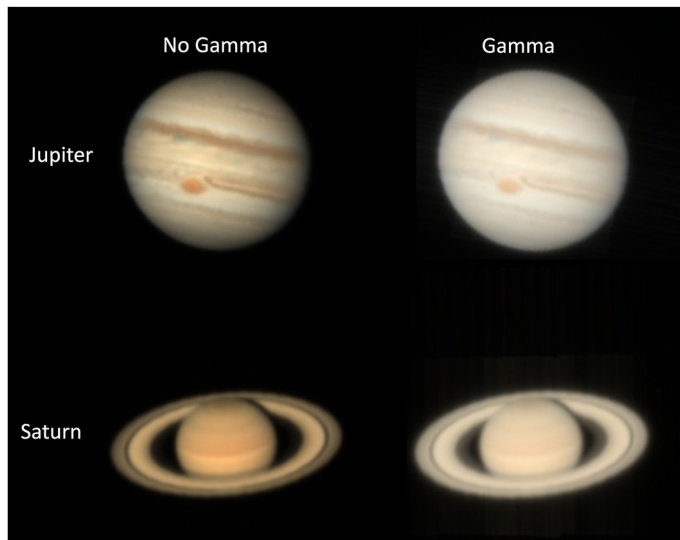
Cette découverte est principalement due à Steven Hill, un astronome amateur basé au Colorado. Il a récemment démontré que l'abondance d'ammoniac et la pression au sommet des nuages dans l'atmosphère de Jupiter pouvaient être cartographiées à l'aide de télescopes disponibles dans le commerce et de filtres spécifiques. Fait remarquable, ces premiers résultats ont non seulement montré que l'abondance d'ammoniac dans l'atmosphère de Jupiter pouvait être cartographiée avec des instruments d'amateur, mais ils indiquent que les nuages se trouvent trop bas dans l'atmosphère de Jupiter pour contenir de la glace d'ammoniac.

La méthode a été appliquée par des chercheurs aux observations de Jupiter réalisées avec l'instrument MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer) du VLT de l'ESO.

MUSE utilise la puissance de la spectroscopie pour cartographier l'ammoniac et la hauteur des nuages dans l'atmosphère de la géante gazeuse. En simulant la manière dont la lumière interagit avec les gaz et les nuages dans un modèle informatique, ils ont découvert que les nuages que l'on peut voir avec de petits instruments devaient se trouver beaucoup plus bas qu'on ne le pensait, dans une région de pression et de température trop élevées pour la condensation de l'ammoniac. Au lieu de cela, ces nuages doivent être constitués d'un matériau différent : l'hydrosulfure d'ammonium.

Des analyses antérieures des observations de MUSE avaient laissé entrevoir un résultat similaire. Cependant, comme ces analyses ont été réalisées avec des méthodes sophistiquées et extrêmement complexes, ce résultat était difficile à corroborer. Les nouveaux travaux démontrent que la méthode de S. Hill, consistant à comparer simplement les images dans des filtres étroits, donnait des résultats identiques. Et comme cette nouvelle méthode est bien plus rapide et très simple, elle est beaucoup plus facile à vérifier.

Les cartes d'ammoniac résultant de cette technique d'analyse simple peuvent être établies à une fraction du coût de calcul des



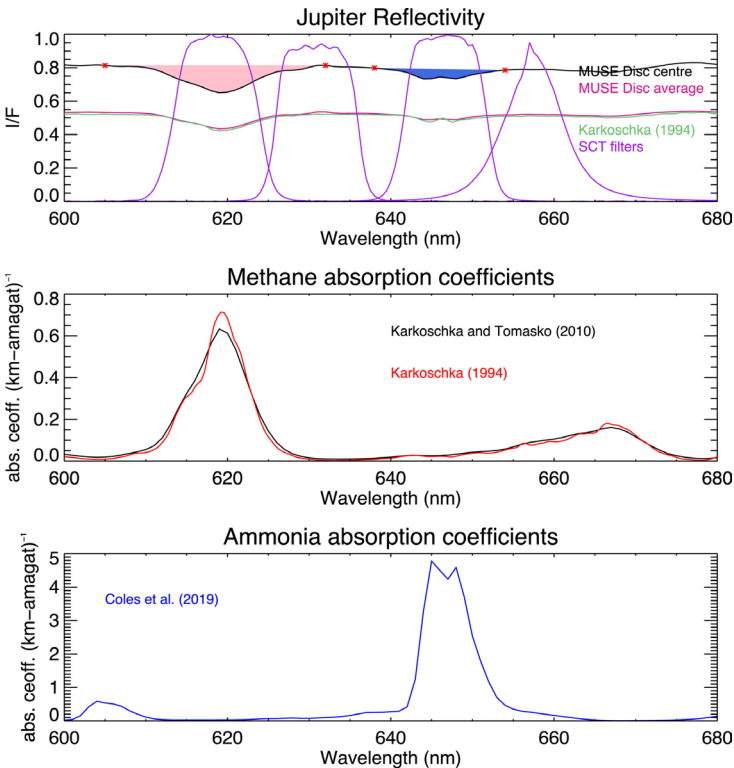
*Aspect visuel de Jupiter et Saturne reconstitué à partir des observations de MUSE respectivement du 23 mars 2020 et du 6 avril 2017. La colonne de gauche montre les couleurs reconstituées sans correction de gamma (contraste), tandis que la colonne de droite montre les images corrigées, qui sont plus proches de ce qu'un œil humain observe à travers un télescope. (P.G.J. Irwin et al., AGU)*

méthodes plus sophistiquées. Cela signifie qu'elles pourraient être utilisées par des amateurs pour suivre les variations d'ammoniac et de pression au sommet des nuages dans les différentes zones de l'atmosphère de Jupiter, les bandes, les petites tempêtes et les grands tourbillons comme la Grande Tache rouge.

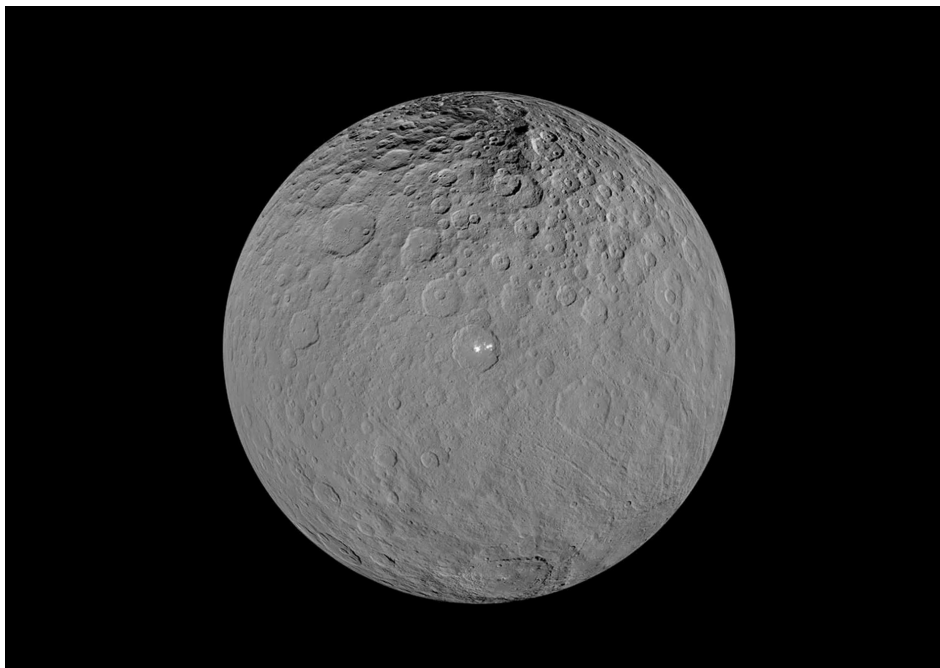
Pourquoi l'ammoniac ne se condense-t-il pas pour former d'épais nuages ? La photochimie est très active dans l'atmosphère de Jupiter. Les scientifiques suggèrent que dans les régions où l'air humide, riche en ammoniac, est poussé vers le haut, l'ammoniac est détruit et/ou mélangé à des produits photochimiques plus rapidement que la glace d'ammoniac ne peut se former. Ainsi, le nuage principal pourrait être composé d'hydrosulfure d'ammonium mélangé à des produits photochimiques de smog, qui produisent les couleurs rouge et marron observées sur Jupiter.

Dans de petites régions où la convection est particulièrement forte, les courants ascendants peuvent être suffisamment rapides pour former de la glace d'ammoniac fraîche, et de telles régions ont parfois été observées par des engins spatiaux tels que Galileo et plus récemment Juno. De petits nuages blancs d'altitude ont été observés, projetant leurs ombres sur la couche nuageuse principale.

La même méthode, appliquée aux observations de Saturne effectuées avec MUSE, ont donné une concordance similaire avec les cartes d'ammoniac provenant d'autres études, dont une établie à partir des observations du télescope spatial James Webb, ce qui suggère que des processus photochimiques similaires se produisent dans l'atmosphère de la planète aux anneaux.



*En haut, spectres de Jupiter, et profil des filtres étroits. Au milieu et en bas, profils d'absorption de l'ammoniac et du méthane. (P.G.J. Irwin et al., AGU)*



## ***Matière organique sur Cérès***

*Basé sur un communiqué IAA-CSIC*

Il y a six ans, la mission Dawn de la NASA communiquait pour la dernière fois avec la Terre, mettant fin à son exploration de Cérès et Vesta, les deux plus gros corps de la ceinture d'astéroïdes. Depuis, Cérès, une planète naine riche en eau qui montre des signes d'activité géologique, est au centre de débats sur son origine et son évolution. Ainsi, en 2017, les chercheurs avaient détecté des composés organiques près du cratère Ernutet, dans l'hémisphère nord de Cérès. L'une des hypothèses avancées était une origine exogène, suggérant que ces matériaux auraient été apportés par des impacts récents de comètes ou d'astéroïdes riches en matière organique.

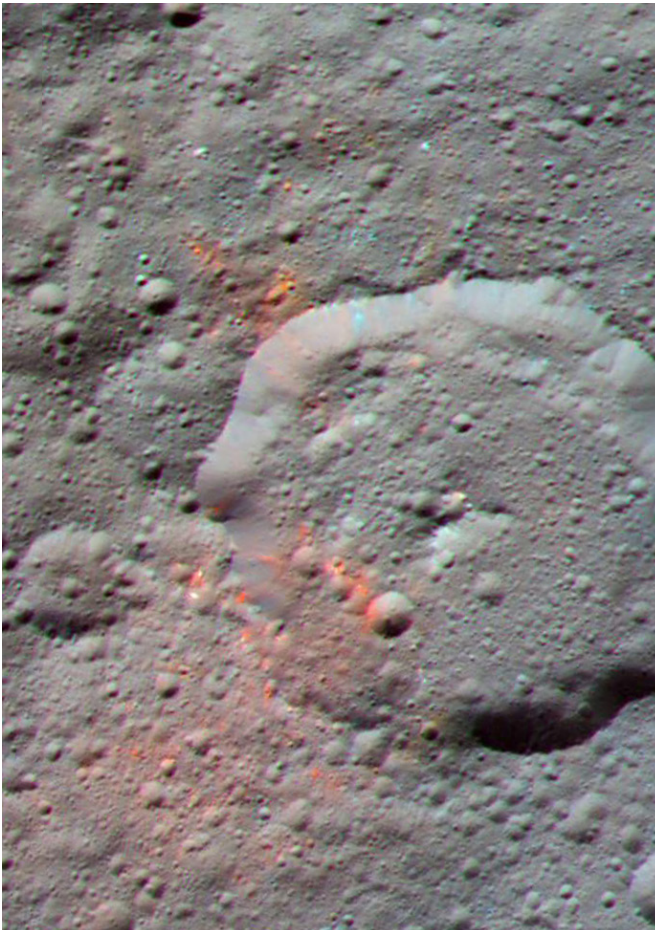
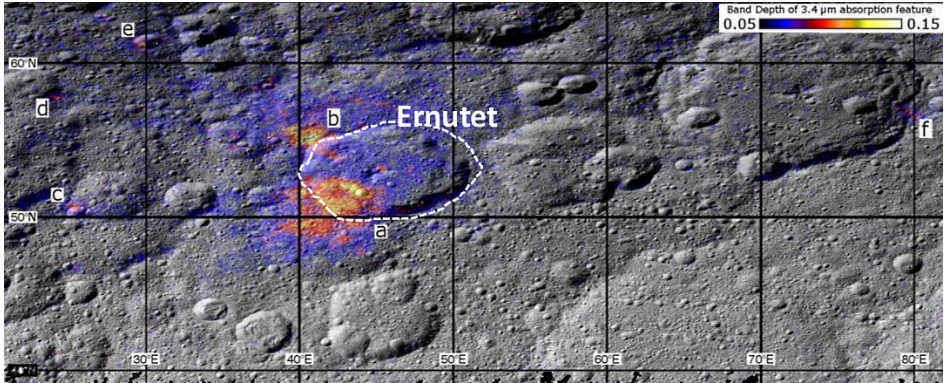
Une nouvelle étude a identifié onze régions suggérant l'existence d'un réservoir interne de matières organiques dans la planète naine. Cela offre une seconde possibilité : la matière organique se serait formée à l'intérieur

***La planète naine Cérès vue par la sonde Dawn de la NASA. Au centre, le cratère Occator, qui abrite la zone la plus brillante de Cérès.***

***(NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA)***

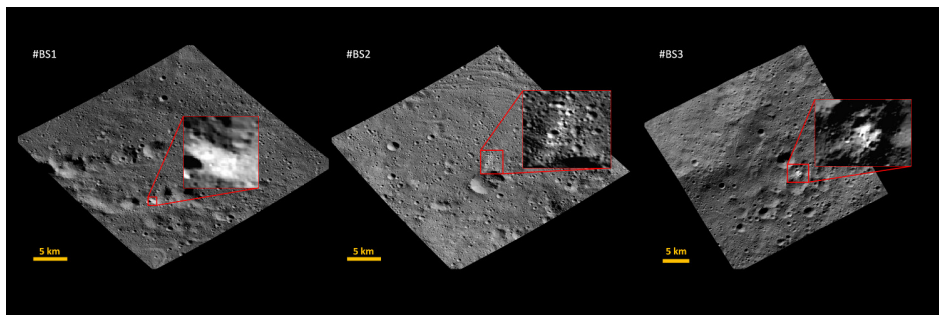
de Cérès et aurait été stockée dans un réservoir protégé du rayonnement solaire. L'importance de cette découverte réside dans le fait que, s'il s'agit de matériaux endogènes, elle confirme l'existence de sources d'énergie internes susceptibles de soutenir les processus biologiques.

Avec un diamètre dépassant les 930 kilomètres, Cérès est le plus gros objet de la ceinture principale d'astéroïdes. Cette planète naine, qui partage certaines caractéristiques avec les planètes mais ne répond pas à tous les critères de classification planétaire, est reconnue comme le corps le plus riche en eau du Système solaire interne après la Terre, ce qui la place parmi les mondes océaniques ayant une importance astrobiologique potentielle.



▲ Les données de la sonde Dawn montrent les zones autour du cratère Ernutet où des matières organiques ont été découvertes (étiquetées de « a » à « f »). Les couleurs plus chaudes indiquent des concentrations plus élevées en composés organiques.  
(NASA/JPL-Caltech/UCLA/ASI/INAF/MPS/DLR/IDA)

◀ Image composite réalisée par Dawn, montrant la concentration en composés organiques dans la région du cratère Ernutet.  
(NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA)



De plus, les propriétés physiques et chimiques de Cérès la relient à un type de météorite riche en composés carbonés : les chondrites carbonées. Ces météorites sont considérées comme des vestiges de la matière qui a formé le Système solaire il y a environ 4,6 milliards d'années.

Selon les chercheurs, Cérès devrait jouer un rôle clé dans l'exploration spatiale. Son eau, présente sous forme de glace et peut-être sous forme liquide sous la surface, en fait un lieu fascinant pour l'exploration des ressources. Dans le contexte de la colonisation spatiale, Cérès pourrait servir d'escale ou de base de ressources pour de futures missions vers Mars ou au-delà.

Pour explorer la nature de ces composés organiques, les scientifiques ont utilisé une nouvelle approche permettant l'examen détaillé de la surface de Cérès et l'analyse de la distribution des matières organiques à la plus haute résolution possible.

L'équipe a d'abord appliqué une méthode d'analyse spectrale mixte (SMA), une technique utilisée pour interpréter des données spectrales complexes, afin de caractériser les composés du cratère Ernutet. À partir de ces résultats, ils ont systématiquement scanné le reste de la surface de Cérès avec des images à haute résolution spatiale provenant de la caméra FC2 (Framing Camera 2) de Dawn. Cet instrument a fourni des images à haute résolution spatiale mais à faible résolution spectrale. Cette approche a permis d'identifier onze régions présentant des caractéristiques suggérant la présence de composés organiques.

***Les images BS1, 2 et 3 sont des images prises avec le filtre de la caméra FC2 de Dawn dans les zones où les composés organiques potentiels sont les plus abondants.***  
(Juan Luis Rizos)

La plupart de ces zones se situent à proximité de la région équatoriale d'Ernutet, où elles ont été plus exposées au rayonnement solaire que les matériaux organiques précédemment identifiés dans le cratère. Une exposition prolongée au rayonnement solaire et au vent solaire explique probablement les signaux plus faibles détectés, car ces facteurs dégradent les caractéristiques spectrales des matériaux organiques au fil du temps.

Les chercheurs ont ensuite procédé à une analyse spectrale approfondie des régions candidates à l'aide du spectromètre imageur VIR, qui offre une résolution spectrale élevée, mais avec une résolution spatiale inférieure à celle de la caméra FC2. La combinaison des données des deux instruments a été cruciale.

Parmi les candidats, une région située entre les bassins d'Urvara et de Yalode s'est distinguée par la présence la plus forte de matériaux organiques. Dans cette zone, les composés organiques sont répartis au sein d'une unité géologique formée par l'éjection de matériaux lors des impacts qui ont créé ces bassins.

Ces impacts ont été les plus violents que Cérès ait jamais connus, de sorte que les matériaux doivent provenir de régions plus profondes que pour les autres bassins ou cratères. Si la présence de composés organiques est

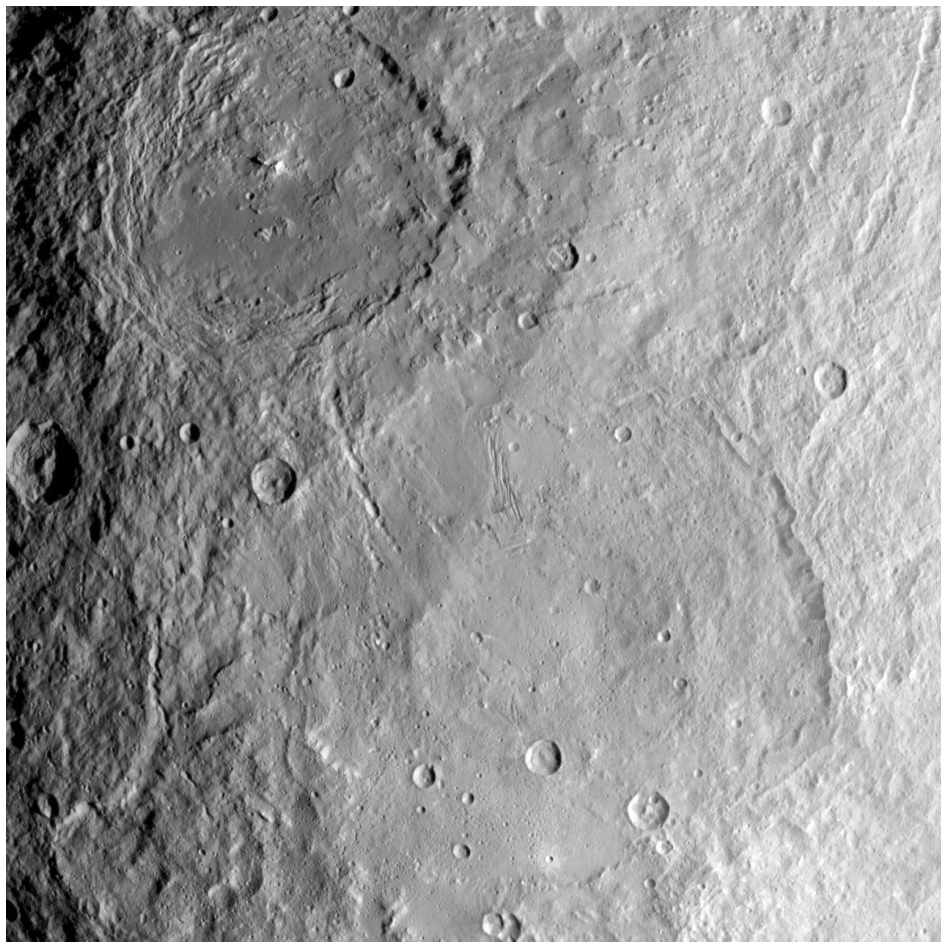
confirmée, leur origine laisse peu de doute sur le fait que ces composés sont endogènes.

Ces résultats sont corroborés par des expériences en laboratoire qui ont démontré que les composés organiques se dégradent plus rapidement sous l'effet du rayonnement solaire

*Image prise par Dawn, montrant les grands cratères Urvara (en haut) et Yalode (en bas) sur la planète naine Cérès. Les deux cratères géants se sont formés à des époques différentes. Urvara est âgé de 120 à 140 millions d'années et Yalode – fort érodé – de presque un milliard d'années.*  
(NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA)

que ce qui avait été estimé jusqu'à présent. Compte tenu des quantités détectées et des niveaux de dégradation observés, cela suggère que de la matière organique doit exister en grande quantité sous la surface de Cérès.

L'idée d'un réservoir organique dans un endroit aussi isolé et apparemment inerte que Cérès laisse entrevoir la possibilité que des conditions similaires puissent exister sur d'autres corps du Système solaire. Les présentes recherches seront essentielles pour définir la stratégie d'observation de futures missions.



## ***Distances de galaxies***

*Basé sur un communiqué UC London*

Les chercheurs participant à la collaboration PAUS (Physics of the Accelerating Universe Survey) ont mesuré avec une précision sans précédent la distance de près de deux millions de galaxies dans un champ de 50 degrés carrés. Pour cela ils ont utilisé la caméra PAUCam spécialement conçue pour le télescope William Herschel de 4,2 mètres (WHT) de La Palma, Canaries. Cela incluait des galaxies situées à plus de 10 milliards d'années-lumière.

Neuf ans après sa mise en service, PAUS est capable de mesurer les distances de nombreuses galaxies lointaines avec une précision relative de 0,3 %. L'équipe utilise actuellement ces données pour améliorer l'étalonnage des relevés cosmologiques existants.

Les relevés de galaxies lointaines sont de deux types : les relevés photométriques, et les relevés spectroscopiques. Ces derniers, moins profonds, sont limités quant au nombre

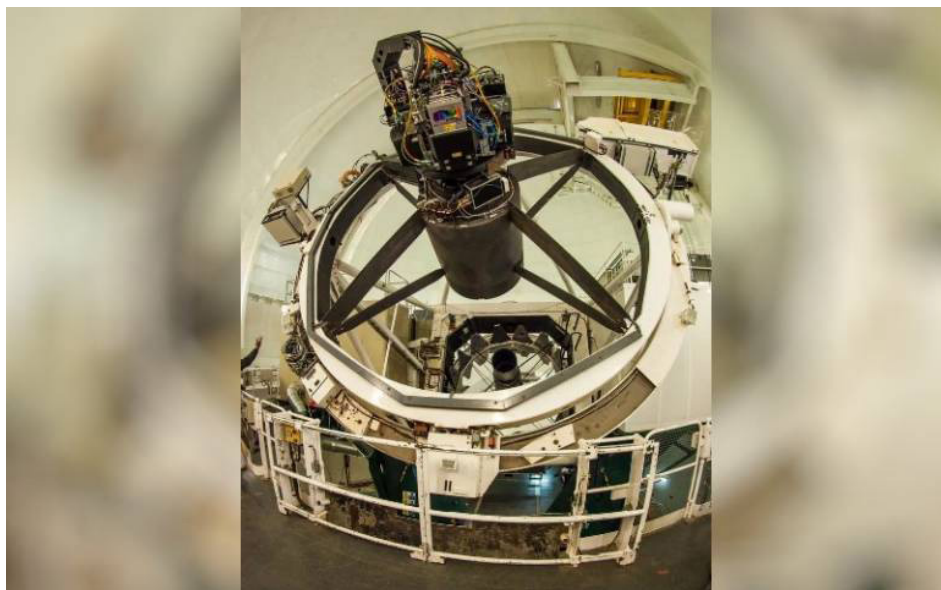
de galaxies pouvant être observées, mais ils fournissent une multitude d'informations sur chaque galaxie.

En utilisant 40 filtres distincts, PAUS combine les avantages des relevés photométriques et spectroscopiques et permet de construire une version à basse résolution du spectre des galaxies.

L'étude donnera l'occasion d'explorer la manière dont les galaxies interagissent avec leur environnement, principalement constitué de matière noire. Le nouveau catalogue permettra aux astronomes de créer des cartes plus précises pour comprendre comment les grandes structures se forment, et d'étudier l'expansion de l'Univers sous l'influence de la matière noire et de l'énergie noire.

Par exemple, les données PAUS sont utilisées pour améliorer les analyses et les simulations de lentilles faibles pour des missions spatiales concernant l'énergie noire telles qu'Euclid de l'Agence spatiale européenne, ou le survey LSST (Legacy Survey of Space and Time) de l'observatoire Rubin qui devrait entrer en fonction l'année prochaine.

***PAUCam sur le télescope William Herschel.  
(PAUS)***



## Quasars

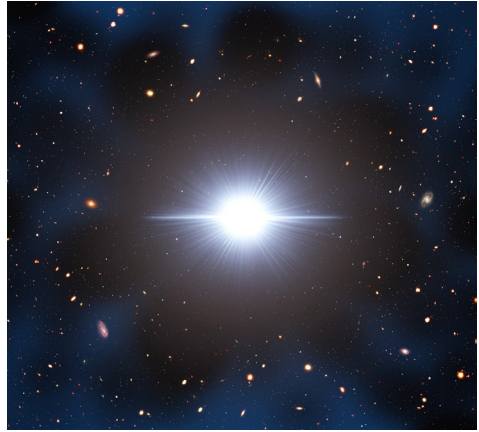
*Basé sur un communiqué NOIRLab*

Les observations réalisées à l'aide de la caméra DECam (Dark Energy Camera) confirment les prévisions des astronomes selon lesquelles les quasars de l'Univers primitif se sont formés dans des régions de l'espace densément peuplées.

Les quasars, objets les plus lumineux de l'Univers, sont alimentés par la matière qui s'accumule sur les trous noirs supermassifs au centre des galaxies. Des études ont montré que les quasars de l'Univers primitif ont des trous noirs si massifs qu'ils ont dû avaler du gaz à un rythme très élevé. Cela a conduit à penser qu'ils se sont formés dans certains des environnements les plus denses de l'Univers, là où le gaz était le plus disponible. Cependant, les observations cherchant à confirmer cette hypothèse ont jusqu'à présent donné des résultats contradictoires.

Une nouvelle étude utilisant la caméra DECam, installée sur le télescope Blanco de 4 m de Cerro Tololo au Chili, à la fois ouvre la voie à une explication de ces observations disparates et fournit un cadre logique pour les relier à la théorie. Il s'agit de la plus grande recherche dans le ciel jamais réalisée autour d'un quasar de l'Univers primitif dans le but de mesurer la densité de son environnement en comptant le nombre de galaxies compagnes environnantes.

Pour leur étude, les chercheurs ont visé le quasar VIK 2348–3054 dont la distance est bien connue, déterminée par des observations précédentes avec le réseau ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array). Le champ de trois degrés carrés de DECam et un filtre spécifique pour l'hydrogène étaient parfaitement adaptés à la détection de ses galaxies compagnes. Les astronomes ont ainsi pu les recenser autour du quasar en détectant leur rayonnement Lyman-alpha, une signature spécifique de l'hydrogène, produite lorsqu'il est ionisé puis recombéné au cours du processus de formation des étoiles. Les émetteurs Lyman-alpha sont généralement des galaxies plus jeunes et plus petites, et leur émission Lyman-alpha peut être utilisée comme un moyen de mesurer de manière fiable leurs distances. Les distances des émetteurs Lyman-alpha peuvent ensuite être utilisées pour construire une carte 3D du voisinage du quasar.



*Vue d'artiste du voisinage cosmique d'un quasar de l'Univers primitif (NOIRLab/ NSF/ Aura/ M. Ail/ J. da Silva/ M. Zamani)*

Après avoir cartographié systématiquement la région de l'espace autour de VIK J2348-3054, les astronomes ont trouvé 38 galaxies jusqu'à une distance de 60 millions d'années-lumière — ce qui est cohérent avec ce que l'on attend des quasars résidant dans des régions denses. Cependant, ils ont été surpris de découvrir qu'à moins de 15 millions d'années-lumière du quasar, il n'y en avait aucune.

Cette découverte éclaire les études précédentes visant à classer les environnements de quasars de l'Univers primitif. Les astronomes avaient toujours exploré des zones plus restreintes que celle fournie par DECam, de sorte que l'environnement d'un quasar pouvait sembler trompeusement vide.

L'équipe propose une explication à l'absence de galaxies dans le voisinage immédiat du quasar. L'intensité du rayonnement du quasar pourrait être suffisante pour échauffer le gaz et l'empêcher de s'effondrer, affectant ainsi la formation d'étoiles dans ces galaxies et les rendant invisibles à nos observations.

## ***FRBs et galaxies massives***

*Basé sur un communiqué Caltech*

Depuis leur découverte en 2007, les sursauts radio FRBs (Fast Radio Bursts), des impulsions extrêmement énergétiques, se comptent par centaines. Les scientifiques ont rassemblé de plus en plus d'indices montrant qu'ils sont émis par des étoiles à neutrons hautement magnétisées, des magnétars. L'une des meilleures preuves provient d'un sursaut récent qui eut lieu dans notre galaxie et qui fut filmé en temps réel par plusieurs observatoires.

Une des recherches de FRBs est effectuée à l'aide du Deep Synoptic Array-110 (DSA-110), basé à l'observatoire radio d'Owens Valley en Californie. À ce jour, le vaste réseau radio a détecté et localisé 70 FRBs dans leur galaxie d'origine spécifique (seuls 23 autres FRBs ont été localisés par d'autres télescopes). Dans l'étude actuelle, les chercheurs ont

analysé 30 de ces FRBs localisés. DSA-110 a plus que doublé le nombre de FRBs dont les galaxies hôtes sont connues.

Bien que les FRBs soient connus pour se produire dans les galaxies où se forment activement des étoiles, l'équipe a découvert, à sa grande surprise, que les FRBs ont tendance à se produire le plus souvent dans des galaxies massives.

Les galaxies massives ont tendance à être riches en métaux car ces éléments, fabriqués par les étoiles, mettent du temps à s'accumuler au cours de l'histoire cosmique. Le fait que les FRBs soient plus fréquents dans ces galaxies riches en métaux implique que leurs sources, les magnétars, y sont également plus communes.

Les étoiles riches en métaux ont tendance à devenir plus grosses que les autres. De plus, les étoiles massives qui explosent en supernovae et peuvent devenir des magnétars se trouvent souvent par paires. En fait, 84 % des étoiles massives sont binaires. Lorsqu'une étoile massive d'un système binaire gonfle en raison d'une teneur en métal supplémentaire, son excès de matière est entraîné vers sa compagne, ce qui facilite la fusion ultime des deux étoiles. Ces étoiles fusionnées auraient un champ magnétique combiné plus important que celui d'une étoile unique.

En résumé, comme les FRBs sont observés de préférence dans les galaxies massives et riches en métaux qui forment des étoiles, les magnétars (qui sont censés déclencher les FRBs) se forment probablement aussi dans des environnements riches en métaux propices à la fusion de deux étoiles. Les résultats suggèrent donc que les magnétars de l'Univers proviennent des restes de fusions stellaires.



***Montage montrant les antennes du Deep Synoptic Array-110 utilisées pour détecter et localiser les FRBs. Au-dessus des antennes se trouvent des images de certaines des galaxies hôtes des FRBs. (Annie Mejia/Caltech)***

## JuMBO

*Basé sur un communiqué U. Sheffield*

La récente découverte des JuMBO (Jupiter-Mass Binary Objects, cf. *Le Ciel*, avril 2024, 212) dans la nébuleuse d'Orion par le télescope spatial James Webb a intensifié le débat autour de l'origine de ces objets de masse planétaire flottant dans les régions de formation d'étoiles.

Les étoiles se forment généralement à partir de l'effondrement gravitationnel de nuages interstellaires, les planètes se formant ensuite à partir d'un disque de gaz et de poussière entourant la nouvelle étoile.

Les JuMBO, en revanche, sont des objets de masse planétaire en orbite les uns autour des autres dans des systèmes binaires. Les théories conventionnelles sur la formation des planètes ne prédisent pas qu'elles puissent se former dans des systèmes binaires. D'autre part, les masses des JuMBO sont trop petites pour qu'ils se soient formés de la même manière que les étoiles.

Les astronomes proposent une nouvelle hypothèse faisant appel à la « photoérosion ». Les JuMBO se formeraient initialement de manière semblable aux étoiles, mais leur croissance serait inhibée par le rayonnement des étoiles OB massives proches. Ces étoiles OB émettent d'intenses explosions de rayonnement, qui arrachent le gaz des couches externes des JuMBO en formation.

Il s'agit en fait d'une remise à jour d'une vieille théorie à la lumière d'observations récentes qui suggèrent que la plupart des étoiles se forment comme des systèmes binaires. La photoérosion fournit une explication à la formation des JuMBO, puisque le rayonnement des étoiles massives arrête la croissance des binaires stellaires de manière précoce.

Bien que cela apporte des informations supplémentaires sur la formation de masses planétaires flottantes, la véritable origine et la nature des JuMBO sont toujours à l'étude. Les recherches en cours et les observations futures seront cruciales pour confirmer leur existence et comprendre leur place dans le cosmos.



*La nébuleuse d'Orion vue par la caméra  
NIRCam du télescope spatial James Webb.  
(NASA/ESA/CSA)*

## Le Grand Nuage de Magellan

*Basé sur un communiqué NASA*

Le Grand Nuage de Magellan (LMC) est l'un des plus proches voisins de la Voie lactée. Cette galaxie naine domine le ciel nocturne austral, avec un diamètre apparent 20 fois supérieur à celui de la Pleine Lune. Selon beaucoup de chercheurs, le LMC ne serait pas en orbite autour de notre galaxie, il serait simplement en train de passer tout près ; plus précisément, il terminerait même cette visite.

La proximité de notre galaxie, beaucoup plus massive, a fait disparaître la majeure partie du halo sphérique de gaz qui entoure le LMC. Grâce au télescope spatial Hubble, les astronomes ont pu mesurer pour la première fois la taille de ce halo. Ils ont été surpris de découvrir qu'il n'a qu'environ 50 000 années-lumière de diamètre. C'est 10 fois moins que les halos de galaxies comparables. Cette compacité révèle l'histoire de sa rencontre avec la Voie lactée.

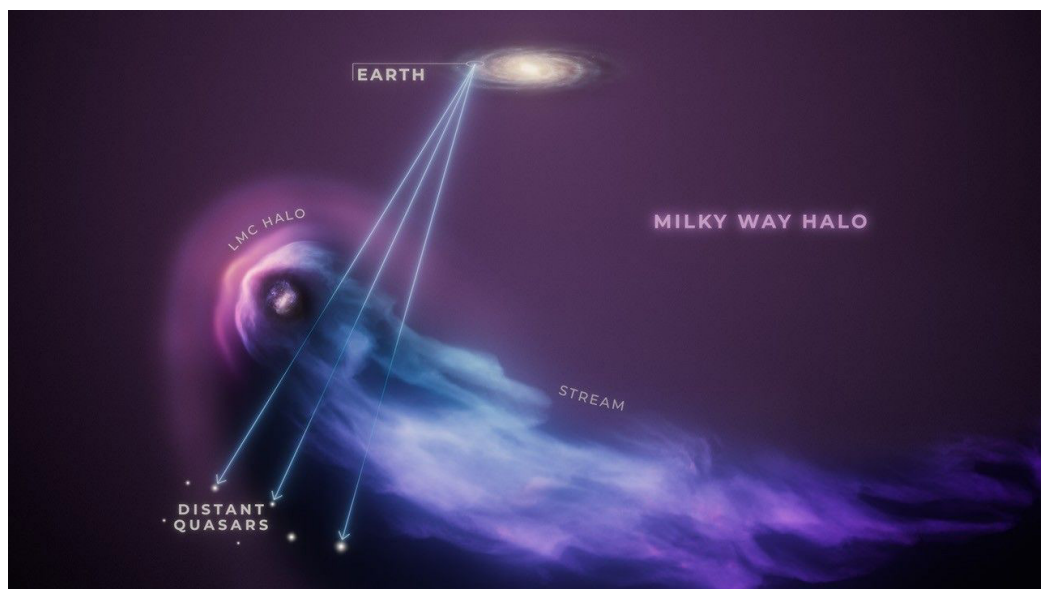
Le LMC est un survivant. Même s'il a perdu beaucoup de son gaz, il lui en reste

suffisamment pour continuer de forger de nouvelles étoiles. Une galaxie plus petite n'aurait pas survécu. Elle n'aurait plus de gaz, juste un ensemble d'étoiles rouges vieillissantes.

La majeure partie du halo du LMC a été emportée par un « décapage par pression dynamique » : l'avancée du LMC dans le milieu dense de la Voie lactée crée un sillage de gaz qui suit la petite galaxie comme la queue d'une comète. Ce gaz ralentit et finit par tomber sur la Voie lactée. Mais comme le LMC se dirige à nouveau vers l'espace lointain, les scientifiques ne s'attendent pas à ce que le halo soit entièrement perdu.

*Vue d'artiste montrant le Grand Nuage de Magellan au premier plan alors qu'il traverse le halo gazeux de la Voie lactée, une galaxie beaucoup plus massive. La rencontre a balayé la majeure partie du halo sphérique de gaz qui entoure le LMC, comme l'illustre le flux de gaz qui le suit, rappelant la queue d'une comète. Il reste un halo compact. L'équipe a étudié le halo en utilisant la lumière de fond de 28 quasars.*

*(NASA, ESA, Ralf Crawford/STScI)*

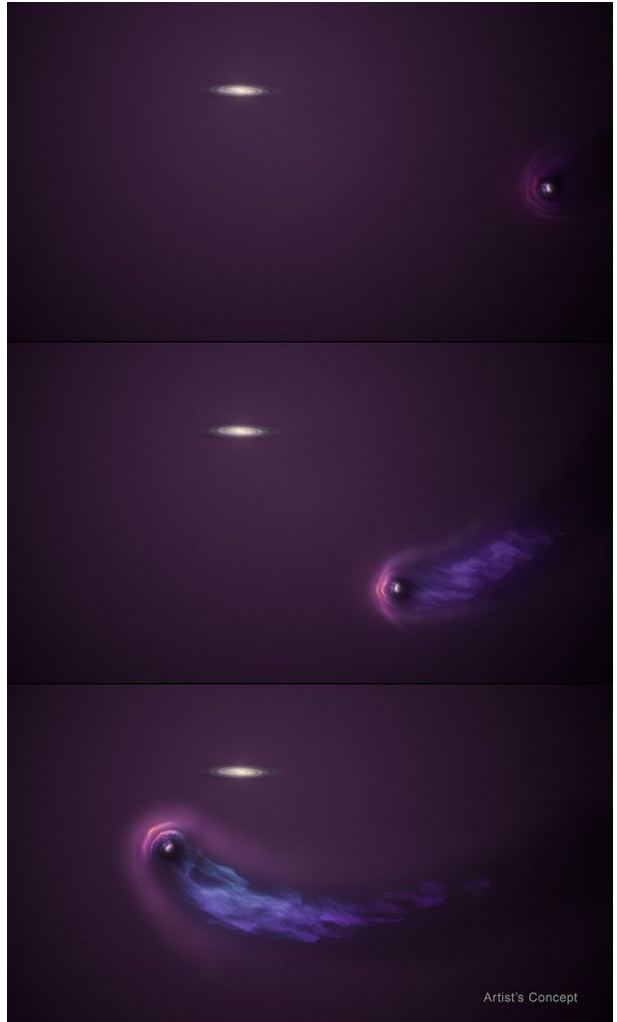


Pour mener cette étude, les chercheurs ont analysé les observations ultraviolettes des archives « Mikulski » relatives au spectrographe COS du télescope spatial Hubble. La majeure partie de la lumière ultraviolette est bloquée par l'atmosphère terrestre, elle ne peut donc pas être observée avec des télescopes au sol. Hubble est le seul télescope spatial actuel conçu pour détecter ces longueurs d'onde et l'étude n'a donc été possible qu'avec lui.

L'équipe a étudié le halo grâce aux absorptions qu'il produit dans les spectres de 28 quasars brillants situés bien loin en arrière-plan. Avec le COS, ils ont mesuré la vitesse du gaz autour du LMC, ce qui leur a permis de déterminer la taille du halo.

En raison de sa masse et de sa proximité avec la Voie lactée, le LMC est un laboratoire d'astrophysique unique en son genre. L'observation des interactions entre le LMC et notre galaxie aide les scientifiques à comprendre ce qui s'est passé dans l'Univers primitif, lorsque les galaxies étaient plus proches les unes des autres. Elle montre également à quel point le processus d'interaction entre les galaxies est complexe et désordonné.

L'équipe prévoit maintenant d'étudier une zone non encore explorée, là où le halo du LMC et celui de la Voie lactée entrent en collision.



*Illustration de la rencontre du Grand Nuage de Magellan avec le halo de la Voie lactée. Dans le panneau supérieur, du côté droit, le LMC commence à percuter le halo beaucoup plus massif de notre galaxie. L'onde de choc violette brillante représente le bord d'attaque du halo du LMC, qui est comprimé alors que le halo de la Voie lactée repousse le LMC. Dans le panneau central, une partie du halo est dépouillée et renvoyée dans une queue de gaz qui finira par tomber dans la Voie lactée. Le panneau inférieur montre la progression de cette interaction.*

*(NASA, ESA, Ralf Crawford/STScI)*

## ***South Pole Telescope***

*Basé sur un communiqué University of Chicago*

Environ 400 000 ans après le Big Bang, l'Univers s'est suffisamment refroidi pour permettre aux photons de s'échapper de la soupe cosmologique primordiale. Après un voyage des 14 milliards d'années suivantes, ces photons constituent le fond diffus cosmologique.

Cette première lumière de l'Univers est observée depuis des années par le South Pole Telescope situé à la station Amundsen-Scott en Antarctique. Une étude, basée sur ces mesures de haute précision du fond diffus cosmologique (CMB, Cosmic Microwave Background) et de sa lumière polarisée, confirme le modèle cosmologique standard. Elle calcule également la constante de Hubble (la vitesse d'expansion de l'Univers) à l'aide d'une nouvelle méthode offrant un nouvel éclairage sur le casse-tête connu sous le nom de « tension de Hubble ».

Alors que l'on dispose d'un modèle globalement cohérent, détaillé et efficace décrivant ces 14 milliards d'années d'évolution, on ne comprend pas l'origine des écarts initiaux par rapport à l'homogénéité complète qui ont finalement conduit à toutes les structures de l'Univers.

La nouvelle étude représente les premières contraintes sur la cosmologie utilisant uniquement la polarisation du CMB, ce qui le rend presque à 100 % indépendant des résultats précédents qui s'appuyaient principalement sur l'intensité totale.

Dans l'étude, les chercheurs ont analysé deux années de données de lumière polarisée collectées par le télescope en 2019 et 2020. Les observations de l'étude couvrent 1 500 degrés carrés de ciel et les données collectées ont permis de créer une carte à grande échelle de la masse de l'Univers.

La majorité de la lumière naturelle n'est pas polarisée mais, lorsque la lumière subit une réflexion, elle peut le devenir, ce qui signifie que la lumière oscille dans une direction privilégiée. Cela se produit par exemple lorsque la lumière du Soleil se reflète sur l'eau ou le sol, et c'est la raison pour laquelle les lunettes de soleil polarisées peuvent être si utiles pour réduire l'éblouissement. Cela s'est produit de la même façon lorsque les photons du fond diffus cosmologique subissaient leurs

***Le South Pole Telescope sur fond  
d'aurores australes.  
(U. Chicago, Aman Chokshi)***



dernières diffusions dans le plasma primordial qui commençait à disparaître il y a 14 milliards d'années. Après s'être échappée, la lumière légèrement polarisée s'est répandue dans l'espace en suivant des trajets déformés au gré des forces gravitationnelles. Des simulations numériques complexes permettent de découvrir l'image polarisée qui apparaîtrait en l'absence de lentilles gravitationnelles ainsi qu'une cartographie de ces dernières.

Les observations du South Pole Telescope permettent de s'attaquer directement au problème de la tension de Hubble : les scientifiques ne parviennent pas à décider du taux d'expansion de l'Univers, dont l'estimation varie en fonction de la méthodologie utilisée pour le mesurer.

Dans une méthode, les astronomes utilisent le modèle cosmologique standard, combiné aux observations du fond diffus cosmologique, pour prédire la rapidité avec laquelle l'Univers se développe aujourd'hui.

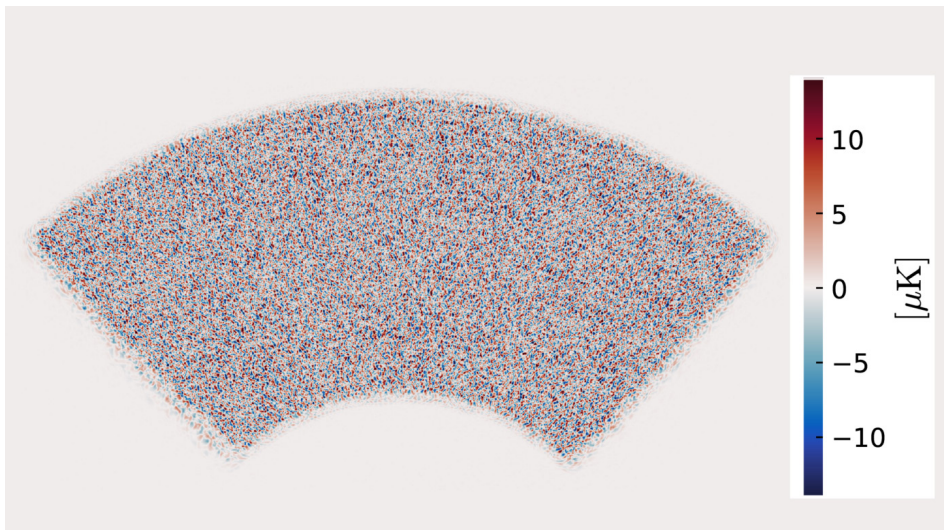
Une autre méthode consiste à utiliser des observations d'étoiles et de supernovæ pour mesurer plus directement le taux d'expansion. Les mesures obtenues ainsi ont généralement donné des résultats plus élevés, c'est-à-dire un taux d'expansion plus rapide, que les prédic-

tions du modèle standard. L'origine de cette divergence est l'une des principales énigmes de la cosmologie contemporaine.

L'équipe a utilisé les données de polarisation, combinées au modèle cosmologique standard, pour établir une nouvelle prévision du taux d'expansion. Leur prévision est cohérente avec celle réalisée à l'aide des cartes d'intensité du fond diffus cosmologique mesurées par le satellite Planck, une mission de l'Agence spatiale européenne.

La nouvelle prédiction de l'équipe est suffisamment précise pour être en contradiction avec les mesures des supernovæ, et ce avec un taux de confiance élevé. Elle s'aligne davantage sur le taux d'expansion prédit par le modèle cosmologique standard et la méthode d'intensité du fond diffus cosmologique, et représente un obstacle supplémentaire que toute solution à la tension de Hubble devra franchir.

*Les observations du SPT ont permis de créer des cartes de la polarisation du fond diffus cosmologique. Les couleurs représentent le degré de polarisation.*  
(F. Ge et al., 2024)



## AT 2021hdr

*Basé sur un communiqué NASA*

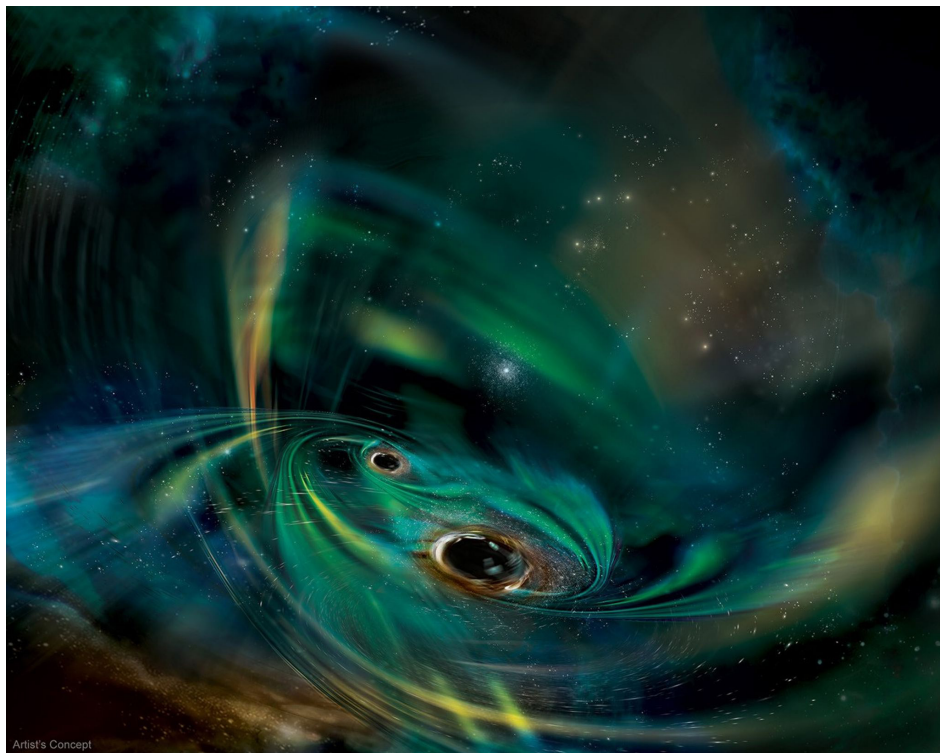
Les observations réalisées avec le télescope spatial Neil Gehrels Swift de la NASA ont conduit à découvrir une paire de trous noirs supermassifs interagissant avec un nuage de gaz.

Les deux trous noirs se trouvent au centre de la galaxie 2MASX J21240027+3409114, distante d'un milliard d'années-lumière, et sont séparés d'environ 26 milliards de kilomètres, suffisamment proches pour que la lumière ne mette qu'une journée à voyager entre eux. La masse du couple atteint 40 millions de fois celle du Soleil. Ils décrivent une orbite tous les 130 jours et entreront en collision et fusionneront dans environ 70 000 ans.

Le système a attiré l'attention des astronomes en 2021 à l'occasion de l'événement AT

2021hdr, une éruption repérée dans le domaine optique par le ZTF (Zwicky Transient Facility) à l'observatoire Palomar en Californie. Il a été signalé comme une source potentiellement intéressante par ALeRCE (Automatic Learning for the Rapid Classification of Events). Cette équipe multidisciplinaire combine des outils d'intelligence artificielle avec l'expertise humaine pour déceler les événements célestes noyés dans les montagnes de données collectées par des programmes comme ZTF et les communiquer à la communauté scientifique.

***Deux trous noirs monstrueux tourbillonnent dans un nuage de gaz dans cette vue d'artiste d'AT 2021hdr, une explosion récurrente étudiée par le satellite Swift et le Zwicky Transient Facility à l'observatoire Palomar.  
(NASA/Aurore Simonnet/Sonoma State University)***



Artist's Concept

Les scientifiques ont vite renoncé à l'hypothèse d'une supernova car d'autres éruptions ont suivi avec un rythme de 60 à 90 jours. La source est suivie avec le télescope spatial Swift depuis novembre 2022, ce qui a permis de découvrir des oscillations dans les domaines ultraviolet et X avec les mêmes échelles de temps que celles vues par ZTF.

Après avoir envisagé diverses hypothèses dont une activité normale au centre de la galaxie, ou la destruction d'une étoile s'approchant trop près d'un trou noir, les astronomes ont opté pour une autre possibilité : la perturbation par marée d'un nuage de gaz, plus gros que la paire de trous noirs. Lorsque le nuage a rencontré les trous noirs, il a été déchiqueté par la gravité et a commencé à chauffer, particulièrement à proximité des trous noirs. Au cours de chaque orbite, l'interaction complexe des forces éjecte une partie du gaz du système et produit les variations de luminosité observées par Swift et ZTF.

Les chercheurs prévoient de poursuivre les observations d'AT 2021lhr pour mieux comprendre le système. Ils souhaitent également étudier la galaxie d'origine, qui est en train de fusionner avec une voisine. Alors que Swift approche de son 20<sup>e</sup> anniversaire, il est étonnant d'assister à toutes les nouvelles découvertes scientifiques qu'il continue d'apporter à la communauté.

*Quelques étapes d'une simulation de la rencontre d'un nuage de gaz avec deux trous noirs supermassifs. L'interaction complexe des forces gravitationnelles et de friction provoque la condensation et l'échauffement du nuage. Une partie du gaz est éjectée du système à chaque orbite des trous noirs. Chaque panneau montre une vue de profil et une du pôle.*  
(F. Goicovic et al. 2016)

