

L'astronomie dans le monde

Rosetta et Lutétia

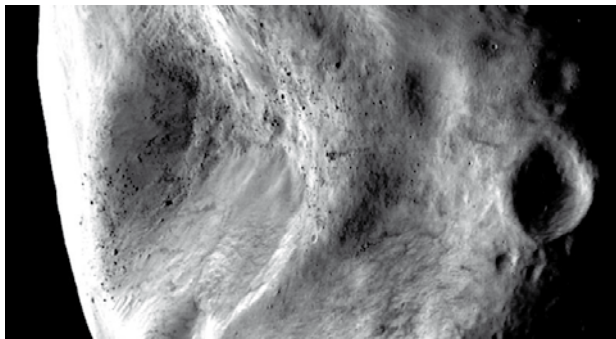
Basé sur un communiqué de l'Observatoire de Paris

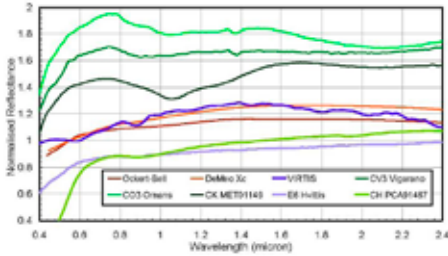
Plus d'un an après le passage de la sonde Rosetta près de l'astéroïde Lutétia (*Le Ciel*, septembre 2010, p. 289), la composition de ce dernier reste une énigme. La valeur intermédiaire de l'albédo et les propriétés spectrales observées depuis la Terre ou des télescopes orbitaux (Herschel et Spitzer) ont conduit à des discussions animées entre experts ces dernières années, les informations disponibles ne permettant pas de distinguer entre une composition carbonée (objet primitif) ou métallique (noyau d'un planétésimal différencié, puis pulvérisé). L'ensemble des données disponibles montre que Lutetia est différent de tous les astéroïdes observés jusqu'à présent depuis la Terre ou visités par des sondes spatiales.

La mission Rosetta de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) a été lancée en 2004 pour un rendez-vous avec la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko en 2014. Au cours de son voyage vers la comète, la sonde a effectué trois survols de la Terre et un de Mars pour profiter de leur assistance gravitationnelle, et a survolé deux astéroïdes, (2867) Steins et (21) Lutetia. Rosetta a approché Lutetia le 10 Juillet 2010 à une

distance de 3 170 km avec une vitesse relative de 15 km/s. Les images obtenues par la caméra OSIRIS (Optical, Spectroscopic and Infrared Remote Imaging System) révèlent un objet d'environ 120×100 km à la géologie complexe et d'une densité très élevée pour un astéroïde. La forme irrégulière de Lutetia semble résulter d'une longue histoire collisionnelle : le bombardement par des astéroïdes plus petits a produit de nombreux cratères

La surface de (21) Lutetia. Dans ce cratère de 21 km de diamètre on observe des glissements de terrain, de gros rochers isolés, des rides dues à des éboulements, et des expositions de roche cohérente. (ESA/ agences DLR, CNES, ASI, MEC et SNSB).





Spectre VIRTIS (ligne sombre à mi-hauteur) dans le domaine 0,5-2,4 micron en comparaison avec des spectres de météorites (carbonacées et chondrites estatites) (ESA/agences ASI, CNES, & DLR).

de plusieurs dizaines de kilomètres, jusqu'à 55 km. Néanmoins, certaines régions jeunes, très lisses, sont également présentes. La région du pôle Nord est ainsi couverte par une épaisse couche de régolite où se développent des glissements de terrain importants, sous l'effet de l'activité sismique liée aux impacts.

La présence à l'intérieur des cratères de gros rochers isolés indique un mécanisme d'impact complexe. Les images montrent des variations d'albédo notables et une grande variété de structures géologiques : puits, chaînes de cratères, crêtes, escarpements et larges plaines récentes. Sa géologie complexe, l'âge de la surface et la densité élevée suggèrent que Lutetia est probablement un vestige des planétésimaux qui ont formé les planètes du système solaire il y a 4,5 milliards d'années.

Les spectres obtenus avec l'instrument VIRTIS (Visible, Infrared and Thermal Imaging Spectrometer) sur l'hémisphère nord ne montrent aucune absorption minéralogique, en particulier silicates ferreux ou minéraux hydratés. La température maximale mesurée est de 245 K ; la comparaison avec des modèles théoriques implique que la surface de l'astéroïde est recouverte d'un régolite épais, très isolant. Les spectres sont compatibles avec une composition similaire à celles de certaines météorites primordiales, chondrites carbonées ou chondrites à enstatite.

2005 YU55

Découvert en décembre 2005 à l'observatoire de Kitt Peak, l'astéroïde 2005 YU55 est classé comme potentiellement dangereux (PHO, potentially hazardous object), c'est-à-dire qu'il circule sur une trajectoire l'amenant à passer souvent près de nous et que sa masse est telle qu'une collision serait catastrophique. Il est ainsi passé près de la Terre le 8 novembre, suscitant pas mal d'excitation dans les médias. « Près » est tout relatif : il est resté à plus de 300 000 kilomètres de nous, ce qui en fait malgré tout le plus gros astéroïde à être observé d'aussi près sans l'aide de sondes spa-

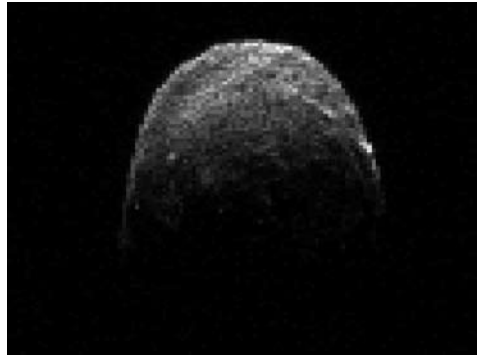


Image radar prise le 7 novembre lorsque 2005 YU55 était à 1,4 millions de kilomètres. (NASA/JPL-Caltech)

tiales. En 1976, un astéroïde un peu plus petit, 2010 XC15, nous avait survolé d'encore plus près, mais on ne l'a su qu'après sa découverte en 2010 et le calcul de son orbite.

Des images radar avaient déjà été obtenues en avril 2010 avec l'antenne géante d'Arecibo (Puerto Rico) lors du précédent passage. Cette fois, l'antenne de Goldstone a commencé ses observations le 4 novembre et Arecibo le 8, jour du survol. Lorsque la distance s'est réduite, le retour de l'écho radar était si rapide qu'une même antenne ne pouvait assurer l'émission et la réception. Les deux ont donc été combinées. Un intérêt primordial des mesures radar est de déterminer l'orbite avec

précision, de prévoir les circonstances des prochains passages et les risques de collisions futures. Il semble bien que nous n'ayons rien à craindre pour les prochaines décennies.

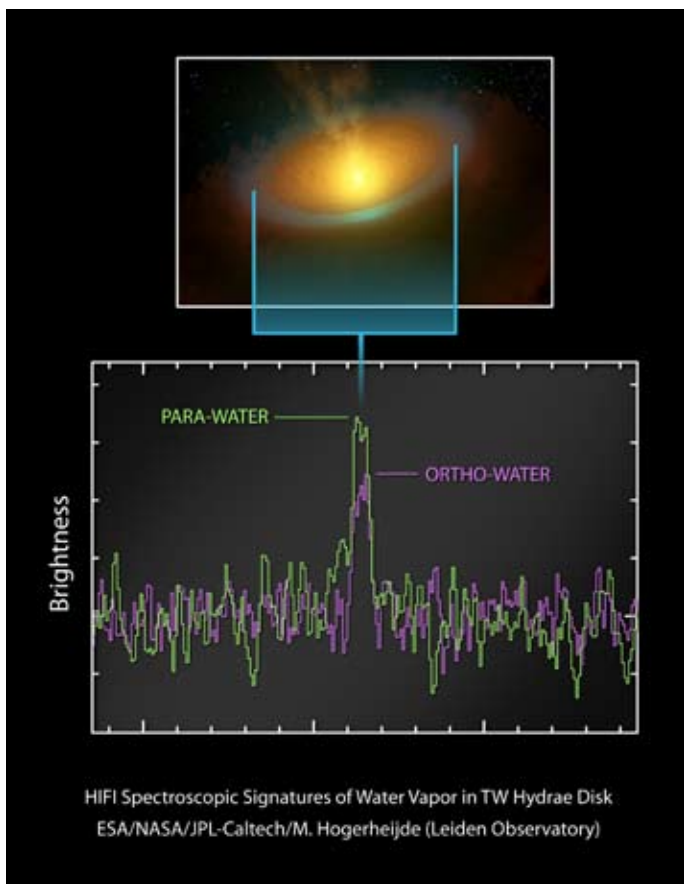
Les amateurs ont aussi été mis à contribution pour déterminer la courbe de lumière de cet objet dont la rotation semble inhabituellement lente (18 heures ?). Au plus près, sa magnitude était de 11 et il se déplaçait à la vitesse apparente de 7 secondes d'arc par seconde. La Lune, presque pleine, ajoutait à la difficulté de suivre l'objet avec un télescope. Les jours suivants la vitesse diminuait, mais l'éclat aussi, rendant les observations tout aussi difficiles.

Eau et disque proto-planétaire

L'observatoire spatial Herschel a décelé de la vapeur d'eau dans un disque de poussières entourant une étoile. Elle émane de grains recouverts de glace et suggère une quantité totale d'eau équivalente à des milliers d'océans.

L'étoile est TW Hydrae, un astre jeune, de 5 à 10 millions d'années, distant de 176 années-lumière. Le disque qui l'entoure est destiné à former des planètes et l'eau qu'il renferme servira peut-être à remplir des mers et à susciter la vie.

Une grande partie de l'eau terrestre vient peut-être des comètes qui ont bombardé notre planète, ainsi que l'a montré récemment Herschel (*Le Ciel*, novembre 2011, p. 352). La découverte d'eau dans un disque circumstellaire vient renforcer cette hypothèse puisque, en s'agglutinant, les grains servent de matière première aux comètes.



L'image du haut est une représentation imaginaire du disque protoplanétaire autour de l'étoile TW Hydrae.

En bas figure le spectre du disque obtenu par le spectromètre HIFI de l'observatoire spatial Herschel et montrant la signature de l'eau.

Les molécules d'eau existent sous deux formes différant par le « spin » des atomes d'hydrogène et appelées ortho et para. La proportion de ces deux formes permet de dire à quelle température s'est formée l'eau. Il semble ici que c'était à basse température. (ESA/NASA/JPL-Caltech/M. Hogerheijde, Leiden Observatory)

Nouveaux amas

Le télescope VISTA de l'ESO a permis la découverte de deux amas globulaires qui s'ajoutent ainsi aux 158 amas globulaires déjà connus dans notre Voie lactée.

Le premier, VVV CL001, est un petit groupe d'étoiles que l'on peut voir dans la moitié gauche de l'image ci-dessous, juste au-dessus du centre. Cette image montre surtout l'amas UKS 1. Ce dernier (=UKS 1751-24.1), connu depuis longtemps, est affecté d'une très forte extinction par des nuages de poussières. Cette extinction concerne aussi VVV CL001 ce qui rend ces amas bien visibles uniquement en infrarouge, domaine exploré par VISTA.

Un second objet, baptisé VVV CL002, pourrait être l'amas globulaire connu le plus proche du centre de la Voie lactée. La découverte d'un nouvel amas globulaire dans notre Voie lactée est très rare. Le dernier avait été découvert en 2010.

En plus des amas globulaires, VISTA trouve de nombreux amas ouverts ou amas galactiques, qui contiennent généralement des

*VVV CL001 est le petit amas situé à gauche du centre. Le gros amas de droite est UKS 1. Les clichés sont une combinaison d'images infrarouges prises au travers des filtres J, H et K.
(ESO/D. Minniti/VVV Team)*



*VVV CL002 apparaît comme une faible concentration d'étoiles
(ESO/D. Minniti/VVV Team)*

étoiles plus jeunes et moins nombreuses que dans les amas globulaires et sont beaucoup plus fréquents. Un autre groupe qui vient d'être détecté, VVV CL003, semble être un amas ouvert qui se trouve dans la direction du cœur de la Voie lactée, mais beaucoup plus loin, à environ 15 000 années-lumière au-delà du centre. Il s'agit ainsi du premier amas découvert sur la face cachée de la Voie lactée.



Galaxies primitives

Adapté d'un communiqué ESO

Les sursauts gamma constituent les phénomènes explosifs les plus lumineux de l'univers. Il en existe de deux sortes : les longs, de plus de deux secondes, et les courts. Les sursauts longs sont associés à des explosions, sous forme de supernova, de jeunes étoiles massives dans les galaxies à formation stellaire. Les sursauts courts ne sont pas très bien compris, mais l'on suppose qu'ils résultent de la fusion de deux objets compacts tels que des étoiles à neutrons.

Ces phénomènes sont détectés par des télescopes situés en orbite autour de la Terre, configurés pour réagir à l'émission initiale et rapide de photons gamma. Peu après que leur position a été déterminée, ils sont suivis au moyen de grands télescopes au sol, capables de détecter les émissions rémanentes des sursauts dans les domaines visible et infrarouge. Ces émissions peuvent durer plusieurs heures à plusieurs jours. Un sursaut de ce type, baptisé GRB 090323, a ainsi été détecté par le télescope spatial Fermi de la NASA, dédié aux sursauts gamma. Peu après, il a été suivi par le détecteur de rayons X embarqué sur le satellite Swift de la NASA et par le système

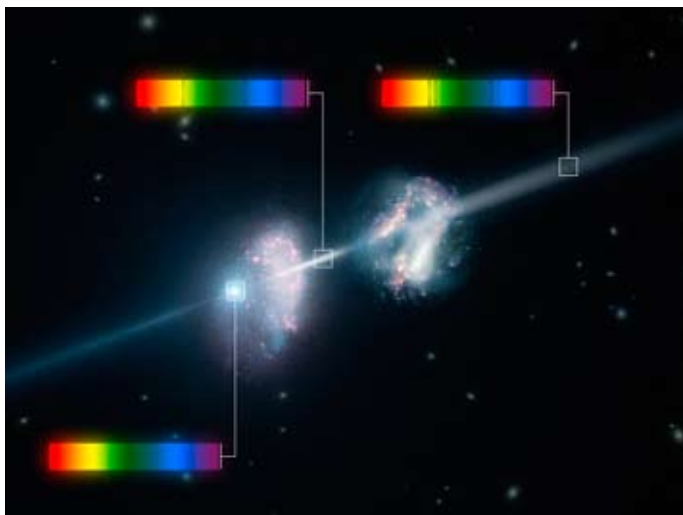
GROND installé sur le télescope MPG/ESO de 2,2 mètres au Chili, puis il a fait l'objet d'une étude détaillée à l'aide du très grand télescope de l'ESO, le VLT, une journée à peine après qu'il eut explosé.

Les observations effectuées à l'aide du VLT montrent que la lumière intense produite par un sursaut gamma a traversé non seulement sa propre galaxie hôte mais aussi une autre galaxie située à proximité, une aubaine car sans ce sursaut gamma, ces galaxies peu lumineuses nous seraient demeurées invisibles. En analysant soigneusement les empreintes caractéristiques des différents éléments chimiques, on a pu déterminer la composition chimique du gaz de ces galaxies et, en particulier, déterminer sa richesse en éléments lourds.

Ces galaxies nous apparaissent ainsi telles qu'elles étaient il y a environ 12 milliards d'années et s'avèrent plus riches en éléments chimiques lourds que le Soleil. On s'attendait pourtant à ce que les galaxies de l'univers primordial contiennent de plus faibles quantités d'éléments lourds que les galaxies récentes, telles que la Voie lactée. En effet, les éléments lourds sont produits au cours de la vie et de l'extinction de générations d'étoiles qui enrichissent progressivement le gaz des galaxies. Les astronomes peuvent d'ailleurs utiliser

l'enrichissement chimique des galaxies pour déterminer leur âge.

Ces deux jeunes galaxies, nouvellement découvertes, doivent être caractérisées par un prodigieux taux de formation stellaire pour expliquer l'enrichissement si important et si rapide du gaz froid. Ces deux galaxies étant situées à proximité l'une



Vue d'artiste des galaxies traversées par le rayonnement d'un sursaut gamma. (ESO)

de l'autre, elles doivent probablement être en train de fusionner : les nuages de gaz entrant en collision, la formation d'étoiles se trouve notablement accélérée.

Une formation stellaire si énergétique dans les galaxies a dû cesser très tôt dans l'histoire de l'univers. Douze milliards d'années plus tard, c'est-à-dire aujourd'hui, les vestiges de ces galaxies doivent contenir un grand nombre de restes d'étoiles tels que des trous noirs et des naines froides. Ces vestiges constituent un ensemble de « galaxies mortes » difficiles à détecter parce qu'elles ne sont plus que les pâles reflets de leur éclatante jeunesse. Leur découverte constitue donc un véritable challenge contemporain.

Trou noir supermassif

Le télescope spatial Hubble a tiré parti d'un phénomène de lentille gravitationnelle pour observer directement le cœur d'un quasar – le disque de matière tournoyant autour d'un trou noir supermassif – et en mesurer la taille et la température.

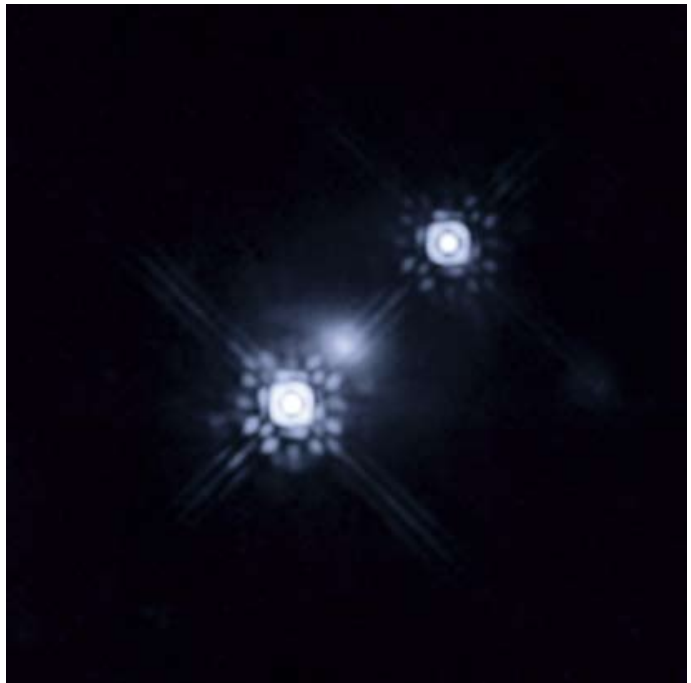
Les dimensions typiques d'un tel disque d'accrétion sont de l'ordre de quelques jours-lumière, ou quelques centaines de milliards de kilomètres, tellement petites que tout ce qu'on en sait provient d'élaborations théoriques plutôt que d'observations directes.

Utiliser l'effet de lentille des étoiles d'une galaxie opportunément située sur la ligne de visée a permis de contourner la difficulté. Le déplacement des étoiles provoque des variations d'intensité et de couleur au cours du temps. En général ces observa-

tions ne fournissent des indications que sur les nuages de poussières des galaxies mais, dans un cas, les astronomes ont constaté que des étoiles passaient directement devant le disque et que les variations enregistrées permettaient de tracer un profil au travers du disque d'accrétion. Plus on est près du trou noir, plus la température du disque est élevée, et plus sa couleur est bleue. On est évidemment loin d'une mesure précise mais, après analyse, le diamètre du disque semble compris entre 100 et 300 milliards de kilomètres, une mesure qui constitue une importante première dans l'étude des astres mystérieux que sont les quasars.

Deux images d'un quasar flanquent une galaxie d'avant plan.

(NASA, ESA et J.A. Muñoz, université de Valencia)



Réionisation et premières étoiles

Basé sur des communiqués CNRS et ESO

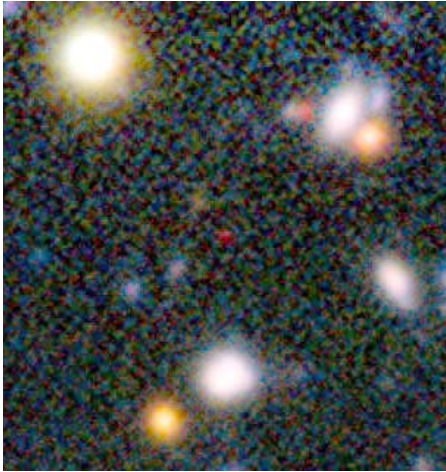
Les toutes premières étoiles de l'univers sont apparues environ 150 millions d'années après le Big Bang. L'hydrogène et l'hélium étaient alors suffisamment froids pour être en majorité électriquement neutres. Lorsque l'intense lumière des premières étoiles s'est propagée à travers ce gaz, elle a ionisé l'hydrogène, le ramenant ainsi à l'état qui était le sien dans les premiers instants de l'univers. Cette réionisation s'accompagne d'un échauffement parfois lourd de conséquences : le gaz devient tellement chaud qu'il échappe à la faible gravité des galaxies les moins massives, les privant ainsi du matériau qui leur permettait de former des étoiles. Il est aujourd'hui admis que c'est ce mécanisme de photo-évaporation qui explique le grand âge et la rareté des étoiles des galaxies naines satellites de la Voie lactée, résolvant ainsi le problème des satellites manquants. Réciproquement, cette sensibilité au rayonnement fait des galaxies satellites, qui sont proches de nous de 30 000 à 900 000 années-lumière, des témoins de l'époque de la réionisation. En particulier, l'étude de leur contenu stellaire en fonction de leur position peut nous renseigner sur la structure locale du champ de rayonnement pendant la réionisation aidant ainsi à la compréhension de cette époque reculée et de la formation de la Voie lactée.

Jusqu'à présent, les modèles d'évolution de galaxies-satellites supposaient que le rayonnement ultraviolet, responsable de leur photo-évaporation, était produit collectivement par les grandes galaxies voisines ou par l'amas de galaxies de la Vierge, formant ainsi un fond quasi-uniforme à l'échelle de la Voie lactée. Un nouveau modèle d'évolution des galaxies satellites vient mettre à mal cette hypothèse. Il s'agit d'une simulation numérique à haute résolution qui décrit la dynamique des halos de matière noire ayant peuplé notre Galaxie et son proche voisinage au cours de toute son histoire. Ce calcul est complété par une description de la formation d'étoiles à partir

du gaz piégé dans ces halos, et de sa réaction au rayonnement UV. C'est la première fois qu'un modèle prend en considération l'effet du rayonnement des premières étoiles nées au centre de la Voie lactée en formation, sur la population de galaxies satellites qui l'entoure. En effet, contrairement aux modèles précédents, le champ de rayonnement produit dans une telle configuration n'est pas uniforme, mais diminue en intensité à mesure que l'on s'éloigne de la source. Les galaxies satellites qui sont proches du centre voient leur gaz s'échapper très rapidement. Elles forment si peu d'étoiles qu'elles deviennent invisibles pour les télescopes actuels. À l'inverse, celles qui sont plus lointaines subissent une irradiation moindre, et parviennent à garder leur gaz plus longtemps. Elles forment ainsi un plus grand nombre d'étoiles au cours de leur vie. C'est pourquoi elles sont plus facilement détectables aujourd'hui et paraissent plus nombreuses.

Les anciens modèles postulaient un fond ultraviolet uniforme pendant la réionisation. En comparaison, l'influence des premières étoiles de la Voie lactée se traduit par un déficit de galaxies satellites dans les parties internes de notre Galaxie, et un excédent dans les parties externes. En confrontant la distribution spatiale mesurée à celle prédite par le nouveau modèle, il apparaît que ce dernier est en bien meilleur accord avec les observations, ce qui suggère que les premières étoiles de la Voie lactée ont effectivement joué un rôle prépondérant dans la photo-évaporation du gaz de ses galaxies satellites. C'est donc bien la Voie lactée, et non pas les grandes galaxies voisines, qui aurait comme asphyxié ses trop proches sœurs cadettes par son rayonnement.

Ce scénario inédit a des conséquences importantes sur notre compréhension de la formation des galaxies et l'interprétation des grands relevés astronomiques à venir. En effet, soumises aux forces de marée exercées par notre Galaxie, les galaxies satellites se sont progressivement dissoutes dans son halo stellaire, ou se sont étirées en de fins filaments (« courants stellaires »). Ceux-ci seront au cœur des objectifs scientifiques de la mission spatiale Gaia, qui doit être lancée en 2013. Il est donc



Au centre de cette image, la petite tache est la galaxie NTTDF-474, vue alors que l'univers n'avait que 820 millions d'années. (ESO/ L. Pentericci)

essentiel de comprendre dès aujourd'hui comment ils sont affectés par les processus radiatifs lors de la réionisation.

Le modèle pourra être appliqué aux données du prochain télescope spatial JWST et du futur très grand télescope européen E-ELT et devrait permettre de cartographier l'histoire locale de la réionisation jusqu'aux grandes galaxies voisines. Étudier cette première période de l'histoire cosmique est techniquement difficile car cela requiert des observations précises de galaxies extrêmement lointaines et faibles, une tâche qui ne peut être menée à bien qu'avec les télescopes les plus puissants.

En attendant, le VLT de l'ESO a été utilisé pour sonder l'univers primordial lors de cette phase brève mais spectaculaire de la réionisation. En étudiant certaines des galaxies les plus lointaines que l'on ait jamais détectées, les astronomes ont pu établir une chronologie de la réionisation. Ils ont mesuré avec précision la distance de galaxies que nous voyons aujourd'hui telles qu'elles étaient entre 780 millions et un milliard d'années après le Big Bang. Les différences observées entre ces galaxies nous renseignent sur l'évolution des

conditions dans l'univers au cours de cette période cruciale.

Ainsi on a pu voir dans quelle mesure l'émission Lyman- α – qui vient de l'hydrogène neutre lumineux dans les galaxies – a été réabsorbée par le brouillard d'hydrogène neutre dans l'espace intergalactique. Lorsque l'univers avait seulement 780 millions d'années, l'hydrogène neutre était assez abondant, et remplissait de 10 à 50% du volume de l'univers. Mais seulement 200 millions d'années plus tard, la quantité d'hydrogène neutre a chuté à un niveau très bas, semblable à ce que nous voyons aujourd'hui. Cette phase de réionisation serait donc plus rapide que ne le pensaient les astronomes.

En même temps que de permettre de sonder la vitesse à laquelle le brouillard primordial s'est effacé, les observations ont pointé vers la source probable de la lumière ultraviolette qui a fourni l'énergie nécessaire pour que se produise la réionisation. L'étude de deux des galaxies suggère que la toute première génération d'étoiles pourrait avoir contribué à la production de l'énergie observée. Ces étoiles auraient été très massives, environ cinq mille fois plus jeunes que le Soleil et une centaine de fois plus massives. Elles peuvent avoir été capables de dissiper ce brouillard primordial et de le rendre transparent.

FERMI

L'analyse des données de l'observatoire spatial FERMI a révélé neuf nouveaux pulsars gamma, ce qui porte à plus de cent le total du satellite. Avant FERMI on ne connaissait que sept objets de ce type.

D'autre part, les observations de FERMI suggèrent un âge étonnamment jeune (25 millions d'années) pour le pulsar milliseconde PSR J1823–3021A qui trône dans l'amas globulaire NGC 6624.

La détection de pulsars gamma relève de l'exploit si l'on considère que pour les plus faibles, il s'agit de compter un photon pour 100 000 rotations. Des méthodes d'analyses développées pour l'étude des ondes gravitationnelles ont été mises en oeuvre et se sont révélées d'une grande efficacité.

ALMA

*Basé sur
un communiqué
ESO*

L'observatoire astronomique au sol le plus complexe jamais construit, le réseau d'antennes ALMA (ALMA, Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), a officiellement ouvert ses portes aux astronomes et, bien qu'encore incomplet il est déjà le meilleur observatoire de ce type.

Situé sur le plateau de Chajnantor dans le nord du Chili, à une altitude de 5 000 mètres, ALMA observe dans les longueurs d'onde millimétrique et submillimétrique, soit des longueurs d'onde environ un millier de fois plus grandes que la lumière visible. L'observation à ces plus grandes longueurs d'onde permet aux astronomes d'étudier des objets extrêmement froids dans l'espace – comme les nuages denses de poussière cosmique et de gaz à partir desquels se forment les étoiles et les planètes – ainsi que des objets très éloignés de l'univers primordial.

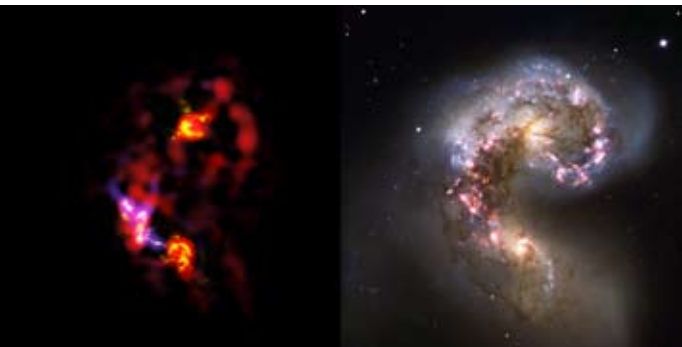
La première image publiée, obtenue avec un télescope encore en construction, dévoile une vision de l'univers totalement invisible



Quatre antennes d'ALMA se profilent sur un fond de Voie lactée et de Lune (ESO/José Francisco Salgado)

avec les télescopes en lumière visible et infrarouge. Des milliers de scientifiques du monde entier ont déjà concouru pour être parmi les premiers chercheurs à explorer certains des secrets les plus froids et les plus cachés de l'univers avec ce nouvel outil astronomique.

Dans la configuration actuelle environ un tiers des 66 antennes prévues peuvent être séparées de seulement 125 mètres, au lieu des 16 km maximum de la configuration finale.



Les galaxies des « Antennes » (NGC 4038 et 4039) sont en collision à 70 millions d'années-lumière de nous, dans la constellation du Corbeau. L'image de droite, prise en ondes millimétrique et submillimétrique a été prise par ALMA durant les périodes de test. À gauche on peut voir une image du même champ obtenue de façon classique avec le VLT en lumière visible. (ALMA/ESO)