



# Astronomie dans le monde

## *Explorateurs de l'énergie sombre*

*Basé sur un communiqué University of Texas*

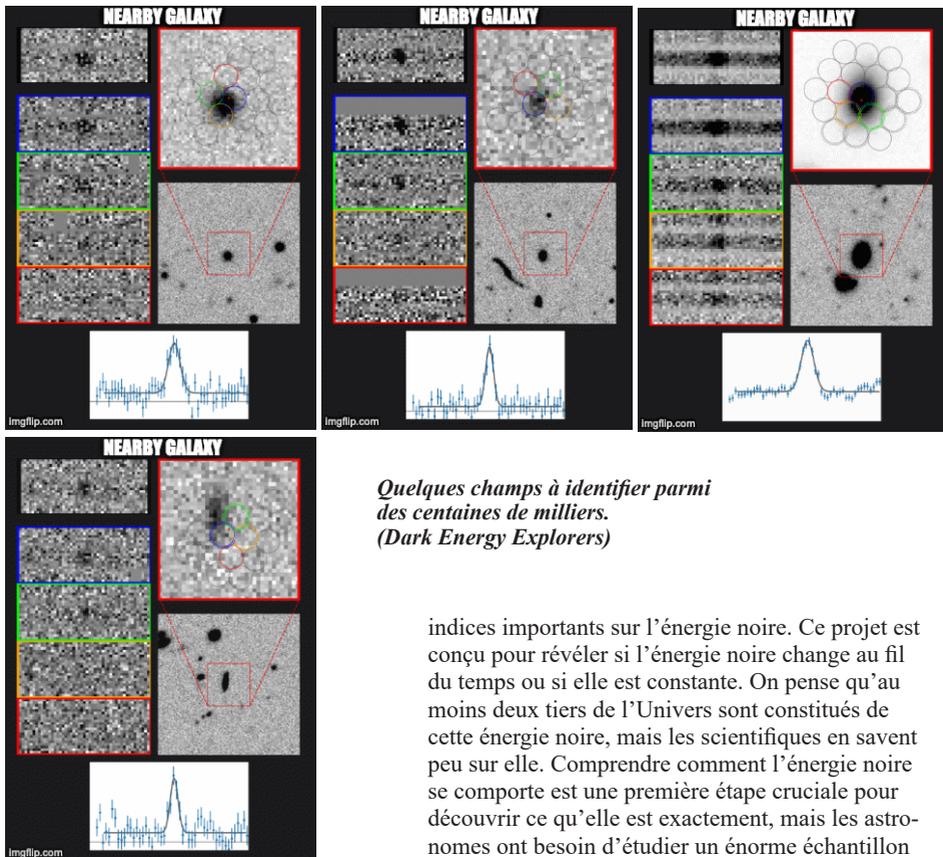
Une mission ambitieuse et massive de cartographie des galaxies a mobilisé plus de 10 000 scientifiques amateurs dans 85 pays pour aider les astronomes. Ceux-ci espèrent encore augmenter de manière significative le nombre de volontaires pour un projet unique qui pourrait révéler la nature de l'énergie sombre.

Ce projet HETDEX (Hobby-Eberly Telescope Dark Energy Experiment), est basé au McDonald Observatory de l'université du Texas et les amateurs volontaires participent via le web à un projet appelé Dark Energy Explorers. À l'aide d'un smartphone ou d'un ordinateur, ils peuvent se mettre dans la peau d'un astronome et découvrir les mystères de l'Univers tout en aidant les astronomes professionnels à trouver des galaxies lointaines et à en savoir plus sur la force mystérieuse de l'énergie noire, qui est à l'origine de l'expansion rapide de l'Univers.

*Le télescope Hobby-Eberly collecte les images que les scientifiques citoyens examinent pour identifier les galaxies du projet Dark Energy Explorers.*

Depuis le lancement de Dark Energy Explorers en février 2021, les amateurs ont identifié environ 240 000 galaxies. Cela représente près d'un dixième du nombre de galaxies que les chercheurs s'attendent à trouver au final dans leur étude d'une parcelle de ciel qui comprend la majeure partie de la Grande Ourse et dont la taille équivaut à celle d'environ 2000 pleines lunes. S'ils peuvent motiver 100 000 personnes volontaires, cette région du ciel pourrait être terminée dès l'année prochaine.

Dark Energy Explorers utilise la plateforme Zooniverse, la plus grande organisation de science amateur au monde. Les utilisateurs y participent via le site Web Zooniverse ou l'application pour smartphone Zooniverse (disponible pour iOS et Android). Les participants peuvent créer un compte gratuit, puis sélectionner Dark Energy Explorers dans une liste de projets.



*Quelques champs à identifier parmi des centaines de milliers. (Dark Energy Explorers)*

Les humains sont meilleurs que les machines lorsqu'il s'agit de repérer les vraies galaxies dans des images comme celles du projet Dark Energy Explorers. Après un bref tutoriel, les volontaires regardent des images astronomiques et décident si les objets qu'ils voient sont des galaxies ou du bruit aléatoire, une distinction que même les logiciels les plus sophistiqués ont trop de mal à détecter.

L'objectif est de construire la plus grande carte en 3D du cosmos, en se concentrant sur les galaxies du début de l'Univers pour aider à révéler des

indices importants sur l'énergie noire. Ce projet est conçu pour révéler si l'énergie noire change au fil du temps ou si elle est constante. On pense qu'au moins deux tiers de l'Univers sont constitués de cette énergie noire, mais les scientifiques en savent peu sur elle. Comprendre comment l'énergie noire se comporte est une première étape cruciale pour découvrir ce qu'elle est exactement, mais les astronomes ont besoin d'étudier un énorme échantillon de galaxies lointaines pour observer l'énergie noire à l'œuvre. C'est ce qu'est HETDEX : une étude massive de plus d'un million de galaxies lointaines à l'aide de l'un des plus grands télescopes optiques du monde, le télescope Hobby-Eberly de 11 mètres de l'observatoire McDonald, dans l'ouest du Texas.

Les bénévoles de Dark Energy Explorers examinent les images de HETDEX, contribuant ainsi à réduire de 90% le temps que les astronomes consacrent à cette tâche. Ainsi, les professionnels peuvent concentrer leur énergie sur les classifications les plus difficiles.

Pour identifier les 247 000 galaxies recensées à ce jour, les volontaires ont dû effectuer près de 4 millions d'examen, chaque galaxie candidate étant examinée par une quinzaine de personnes afin de parvenir à un consensus et d'améliorer la précision.

## ***Filaments cosmiques***

*Basé sur un communiqué CNRS/INSU*

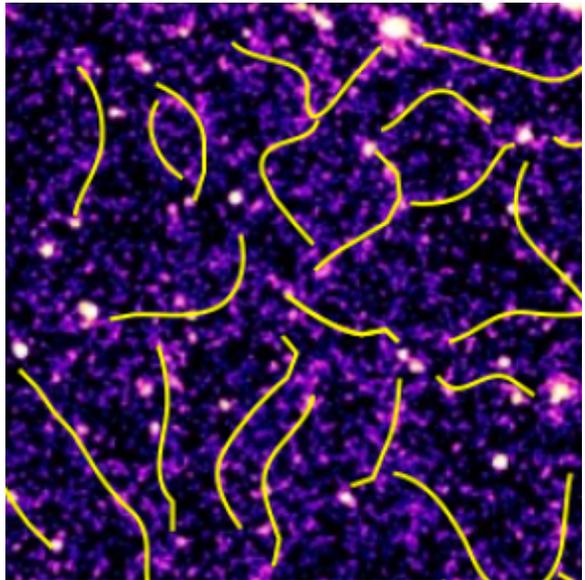
Les premières données du satellite X SRG/eROSITA ont révélé l'émission thermique d'un plasma chaud dans la direction de longs filaments de la toile cosmique. Ces résultats concernent seulement la zone utilisée pour la calibration et la vérification du satellite. Les astronomes entrevoient de nouvelles découvertes lorsque l'ensemble des données sera publié !

Les millions de galaxies observées par les télescopes dans les grands relevés ne sont pas distribuées au hasard dans l'Univers. Elles forment plutôt une structure complexe, appelée toile cosmique, constituée de grandes régions vides de galaxies entourées de murs séparés par des filaments qui se croisent en des nœuds où se trouvent des amas de galaxies. Si les galaxies permettent d'identifier la structure de la toile cosmique, elles ne représentent qu'environ 10% de la matière ordinaire, les baryons. Une fraction supplémentaire est constituée de composants stellaires et gazeux, mais entre la moitié et le tiers de la matière ordinaire n'est

pas détectée, cachée quelque part dans les arcanes de l'Univers. C'est ce qu'on appelle le problème des baryons manquants.

Cette matière manquante avait pu être dévoilée pour la première fois dans la toile cosmique en empilant le signal dans le domaine des rayons X d'environ 15 000 longs filaments cosmiques, en utilisant les données du relevé complet ROSAT, vieux de 30 ans. Dans une étude récente, le dernier relevé X SRG/eROSITA confirme sans ambiguïté la détection d'un signal dans les rayons X associés à l'émission thermique d'un plasma chaud dans les filaments cosmiques. Ce signal provenant de seulement 460 filaments, situés dans le premier relevé de 140 degrés carrés publié par la collaboration SRG/eROSITA, a permis de contraindre précisément la densité et la température du plasma. L'origine de l'émission thermique et ses liens avec la question fondamentale de la façon dont le gaz chaud a évolué au fil du temps dans la toile cosmique devraient être résolus en utilisant le relevé complet SRG/eROSITA, qui sera publié dans les années à venir, ainsi que les futurs grands observatoires de rayons X.

*Représentation des grands filaments de la toile cosmique. (Tanimura, Aghanim / CNRS & Erosita)*



## ***Survey DECaPS2***

*Basé sur un communiqué NOIRLab*

Les astronomes ont publié une étude du plan galactique de la Voie lactée contenant pas moins de trois milliards trois cent millions d'objets. Il s'agit sans doute du plus grand catalogue de ce type à ce jour. Les données de cette enquête sans précédent ont été prises avec la caméra DEC (Dark Energy Camera) montée sur le télescope Víctor M. Blanco de 4 mètres de l'observatoire de Cerro Tololo (CTIO) au Chili. Situé à 2200 m d'altitude, le site du CTIO offre aux astronomes une vue exceptionnelle de l'hémisphère céleste sud.

La Voie lactée contient des centaines de milliards d'étoiles et d'innombrables nuages de poussière et de gaz. Répertoire ces objets est une tâche herculéenne qu'ont entreprise les astronomes avec le relevé DECaPS2. L'enquête DECaPS2, actuellement à sa deuxième édition, a duré deux ans et produit plus de 10 téraoctets de données à partir de 21 400 images. Elle a permis d'identifier 3,32 milliards d'objets.

Les astronomes et le public peuvent explorer l'ensemble de données à l'adresse :

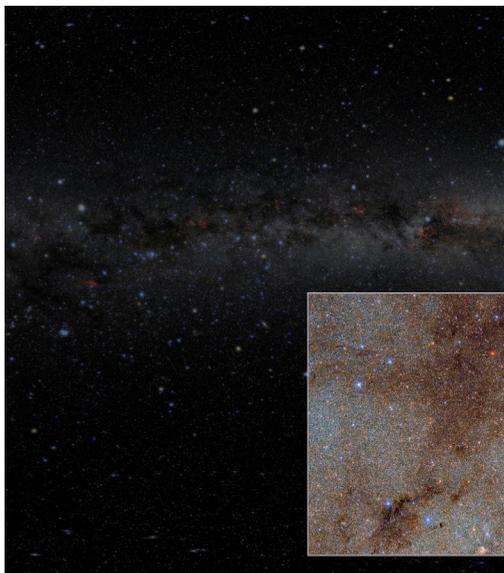
<https://decaps.legacysurvey.org/viewer>

DECaPS2 est une étude du plan de la Voie lactée australe effectuée à des longueurs d'onde optiques et dans le proche infrarouge. La première moisson de données de DECaPS a été publiée en 2017 et, avec l'ajout de la nouvelle publication de données, l'enquête couvre désormais 6,5% du ciel

nocturne et s'étend sur une longueur de 130 degrés.

La plupart des étoiles et des nuages de la Voie lactée sont situés dans son disque. C'est là que se développent les bras spiraux. Bien que cette profusion d'étoiles et de poussière donne de belles images, elle rend également le plan galactique difficile à observer. Les nuées de poussière absorbent la lumière des étoiles et les masquent à notre vue.

Les nébuleuses brillantes entravent toute tentative de mesurer avec précision

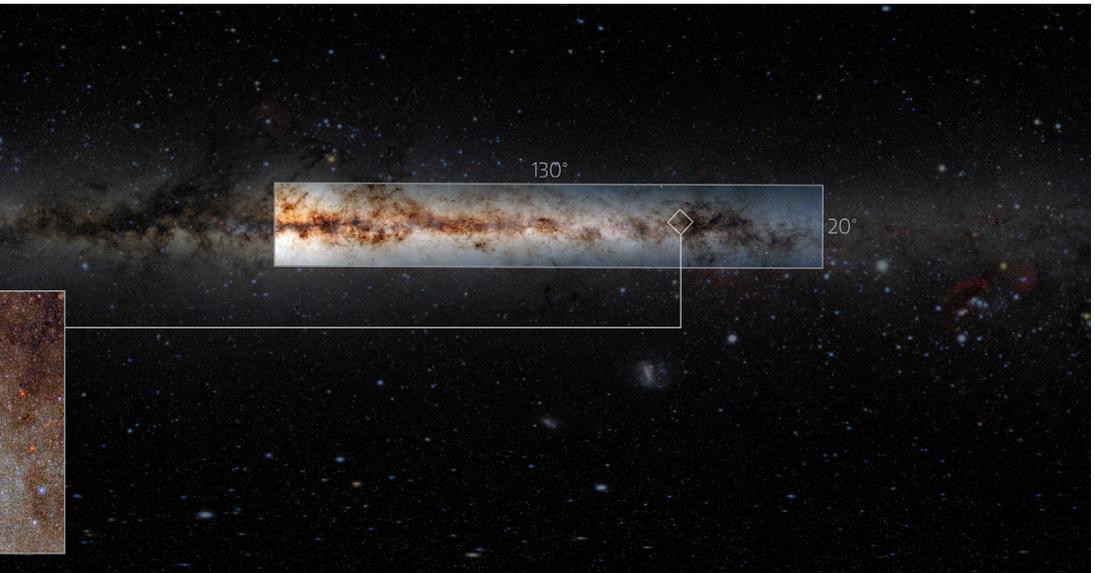


la luminosité des objets. Un autre défi provient de la profusion-même des étoiles, qui peuvent se chevaucher dans l'image et rendre difficile l'étude des étoiles individuelles.

Malgré les défis, les astronomes ont plongé dans le plan galactique pour mieux comprendre la Voie lactée. En observant à des longueurs d'onde proches de l'infrarouge, ils ont pu pénétrer une grande partie des écrans de poussière. Les chercheurs ont également utilisé des méthodes informatiques innovantes, qui leur ont permis de surmonter les obstacles et de garantir la qualité du catalogue final.

***La zone rectangulaire des données DECaPS2 est superposée à une image à basse résolution du ciel complet. La zone carrée est reproduite en grand à la page suivante.***

***(DECaPS2/DOE/FNAL/DECam/CTIO/NOIRLab/NSF/AURA/E. Slawik ; M. Zamani & D. de Martin)***





*Zoom à meilleure résolution sur une région du relevé DECaPS2 montrant la profusion d'objets.  
(DECaPS2/DOE/FNAL/DECam/CTIO/NOIRLab/  
NSF/AURA/E. Slawik; M. Zamani & D. de Martin)*

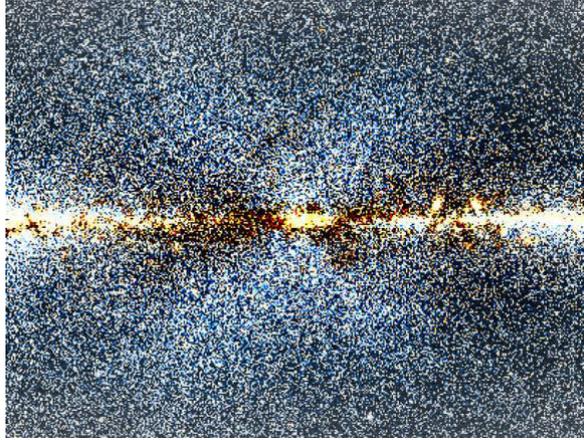
## Carte de la Voie lactée

*ArXiv, Universe today*

Une nouvelle carte 3D de la Voie lactée utilise près de 66 000 étoiles et révèle de nouveaux détails sur la forme de notre galaxie.

Les astronomes ont construit une carte tridimensionnelle de la Voie lactée en utilisant 66 000 étoiles variables Mira. Les données proviennent du projet OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment), qui observe régulièrement la luminosité d'environ deux milliards d'étoiles dans la Voie lactée et les Nuages de Magellan, à la recherche non seulement de lentilles gravitationnelles, mais aussi d'autres sortes d'événements tels que transits d'exoplanètes ou étoiles variables diverses.

Les Mira sont des géantes rouges qui pulsent avec des périodes de plusieurs mois. Comme les céphéides et les RR Lyrae, elles obéissent à une relation période-luminosité, ce qui signifie qu'à partir de leurs périodes de pulsation, il est possible de calculer leurs magnitudes absolues puis de déterminer leurs distances. Ces étoiles très brillantes se voient de loin. On peut même les observer dans les galaxies voisines. Cerise sur le gâteau, la relation période-luminosité est la mieux définie dans l'infrarouge moyen, c'est-à-dire dans des longueurs d'onde moins atténuées par les nuages de poussière galactiques.



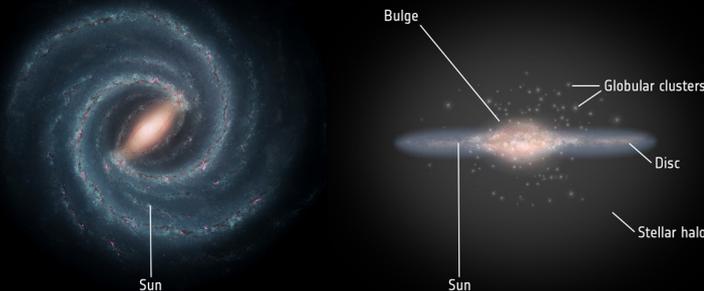
*La distribution en forme de X autour du bulbe galactique est clairement visible sur cette image basée sur des données du télescope spatial WISE.*

*La nouvelle carte, réalisée à partir des variables Mira, confirme cet arrangement. (NASA/JPL-Caltech/D. Langaue)*

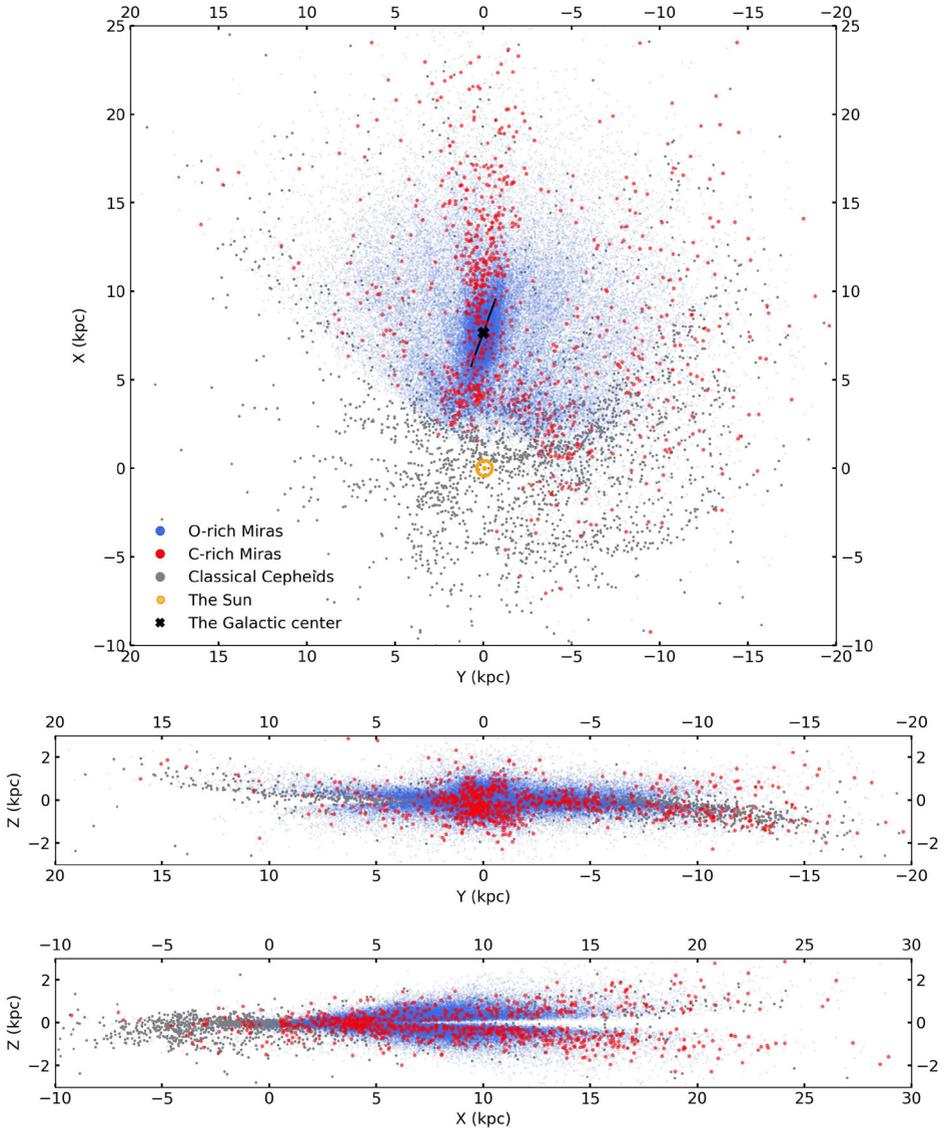
La nouvelle carte de la Galaxie confirme la présence d'une structure en croix dans la partie centrale dense de la Voie lactée, le renflement galactique. Cette structure est composée de deux groupes d'étoiles qui se distinguent par leurs mouvements et leurs interactions. Cela pourrait être une caractéristique commune des galaxies spirales barrées.

Les dimensions et l'orientation de la barre centrale de la Voie lactée sont également confirmées.

### → ANATOMY OF THE MILKY WAY



*Vues d'artiste de notre galaxie, une spirale barrée vieille de 13 milliards d'années et contenant des centaines de milliards d'étoiles. (NASA/JPL-Caltech ; ESA/ATG medialab)*



*Projections sur trois plans de la carte tridimensionnelle de la Voie lactée. Les points bleus et rouges montrent deux types de Mira, respectivement riches en oxygène et en carbone. Les points gris sont des céphéïdes. Le centre galactique est marqué d'une croix noire et notre position d'un symbole orange. (Iwanek et al., 2022, arXiv)*

## ***L'anneau austral***

*Basé sur un communiqué MacQuarie University*

Parmi les cinq premiers ensembles d'images du télescope spatial James Webb (JWST) publiées en juillet, il y avait des photographies remarquablement détaillées de la nébuleuse NGC 3132. Cette nébuleuse planétaire (dite de « l'Anneau austral »), située dans la constellation de Vela, à la limite d'Antlia, est distante d'environ 2500 années-lumière.

La source de ce nuage de gaz en expansion, dont le diamètre intérieur vaut près de 400 fois la taille du Système solaire, est une naine blanche, une étoile mourante qui a libéré du gaz et de la poussière pendant des dizaines de milliers d'années. L'étoile n'avait que 530 millions d'années lorsqu'elle est morte, une

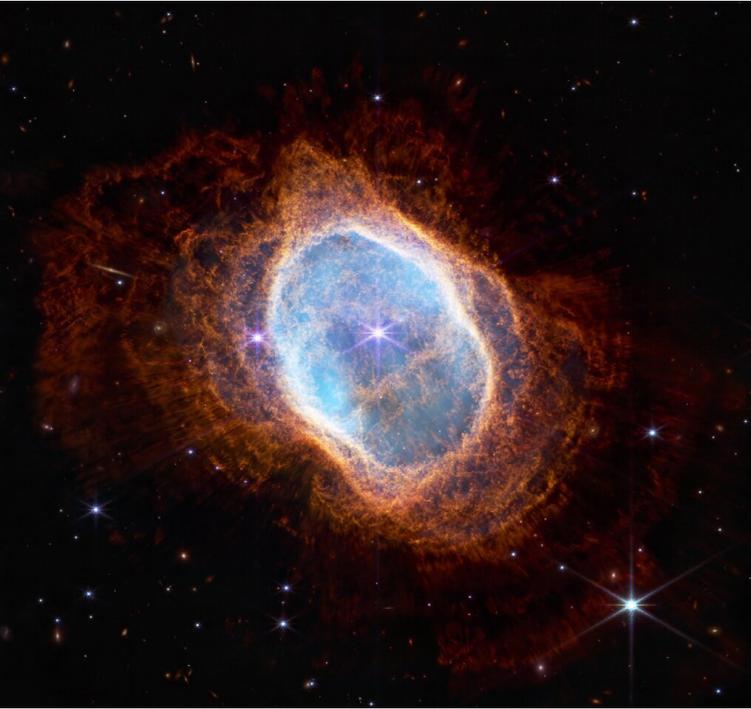
fraction de l'âge actuel du Soleil, cinq milliards d'années.

La dénomination de nébuleuses planétaires est due à William Herschel dans les années 1780, parce que la nébuleuse Saturne (NGC 7009) qu'il venait de découvrir lui rappelait Uranus, qu'il venait également de découvrir.

Les images montrent des nuages en forme d'arcs de spirale dans le halo de la nébuleuse. Les astronomes interprètent cela

***La nébuleuse de l'anneau austral vue par le JWST dans l'infrarouge proche. La naine blanche est l'étoile la plus faible du couple central. (NASA)***





*L'anneau austral vu dans l'infrarouge moyen par le JWST. (NASA)*

comme le signe d'une compagne stellaire en orbite à 40 ou 60 unités astronomiques de la naine blanche.

Une ou même deux autres compagnes encore plus proches seraient à l'origine d'un disque de poussière qui a été détecté pour la première fois par le JWST, ainsi que de nombreuses protubérances apparaissant dans les parois de la cavité ionisée de la nébuleuse.

Les interactions gravitationnelles dans ce système stellaire compact ont probablement accéléré la mort de l'étoile, devenue maintenant naine blanche. Celle-ci a peut-être pu se venger en cannibalisant l'une ou l'autre de ses compagnes.

Le groupe est trop serré pour être résolu par le JWST. L'étoile brillante que l'on voit à son côté lui est également associée mais, trop écartée, elle n'est qu'une spectatrice innocente, trop loin de la scène du crime pour avoir participé à la disparition de l'étoile centrale.

Elle a cependant joué un rôle clé en aidant les astronomes à calculer l'évolution de la masse de la naine blanche au cours de sa vie.

Un problème de l'astronomie galactique est de déterminer la distance des objets astronomiques. Cette étoile brillante et spectatrice dans la nébuleuse a vu sa distance mesurée exactement par l'observatoire spatial Gaia, et a donc fourni la distance de la nébuleuse et de la naine blanche. Cela a permis aux astronomes de calculer pour la première fois avec précision la masse initiale d'une étoile qui a donné naissance à une nébuleuse planétaire. L'étoile centrale de NGC 3132, une naine blanche de 0,6 fois la masse du Soleil, pesait à l'origine 2,9 fois celui-ci.

La mort du Soleil dans environ cinq milliards d'années pourrait également engendrer une nébuleuse planétaire, mais comme le Soleil est seul, cette nébuleuse ne sera pas aussi spectaculaire que celle de l'anneau austral.

## Le TDE AT2022cmc

Basé sur un communiqué ESO

En février de cette année, la caméra géante du ZTF (Zwicky Transient Facility) du Mont Palomar détectait une nouvelle source lumineuse dans le domaine visible. L'événement, nommé AT2022cmc, faisait penser à un sursaut gamma – la plus puissante source de lumière de l'Univers. La perspective d'assister à ce phénomène rare incita les astronomes à déclencher plusieurs télescopes du monde entier pour observer l'objet en détail. Parmi eux, le VLT de l'ESO, qui a observé cet événement avec l'instrument X-shooter.

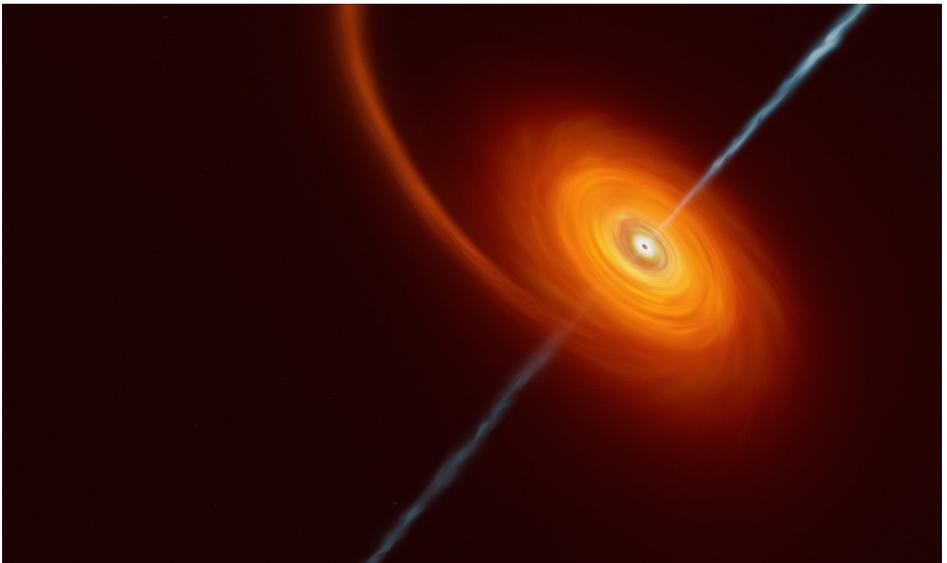
Les données obtenues au VLT ont permis de situer la source à une distance inédite : la lumière produite par AT2022cmc a commencé son voyage lorsque l'Univers avait environ un tiers de son âge actuel. Le flash lumineux s'est révélé provenir d'un trou noir supermassif dans une galaxie lointaine qui avait dévoré une étoile, expulsant les restes dans un jet. Le VLT a déterminé qu'il s'agissait de l'exemple le plus éloigné d'un tel événement à avoir jamais été observé. Comme le jet est quasiment dirigé dans notre direction, c'est également la pre-

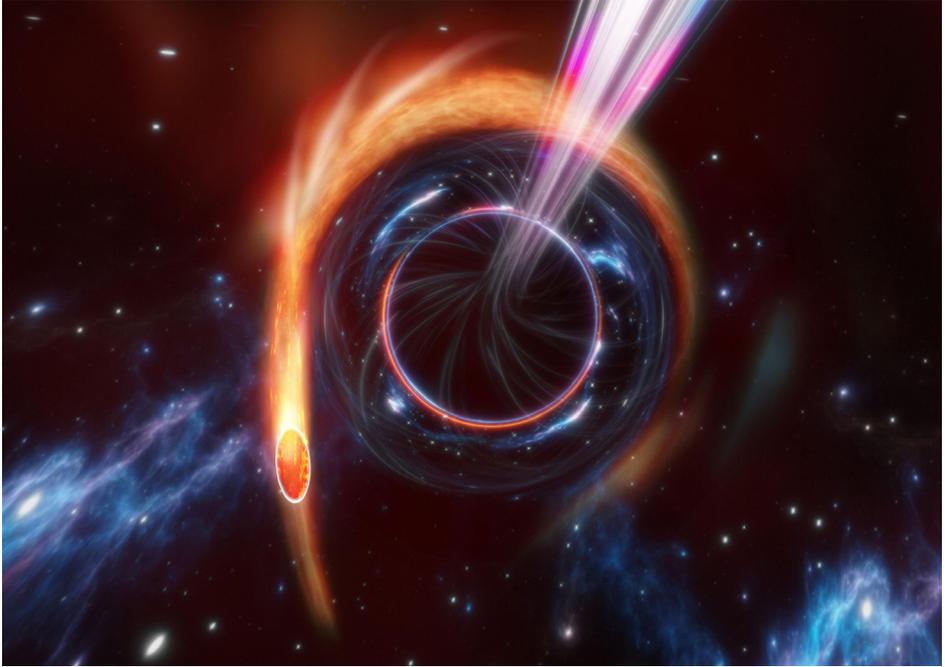
mière fois qu'il a pu être observé en lumière visible, ce qui constitue un nouveau moyen de détecter ces événements extrêmes.

Les étoiles qui s'approchent trop près d'un trou noir sont détruites par les forces de marée dans ce que l'on appelle un TDE (tidal disruption event). Environ 1% de ces événements provoquent l'éjection de jets de plasma et de rayonnements depuis les pôles du trou noir en rotation. Nous n'avons vu qu'une poignée de ces TDE à jets et ils restent des

*Cette vue d'artiste illustre ce qui se passe lorsqu'une étoile s'approche trop près d'un trou noir, où l'étoile est comprimée par l'intense attraction gravitationnelle de celui-ci. Une partie de la matière de l'étoile est aspirée et tourbillonne autour du trou noir, formant le disque que l'on peut voir sur cette image. Dans de rares cas, comme celui-ci, des jets de matière et de rayonnement sont projetés depuis les pôles du trou noir. Dans le cas de l'événement AT2022cmc, les preuves de ces jets ont été détectées par différents télescopes, dont le VLT, qui a déterminé qu'il s'agissait de l'exemple le plus éloigné d'un tel événement.*

(ESO/M.Kornmesser)





*Événement TDE. Vue d'artiste.  
(Carl Knox – OzGrav, ARC Centre  
of Excellence for Gravitational Wave  
Discovery, Swinburne University of  
Technology)*

événements très exotiques et mal compris. Les astronomes sont donc constamment à la recherche de ces événements extrêmes pour comprendre comment les jets sont réellement créés et pourquoi une si petite fraction des TDE les produisent.

Dans le cadre de cette quête, de nombreux télescopes, dont le ZTF aux États-Unis, scrutent régulièrement le ciel à la recherche de signes d'événements éphémères, souvent extrêmes, qui pourraient ensuite être étudiés de manière beaucoup plus détaillée par des télescopes tels que le VLT de l'ESO au Chili.

De nombreuses données ont été collectées par une vingtaine de télescopes, depuis les rayons gamma de haute énergie jusqu'aux ondes radio. Les astronomes ont envisagé différents types d'événements connus, de l'effondrement d'étoiles jusqu'aux kilonovæ. Mais le seul scénario qui correspondait aux données était celui d'un TDE pointant un jet dans notre direction, une circonstance qui rend

l'événement beaucoup plus brillant qu'il ne serait autrement, et visible sur une plus grande étendue du spectre électromagnétique.

La mesure de la distance par le VLT a révélé que AT2022cmc est le TDE le plus éloigné jamais découvert, mais ce n'est pas le seul aspect de cet objet qui bat des records. Jusqu'à présent, les rares TDE à jets avaient été détectés à l'aide de télescopes observant dans les rayons gamma et les rayons X, et c'est la première fois que l'on en découvre un au cours d'une étude optique. Cette façon de les découvrir permettra d'engager de nouvelles études de ces événements rares et de sonder les environnements extrêmes qui entourent les trous noirs.

## Le TDE AT2022dsb

Basé sur un communiqué Cfa

Le télescope spatial Hubble a, lui aussi, enregistré en détail les derniers instants d'une étoile alors qu'elle est engloutie par un trou noir. Cet événement TDE dénommé AT2022dsb a eu lieu à 300 millions d'années-lumière au cœur de la galaxie ESO 583-G004.

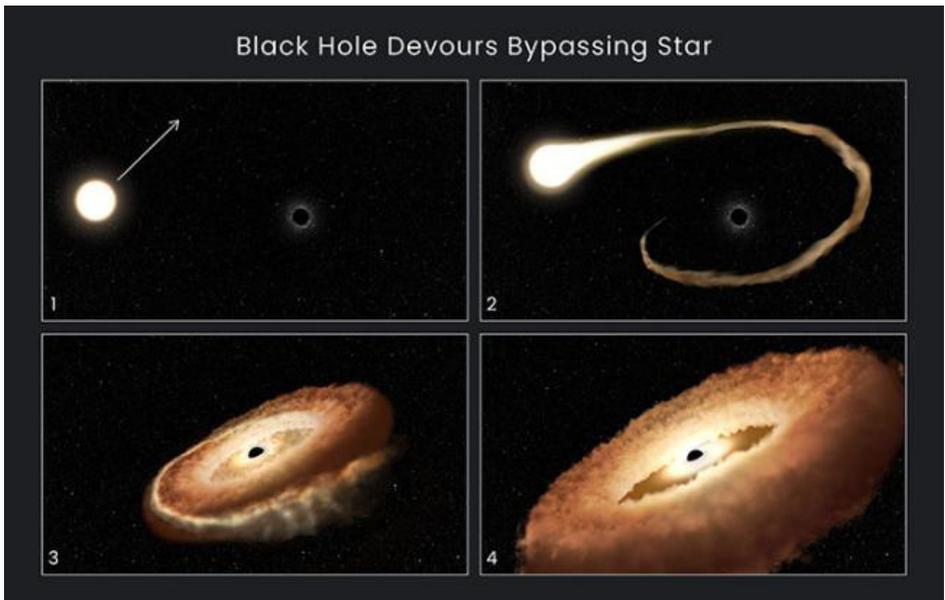
Environ 100 événements de perturbation des marées autour des trous noirs ont été détectés par des astronomes à l'aide de divers télescopes. Cependant, il y a encore très peu d'événements TDE qui sont observés en lumière ultraviolette comme l'a fait Hubble, ce qui est dommage car il y a beaucoup d'informations à retirer de spectres pris dans ce domaine.

On estime qu'un TDE a lieu en moyenne tous les 100 000 ans pour un trou noir supermassif. Ils donnent lieu à des changements dans l'état de l'étoile condamnée qui se produisent à des intervalles de l'ordre de jours ou de mois, de sorte qu'une surveillance régulière est importante.

AT2022dsb a été détecté le 1<sup>er</sup> mars 2022 par le All-Sky Automated Survey for Supernovæ (ASAS-SN), un réseau de télescopes au sol qui surveille le ciel extragalactique environ une fois par semaine, à la recherche d'événement variables et transitoires qui façonnent l'Univers. Cette collision énergétique était suffisamment proche de la Terre et suffisamment brillante pour que les astronomes de Hubble effectuent une spectroscopie ultraviolette sur une période de temps plus longue que la normale. Elle a été observée assez tôt pour capturer des stades d'accrétion très intenses du trou noir. Le taux d'accrétion a ensuite chuté.

L'émission ultraviolette vue par Hubble est interprétée comme provenant d'un anneau de gaz chaud très brillant constitué des débris de l'étoile et de la taille du Système solaire. Le trou noir émet un vent dont la vitesse atteint trois pour cent de celle de la lumière.

*Illustration des étapes de la destruction par effets de marée d'une étoile autour d'un trou noir.  
(NASA, ESA, Leah Hustak/STScI)*



## ***Halo de la Voie lactée***

*Basé sur un communiqué Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics*

Une nouvelle étude révèle la véritable forme du nuage diffus d'étoiles qui entoure le disque de notre galaxie. Pendant des décennies, les astronomes ont pensé que le halo était à peu près sphérique. Un nouveau modèle basé sur des observations modernes montre qu'il est oblong et incliné, un peu comme un ballon de football américain.

Ces résultats ouvrent des perspectives dans de nombreux domaines de l'astrophysique. Ils éclairent notamment l'histoire de notre galaxie tout en offrant des indices sur la mystérieuse matière noire.

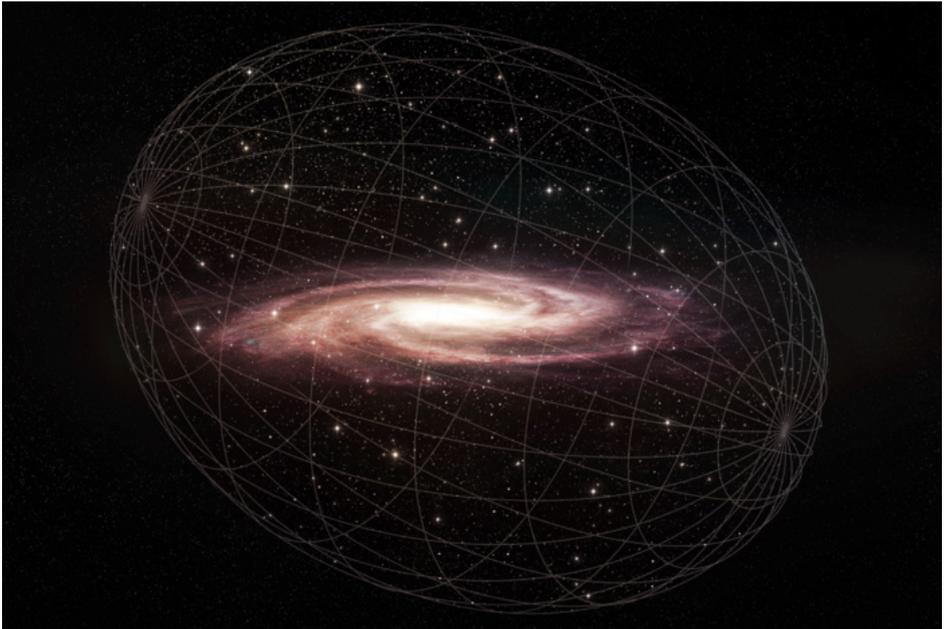
La forme du halo stellaire est un paramètre fondamental. Le fait qu'il ne soit pas sphérique mais ellipsoïdal a d'importantes implications.

Le halo stellaire de la Voie lactée est la partie visible de ce que l'on appelle plus largement le halo galactique. Ce halo galactique est dominé par une matière noire invisible, dont

la présence n'est mesurable que par la gravité qu'elle exerce. Chaque galaxie possède son propre halo de matière noire. Ces halos servent en quelque sorte d'échafaudage sur lequel s'accroche la matière ordinaire, visible. À son tour, cette matière visible forme les étoiles et les autres structures galactiques observables. Pour mieux comprendre comment les galaxies se forment et interagissent, ainsi que la nature sous-jacente de la matière noire, les halos stellaires sont donc des cibles astrophysiques précieuses. Le halo stellaire est un traceur dynamique du halo galactique.

Connaître la forme du halo stellaire de la Voie lactée a longtemps été un défi pour la simple raison que nous y sommes intégrés. Le halo stellaire s'étend sur plusieurs centaines de

***Illustration d'artiste. Les astronomes ont découvert que le halo stellaire de la Voie lactée – un nuage d'étoiles diffus autour de toutes les galaxies – est en forme de zeppelin et incliné.***  
*(Melissa Weiss/Center for Astrophysics, Harvard & Smithsonian)*



milliers d'années-lumière au-dessus et au-dessous du plan de notre galaxie.

Pour compliquer encore les choses, le halo stellaire s'est avéré être assez diffus, ne contenant qu'environ un pour cent de la masse de toutes les étoiles de la Galaxie. Pourtant, au fil du temps, les astronomes ont réussi à identifier plusieurs milliers d'étoiles qui peuplent ce domaine et qui se distinguent des autres étoiles de la Voie lactée par leur composition chimique distincte (mesurable par l'étude de spectre), ainsi que par leur distance et leur mouvement dans le ciel. Grâce à ces études, les astronomes se sont rendu compte que les étoiles du halo ne sont pas réparties uniformément. Depuis lors, l'objectif est d'étudier les modèles de surdensité d'étoiles – qui apparaissent dans l'espace sous forme de grappes et de courants – afin de déterminer l'origine du halo stellaire.

La nouvelle étude des chercheurs du CfA (Center for Astrophysics) et de leurs collègues s'appuie sur deux grands ensembles de données recueillies ces dernières années.

Le premier ensemble provient de Gaia qui a compilé les mesures les plus précises des positions, mouvements et distances de millions d'étoiles dans la Voie lactée, y compris certaines étoiles du halo stellaire à proximité.

Le deuxième ensemble de données provient de H3 (Hectochelle in the Halo at High Resolution), une étude au sol menée avec le télescope MMT en Arizona. H3 a recueilli des observations détaillées de dizaines de milliers d'étoiles du halo trop éloignées pour Gaia.

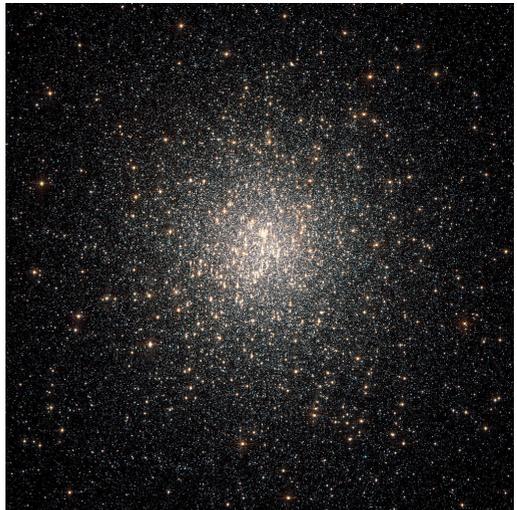
La combinaison de ces données a fait émerger la forme du halo. – forme qui s'accorde avec une théorie majeure concernant la formation de ce halo. Selon celle-ci, le halo stellaire s'est formé lorsqu'une galaxie naine isolée est entrée en collision, il y a 7 à 10 milliards d'années, avec notre galaxie. Cette galaxie naine est connue sous le nom de Gaia-Sausage-Encelade (GSE). La galaxie naine a été détruite et les étoiles qui la composaient se sont éparpillées dans un halo dispersé.

La forme ellipsoïdale reflète la combinaison des deux populations d'étoiles dans le halo. L'inclinaison du halo stellaire indique que GSE a rencontré la Voie lactée sous un angle incident et non de manière directe.

Il s'est écoulé tellement de temps depuis la collision entre la GSE et la Voie lactée que l'on aurait pu s'attendre à ce que les étoiles du halo stellaire reprennent dynamiquement la forme sphérique classique, longtemps supposée. Le fait qu'elles ne l'aient pas fait témoigne probablement de l'existence d'un halo galactique plus large. Cette structure dominée par la matière noire est elle-même probablement inclinée et, par sa gravité, elle maintient le halo stellaire dans un état de déséquilibre.

Cette inclinaison du halo de matière noire pourrait avoir des conséquences importantes sur notre capacité à détecter les particules de matière noire dans les laboratoires, les chances de capter des interactions augmentant si cette substance était fortement concentrée dans notre région de la Voie lactée.

*L'amas globulaire NGC 2808 pourrait être ce qu'il reste du noyau de Gaia Sausage. (NASA, ESA, A. Sarajedini/University of Florida, G. Piotto/University of Padua)*



## ***Aube cosmique***

*Basé sur un communiqué University of Cambridge*

Les chercheurs ont pu fixer certaines limites aux propriétés des premières galaxies, dans cette période de l'Univers primitif où les premières étoiles se sont formées, l'aube cosmique.

À l'aide des données du radiotélescope indien SARAS 3, les astronomes ont pu observer cet instant – 200 millions d'années seulement après le Big Bang. Cela leur a permis de contraindre la masse et l'énergie des premières étoiles et galaxies. Ces limites supérieures découlent de la non-détection de la raie caractéristique de l'hydrogène à la longueur d'onde de 21 centimètres. Cela a conduit également à exclure des scénarios faisant appel à des galaxies chauffant peu le gaz mais émettant efficacement dans le domaine radio.

Bien que l'on ne puisse pas encore observer directement ces premières galaxies, les résultats représentent une étape importante dans la compréhension de la transition de notre Univers, qui est passé d'un état essentiellement vide à un état plein d'étoiles.

Pour les télescopes actuels, le défi consiste à détecter le signal cosmologique des premières étoiles réémis par d'épais nuages d'hydrogène.

Ce signal est la célèbre émission à 21 centimètres – un signal radio produit par les atomes d'hydrogène dans l'Univers primitif. Contrairement au JWST récemment lancé, qui sera en mesure d'imager directement des galaxies individuelles dans l'Univers primitif, les études de l'émission à 21 centimètres peuvent nous renseigner sur des populations entières de galaxies encore plus anciennes.

En 2018, les chercheurs du projet EDGES avaient publié un résultat qui laissait entrevoir une possible détection de cette lumière primitive. Le signal détecté était exceptionnellement fort par rapport à ce qui était attendu. Les données SARAS 3 permettent de contester cette détection. Les chercheurs ont testé plusieurs scénarios astrophysiques qui pourraient potentiellement expliquer le résultat d'EDGES, mais ils n'ont pas trouvé de signal correspondant. Au lieu de cela, l'équipe a été en mesure de placer certaines limites sur les propriétés des premières étoiles et galaxies, notamment les masses des premières galaxies et l'efficacité avec laquelle ces galaxies peuvent former des étoiles. Les chercheurs abordent également la question de l'efficacité avec laquelle ces sources émettent des rayonnements X, radio et ultraviolets.

***Galaxies lointaines capturées par le télescope Hubble.  
(NASA Goddard)***



L'étude observationnelle, la première du genre à bien des égards, exclut les scénarios dans lesquels les premières galaxies étaient d'une part plus de mille fois plus brillantes que les galaxies actuelles dans leur domaine radio, et d'autre part incapables d'échauffer leur hydrogène propre et celui autour d'elles.

Les données révèlent que moins de 3% de la matière gazeuse des premières galaxies a été convertie en étoiles. Elles indiquent également quelque chose que l'on avait laissé entendre auparavant, à savoir que les premières étoiles et galaxies auraient pu avoir une contribution mesurable au rayonnement de fond qui est apparu à la suite du Big Bang. Là aussi, seule une limite a pu être attribuée à cette contribution.

*Le télescope SARAS 3 (Shaped Antenna measurement of the background Radio Spectrum 3) a été construit en 2020 sur le lac Dandiganahalli dans le nord du Karnataka (Inde).*

*SARAS fonctionne dans la bande 87,5-175 MHz.*

*Il a été conçu pour effectuer des mesures de précision du fond radio cosmique aux grandes longueurs d'onde. Ce rayonnement extrêmement faible est noyé dans une émission plus intense de plusieurs ordres de grandeur provenant de notre galaxie et des interférences terrestres d'origine humaine.*

*Les astronomes ont eu l'idée de faire flotter le radiotélescope sur l'eau, ce qui n'avait jamais été imaginé. Cela a donné un milieu homogène de haute constante diélectrique sous l'antenne, améliorant la sensibilité et réduisant les ondes radio perturbatrices émises par le sol sous les radiotélescopes.*

*Les scientifiques étudient les propriétés des galaxies très anciennes en observant le rayonnement des atomes d'hydrogène dans et autour des galaxies, émis à une fréquence d'environ 1420 MHz.*

*Le rayonnement est étiré par l'expansion de l'Univers, alors qu'il se déplace vers nous à travers l'espace et le temps, et arrive sur Terre dans des bandes radio de plus basse fréquence, 50-200 MHz, également utilisées par les transmissions FM et TV.  
(Raman Research Institute)*



## ***Filaments et matière sombre***

*Basé sur un communiqué SISSA*

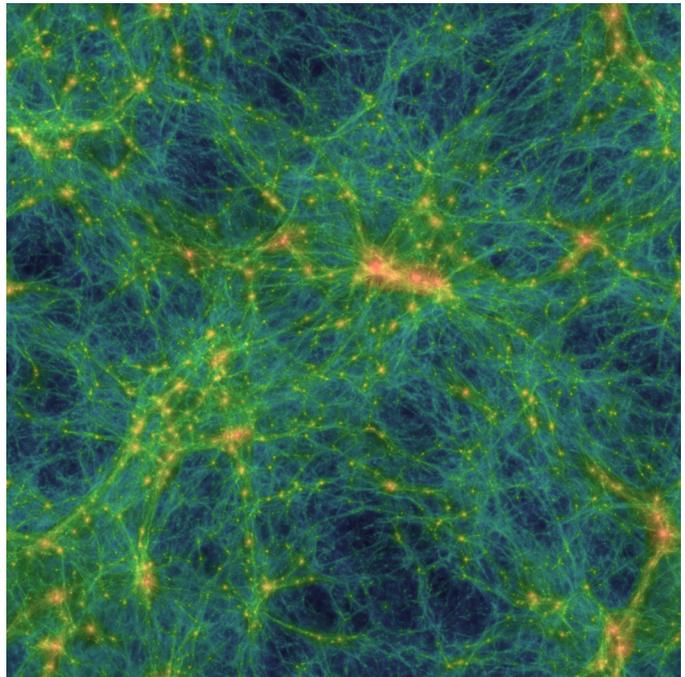
Les scientifiques découvrent de nouveaux indices selon lesquels la matière noire pourrait être constituée de photons noirs. Ces nouvelles particules hypothétiques pourraient bien expliquer les observations faites par le spectrographe COS (Cosmic Origin Spectrograph) à bord de l'observatoire spatial Hubble.

COS prend des mesures de la « toile cosmique », le réseau complexe de filaments ténus qui remplit l'espace entre galaxies. Les données recueillies par COS suggèrent que les filaments intergalactiques sont plus chauds que ne le prévoient les simulations hydrodynamiques du modèle standard de formation des structures cosmiques. Les photons noirs seraient capables de réchauffer les structures cosmiques. Ils pourraient ainsi expliquer les observations.

Les photons noirs sont de nouvelles particules hypothétiques qui seraient les médiateurs d'une force sombre, un peu comme le photon est le vecteur pour l'électromagnétisme. Contrairement au photon, cependant, ils peuvent avoir une masse. En particulier, le photon noir ultra-léger – avec une masse vingt ordres de grandeur inférieure à celle de l'électron – est un bon candidat pour la matière noire.

Les photons noirs et les photons normaux devraient également se mélanger comme les différents types de neutrinos, permettant aux photons noirs ultra-légers de se convertir en photons à basse fréquence. Ces photons réchaufferont la toile cosmique mais, contrairement à d'autres mécanismes de chauffage, basés sur des processus astrophysiques, tels que la formation d'étoiles et les vents galactiques, ce processus de chauffage est plus diffus et efficace également dans les régions peu denses.

***Projection d'une simulation de la toile cosmique créée par un superordinateur. (E. Puchwein and the Sherwood-Relics collaboration)***



## *Spirales rouges dans l'univers jeune*

*Basé sur un communiqué Waseda University*

Les premières images du télescope spatial James Webb ont révélé une rare population de galaxies spirales.

La morphologie des galaxies contient des informations importantes sur le processus de formation et d'évolution des galaxies. Avec sa résolution de pointe, le télescope spatial James Webb de la NASA a maintenant capturé les galaxies spirales les plus lointaines connues et, parmi elles, une galaxie rouge « passive », c'est-à-dire ne formant pas d'étoiles, une découverte surprenante dans l'Univers primitif.

Ces galaxies avaient déjà été détectées à l'aide des télescopes spatiaux Hubble et Spitzer, mais leur résolution spatiale et/ou leur sensibilité limitées n'avaient pas permis d'étudier leurs formes et propriétés détaillées.

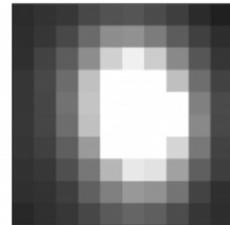
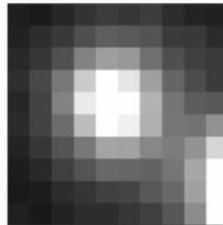
Maintenant, le télescope spatial James Webb (JWST) a fait passer les choses au niveau supérieur. Sa première image de l'amas de galaxies, SMACS J0723.3-7327 a montré en infrarouge une population de galaxies spirales rouges avec une résolution sans précédent, révélant leur morphologie en détail.

Parmi les nombreuses galaxies spirales rouges détectées, les chercheurs se sont concentrés sur les deux galaxies les plus extrêmement rouges, RS13 et RS14. Ils en ont

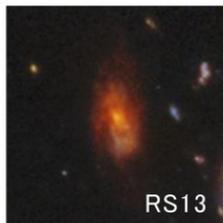
mesuré la distribution d'énergie dans une large gamme de longueurs d'onde. Cette analyse a révélé que les spirales rouges appartiennent à l'Univers primitif, une période connue sous le nom de « midi cosmique » (il y a 8 à 10 milliards d'années), qui a suivi le Big Bang et « l'aube cosmique ». Elles sont parmi les galaxies spirales les plus éloignées connues à ce jour.

Ces rares galaxies spirales rouges ne représentent que 2% des galaxies de l'univers local. Leur présence dans l'Univers primitif, à partir de l'observation du JWST ne couvrant qu'une fraction insignifiante de l'espace, suggère que de telles spirales existaient en grand nombre dans l'Univers primitif.

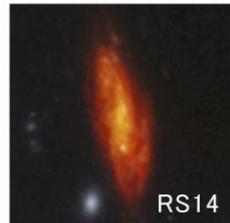
Les chercheurs ont en outre découvert que l'une des spirales rouges, RS14, est une galaxie passive, contrairement aux attentes – il semblait en effet que les galaxies de l'Univers primitif devaient former des étoiles en abondance. Cette détection d'une galaxie spirale passive dans le champ de vision limité du JWST est particulièrement surprenante, car elle suggère que de telles galaxies spirales passives pouvaient également exister en grand nombre à cette époque du midi cosmique primitif.



Spitzer  
IRAC



RS13



RS14

JWST

*La sensibilité et la résolution du JWST, bien supérieures à celles de Spitzer, révèlent les détails morphologiques des galaxies spirales rouges RS13 et RS14. (Yoshinobu Fudamoto, Waseda University)*

## Aux confins de notre galaxie

*Basé sur un communiqué UC Santa Cruz*

Les astronomes ont découvert plus de 200 étoiles RR Lyrae dans le halo de la Voie lactée. La plus éloignée de ces étoiles se trouve à plus d'un million d'années-lumière, ce qui correspond presque à la moitié de la distance de la galaxie d'Andromède, notre proche voisine.

La corrélation entre les pulsations et la luminosité des étoiles RR Lyrae en fait d'excellentes sources étalons pour mesurer les distances galactiques. Grâce à de nouvelles observations de ces variables, les chercheurs ont pu tracer les limites extérieures du halo de la Voie lactée. Notre galaxie et Andromède

sont toutes deux si grandes qu'il n'y a pratiquement pas d'espace entre les deux galaxies.

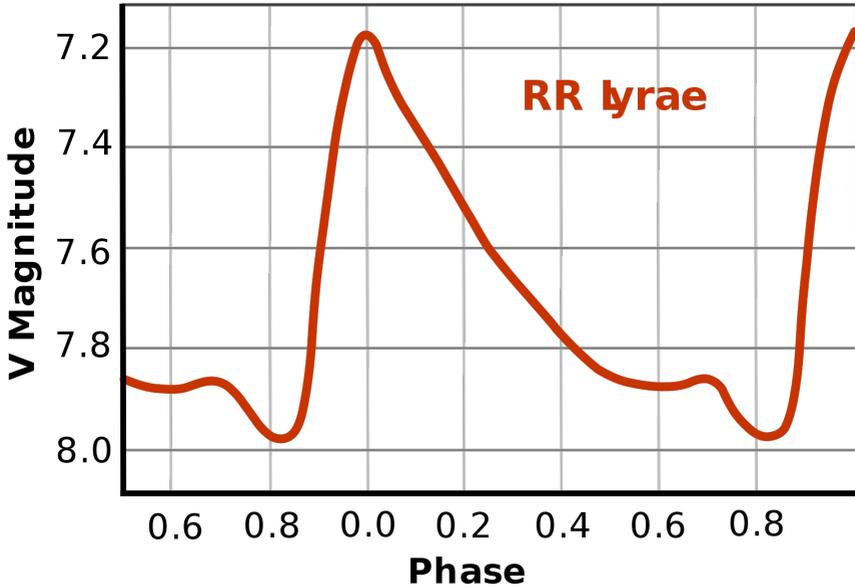
En raison de son extension, le halo extérieur est la partie la plus difficile à étudier. Les étoiles y sont très clairsemées en comparaison des hautes densités stellaires du disque et du renflement, mais le halo est dominé par la matière noire et contient en fait la majeure partie de la masse de la galaxie.

De précédentes études de modélisation avaient calculé que le halo stellaire devrait s'étendre jusqu'à environ 1 million d'années-lumière du centre galactique, soit 300 kiloparsecs. Les distances des 208 étoiles RR Lyrae nouvellement détectées s'étalent d'environ 20 à 320 kiloparsecs.

## Milky Way halo structure



*Illustration des halos intérieur et extérieur de la Voie lactée. La composante extérieure du halo stellaire est beaucoup plus grande que le disque, qui mesure environ 100 000 années-lumière de diamètre. Le Système solaire réside dans l'un des bras spiraux du disque. Au milieu du disque se trouve un renflement central, qui contient les étoiles les plus anciennes de la galaxie. (NASA, ESA, A. Feild /STScI)*



*Illustration de la courbe de lumière  
typique d'une RR Lyrae.  
(R.J. Hall, CC BY-SA 3.0)*

Ces observations confirment les estimations théoriques de la taille du halo, c'est donc un résultat important.

Les résultats sont basés sur les données du Next Generation Virgo Cluster Survey (NGVS), un programme utilisant le télescope Canada-France-Hawaii (CFHT) pour étudier l'amas de galaxies de la Vierge – et qui n'avait donc pas été conçu pour détecter des étoiles RR Lyrae. L'amas de la Vierge est un grand amas de galaxies qui comprend la galaxie elliptique géante M87.

L'excellente qualité des données NGVS a permis de mesurer avec précision les propriétés des RR Lyrae à ces distances.

Les RR Lyrae sont des étoiles vieilles qui se dilatent et se contractent dans un cycle régulier de forme caractéristique. La façon dont leur luminosité varie ressemble à un électrocardiogramme – ils sont comme les battements de cœur des galaxies. Leur luminosité moyenne est liée à la fréquence de pulsation.

Cette combinaison est fantastique pour étudier la structure des galaxies. Une étoile peut sembler brillante parce qu'elle est très lumineuse ou parce qu'elle est très proche, et il peut être difficile de faire la différence. Les astronomes peuvent identifier une étoile RR Lyrae à partir de ses pulsations caractéristiques, puis utiliser sa luminosité observée pour calculer à quelle distance elle se trouve. Les procédures ne sont cependant pas simples : des objets plus éloignés, tels que des quasars, peuvent se faire passer pour des étoiles RR Lyrae.

Seuls les astronomes savent à quel point il est difficile d'obtenir des traceurs fiables de ces distances. Cet échantillon robuste d'étoiles RR Lyrae distantes fournit un outil très puissant pour étudier le halo et tester les modèles actuels de la taille et de la masse de notre galaxie.

## NGC 346

*Basé sur un communiqué NASA*

NGC 346, l'une des régions de formation d'étoiles les plus dynamiques des galaxies proches, est une cible favorite des astronomes. Maintenant, c'est au tour du télescope spatial Webb de s'y attaquer.

NGC 346 est située dans notre voisine, le Petit Nuage de Magellan. Le Petit Nuage contient des concentrations plus faibles que la Voie lactée en métaux, c'est-à-dire en éléments plus lourds que l'hydrogène ou l'hélium. Les grains de poussière interstellaire sont composés principalement de métaux, de sorte que les astronomes s'attendaient à ce qu'ils contiennent peu de poussière. Les observations de Webb révèlent le contraire.

Les astronomes ont sondé cette région parce que les conditions physiques et chimiques du Petit Nuage ressemblent à celles observées dans les galaxies il y a des milliards d'années, à une époque de l'Univers connue sous le nom de « midi cosmique », lorsque la formation d'étoiles était à son apogée. Quelque 2 à 3 milliards d'années après le Big Bang, les galaxies formaient des étoiles à un rythme effréné. À cette époque, les galaxies avaient des milliers de régions de formation stellaire. Mais, même si NGC 346 est maintenant l'unique amas massif formant activement des étoiles dans sa galaxie, il nous offre une excellente occasion de sonder les conditions qui étaient en place au midi cosmique.

En observant les protoétoiles, les chercheurs peuvent savoir si le processus de formation des étoiles dans le Petit Nuage est différent de ce que nous observons dans la Voie lactée. Les études infrarouges précédentes de NGC 346 s'étaient concentrées sur des protoétoiles de 5 à 8 fois la masse du Soleil. Le télescope Webb permet d'analyser des protoétoiles plus légères, jusqu'à dix fois moins massives que le Soleil, ce qui permet de voir si leur processus de formation est affecté par la faible teneur en métal.

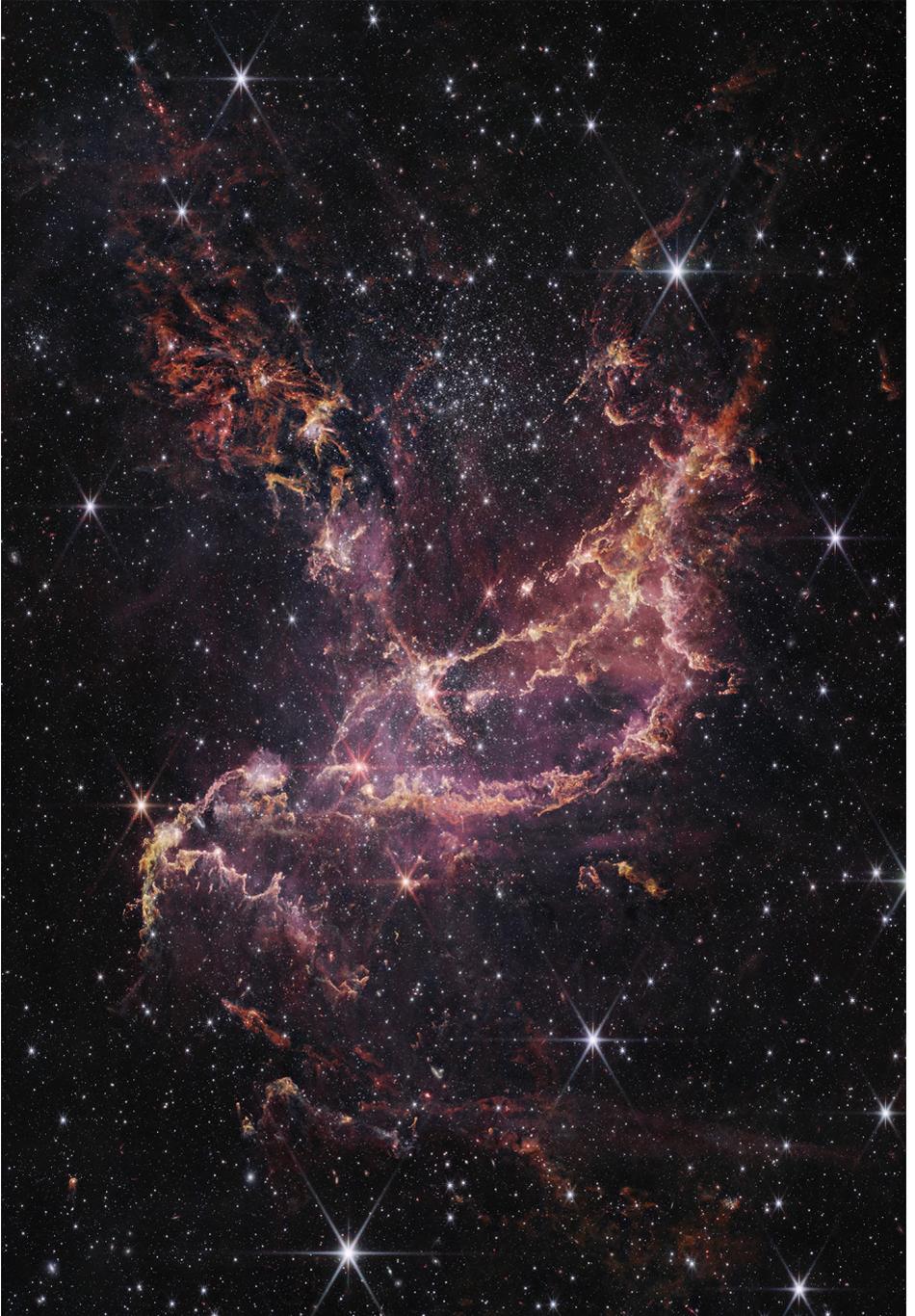
Au fur et à mesure que les étoiles se forment, elles agrègent du gaz et de la poussière à partir du nuage moléculaire environnant. Le

matériau s'accumule dans un disque d'accrétion qui alimente la protoétoile centrale. Les astronomes ont détecté du gaz autour de protoétoiles dans NGC 346, et les observations dans le proche infrarouge de Webb marquent pour la première fois qu'ils détectent également de la poussière dans ces disques.

On observe ainsi les blocs de construction, non seulement des étoiles, mais sans doute aussi des planètes. Et puisque le petit nuage de Magellan a un environnement semblable aux galaxies du midi cosmique, il est possible que des planètes rocheuses se soient formées plus tôt dans l'Univers qu'on ne le pense.

Les astronomes disposent également d'observations spectroscopiques de l'instrument NIRSPEC de Webb. Ces données, en cours d'analyse, devraient fournir de nouvelles informations sur le matériau qui s'accumule sur les protoétoiles, ainsi que sur leur environnement immédiatement.

► **NGC 346 photographié avec la caméra proche infrarouge NIRCam du télescope spatial James Webb. NGC 346 est un amas d'étoiles dynamique du Petit Nuage de Magellan à 200 000 années-lumière de nous. Webb y révèle la présence de beaucoup plus de poussière qu'on ne le pensait, ce qui est favorable à la formation d'étoiles et de planètes. Les nébulosités de cette image sont de deux natures. En rose, on voit l'hydrogène ionisé, d'une température de l'ordre de 10 000°C. La couleur orange marque l'hydrogène moléculaire dense, froid à environ -200°C ou moins, et la poussière associée. Le gaz froid fournit un excellent environnement pour la formation des étoiles. Les fronts lumineux sont créés lorsque la lumière des étoiles jeunes dissipe les nuages denses. Les nombreux piliers de gaz incandescent témoignent des effets de cette érosion stellaire dans toute la région. Dans cette image, le bleu a été attribué à la longueur d'onde de 2,0 microns, le vert à 2,77 microns, l'orange à 3,35 microns et le rouge à 4,44 microns. (NASA, ESA, CSA, O. Jones/UK ATC, G. De Marchi/ESTEC et M. Meixner/USRA; A. Pagan/STScI, N. Habel/USRA, L. Lenkic/USRA) et L. Chu/NASA/Ames)**



## ***Une roche du nuage d'Oort***

*Basé sur un communiqué Western University*

Des chercheurs ont pu montrer qu'une boule de feu qui a pris naissance à la périphérie du Système solaire était probablement constituée de roche et non de glace, remettant en question nos théories sur la formation du Système solaire.

Aux confins du Système solaire et à mi-chemin des étoiles les plus proches se trouve le nuage d'Oort, une immense collection d'objets glacés bien trop éloignés pour pouvoir être observés. L'un ou l'autre de ces objets, à la faveur de quelque perturbation, parvient à s'échapper du nuage pour venir visiter les régions plus proches du Soleil, donnant lieu à une comète.

Jusqu'à présent, tout ce que l'on avait pu observer en provenance du nuage d'Oort était constitué de glace, et la base même de notre compréhension des débuts du Système solaire repose sur le fait que seuls des objets glacés existent dans ces confins.

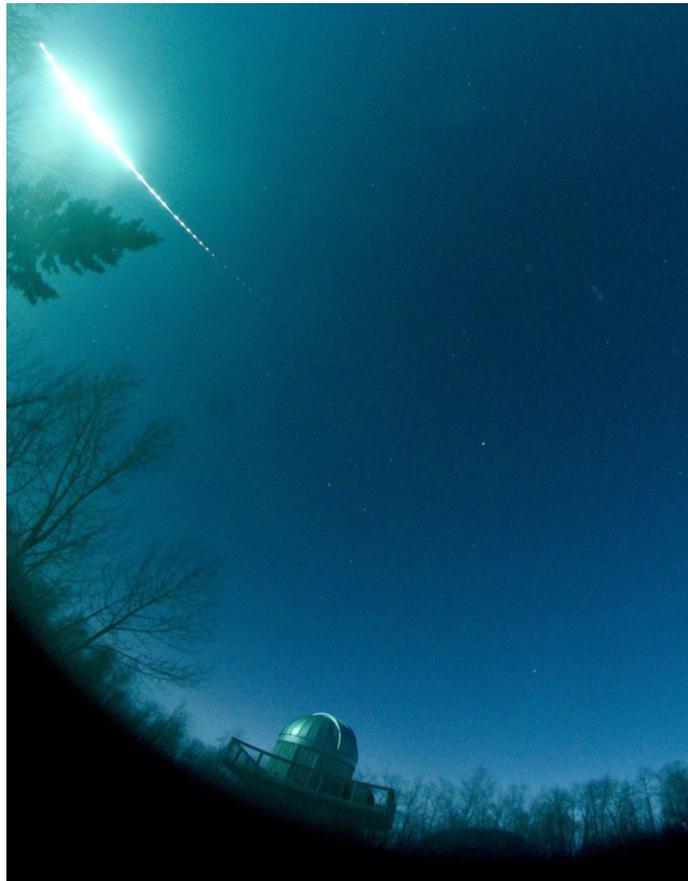
Cela a changé avec l'observation d'un bolide au-dessus de l'Alberta. Les caméras ultramodernes du Global Fireball Observatory (GFO) ont en effet observé un météoroïde rocheux de la taille d'un pamplemousse (environ 2 kg). Il est descendu

beaucoup plus bas dans l'atmosphère que s'il avait été fait de matière volatile, et s'est brisé exactement comme les météorites pierreuses ordinaires.

À l'aide des outils du Global Meteor Network, les chercheurs ont calculé que le bolide de l'Alberta se déplaçait sur une orbite généralement réservée aux comètes glacées à longue période du nuage d'Oort.

Ce résultat ne cadre pas avec les modèles actuels de formation du Système solaire. Il favorise au contraire l'idée que d'importantes quantités de matériaux rocheux coexistent avec des objets glacés dans le nuage d'Oort.

***La boule de feu capturée  
par la caméra du Global  
Fireball Observatory au parc  
provincial du lac Miquelon,  
en Alberta.  
(Université de l'Alberta)***



## TOI 700 e

*Basé sur un communiqué NASA/JPL*

Le télescope spatial TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) a permis d'identifier un nouveau monde de la taille de la Terre en orbite dans la zone habitable de son étoile – la gamme de distances où l'eau liquide pourrait subsister à la surface d'une planète. La planète en question, TOI 700 e, fait 95% de la taille de la Terre et est probablement rocheuse.

Les astronomes connaissaient déjà trois planètes dans ce système, TOI 700 b, c et d. Une année d'observations additionnelles a été nécessaire pour trouver TOI 700 e.

C'est l'un des rares systèmes que l'on connaisse possédant plusieurs planètes habitables. Il mérite donc d'être l'objet d'un suivi supplémentaire. La planète e est environ 10% plus petite que la planète d, donc le système démontre comment l'accumulation de données TESS aide à trouver des mondes de plus en plus petits.

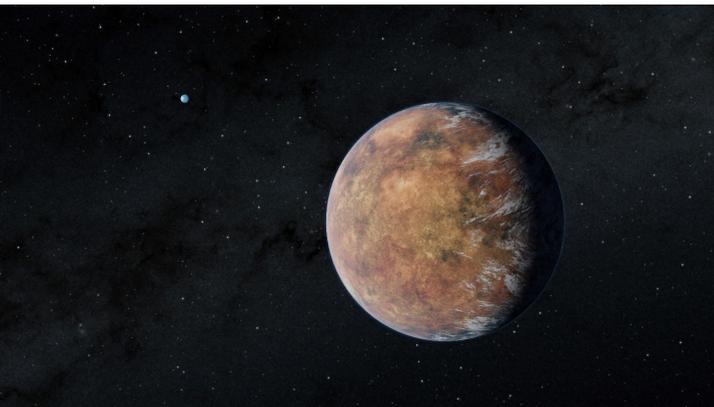
TOI 700 est une naine froide de type M située à environ 100 années-lumière dans la constellation australe de la Dorade.

La planète la plus interne, TOI 700 b, fait environ 90% de la taille de la Terre et tourne en 10 jours autour de l'étoile. TOI 700 c est plus de 2,5 fois plus grosse que la Terre et complète son orbite en 16 jours. La planète d est de la taille de la Terre et son orbite de 37 jours la place dans la zone habitable. Les

planètes sont probablement verrouillées par les marées, ce qui signifie qu'elles tournent sur elles-mêmes une fois par orbite, et qu'un côté fait toujours face à l'étoile, tout comme un côté de la Lune est toujours tourné vers la Terre.

TESS surveille de larges pans du ciel pendant environ 27 jours à la fois. Ces longues sessions permettent au satellite de suivre les changements de luminosité stellaire pouvant être causés par des transits planétaires. La mission TESS a utilisé cette stratégie pour observer le ciel du sud à partir de 2018, avant de se tourner vers le ciel boréal. En 2020, le télescope de TESS s'est retourné vers le ciel austral pour des observations supplémentaires. Cette nouvelle année de données a permis d'affiner les estimations de la taille des planètes, qui sont maintenant environ 10% plus petites que les valeurs initiales.

TOI 700 e, qui est peut-être, elle aussi, synchronisée par les marées, met 28 jours pour orbiter autour de son étoile, et se place entre c et d dans la zone habitable dite « optimiste ». Les scientifiques définissent la zone habitable optimiste comme la plage de distances à partir d'une étoile où l'eau de surface liquide pourrait être présente à un moment donné de l'histoire d'une planète. Cette zone s'étend de part et d'autre de la zone habitable conservatrice, la plage où l'eau liquide pourrait exister pendant la majeure partie de la vie de la planète. TOI 700 d orbite dans cette région.



*Illustration de la planète TOI 700 e, avec sa sœur TOI 700 d au loin. Ces deux planètes sont de taille terrestre et évoluent dans la zone habitable de l'étoile TOI 700. (NASA/JPL-Caltech/Robert Hurt)*

## Eau lunaire

*Basé sur un communiqué  
Académie chinoise des sciences*

En raison de son importance cruciale dans l'exploration spatiale future, l'abondance, la distribution et l'origine de l'eau sur la Lune ont récemment fait l'objet de beaucoup d'attention.

La surface des grains de régolithe prélevés par le rover Chang'e-5 montre des concentrations élevées d'hydrogène et de faibles rapports isotopiques deutérium/hydrogène (D/H) qui sont compatibles avec une origine dans le vent solaire.

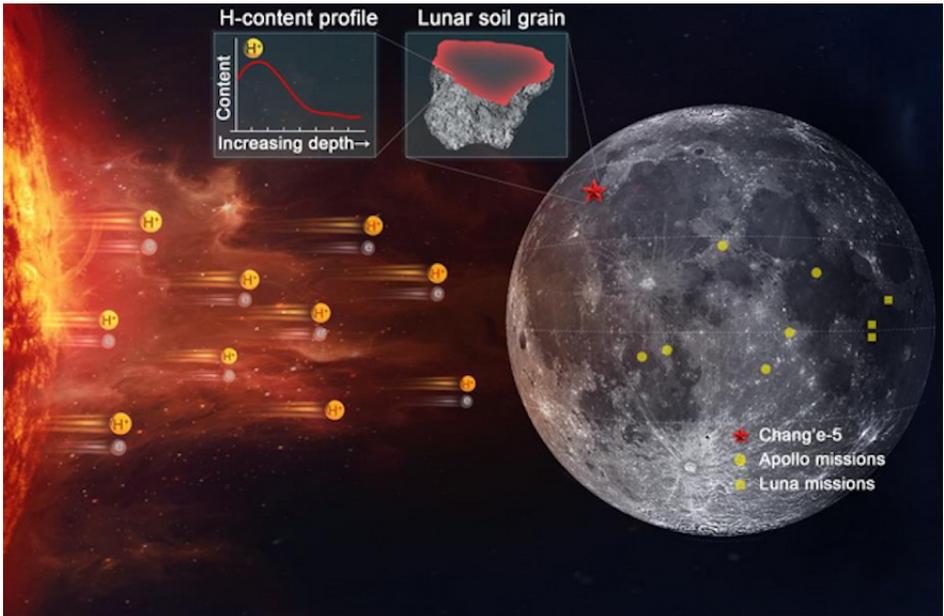
Les chercheurs ont mené des simulations sur la préservation de l'hydrogène dans le sol lunaire à différentes températures. Ils ont découvert que l'eau venant du vent solaire pouvait être préservée dans les régions de moyenne et haute latitudes de la surface lunaire. Les terrains polaires pourraient ainsi contenir encore plus d'eau que les échantillons de Chang'e-5.

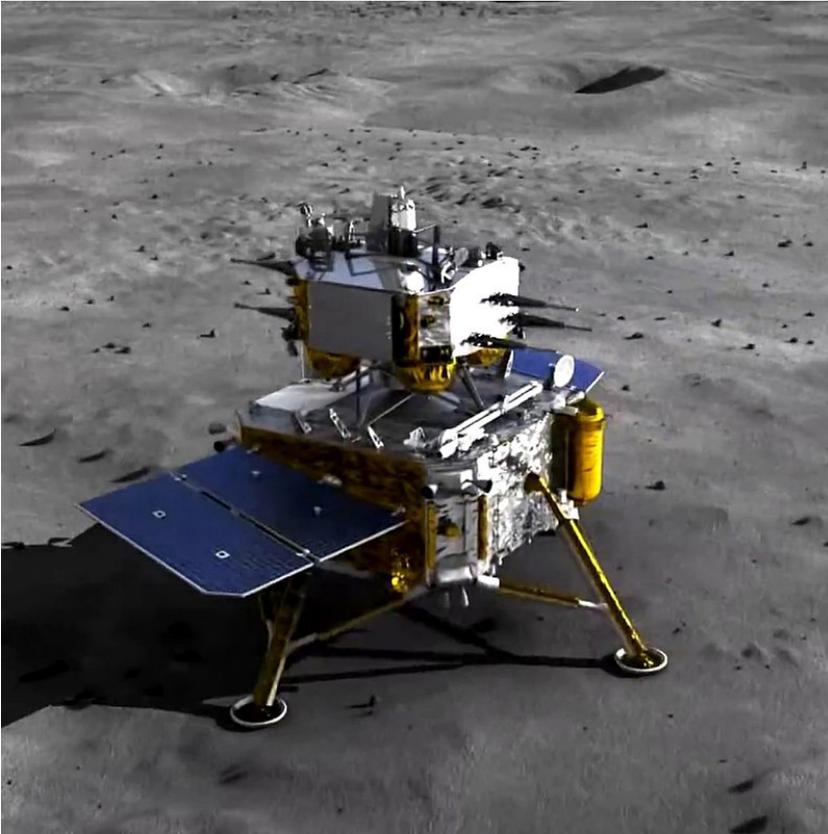
Des études antérieures ont prouvé que la teneur en eau varie avec la latitude et l'heure de la journée (jusqu'à 200 ppm). Un changement aussi évident implique un taux de désorption rapide de la surface lunaire.

Contrairement aux six missions Apollo et aux trois missions Luna, qui ont toutes atterri à des latitudes basses (de 9° sud à 26° nord), la mission Chang'e-5 a renvoyé des échantillons de sol d'une latitude moyenne (43,06°N). De plus, ces échantillons ont été prélevés dans les plus jeunes basaltes lunaires connus (2 milliards d'années) et dans le sous-sol basaltique le plus sec. Cela les rend essentiels pour traiter la distribution spatio-temporelle et la rétention par le régolithe de l'eau venant du vent solaire.

Les chercheurs ont mesuré le profil en profondeur de l'abondance d'hydrogène dans 17 grains et calculé les rapports deutérium/hydrogène.

*Représentation schématique des ions hydrogène du vent solaire se projetant vers la Lune et enrichissant la surface des grains de régolithe lunaire.  
(Team Pr. Lin Yangting)*





*Vue d'artiste de l'atterrisseur posé à la surface de la Lune, avec le module de remontée sur sa face supérieure. (China News Service, CC BY 3.0)*

Les résultats ont montré que la majorité des bordures de grains (les plus hautes ~100 nm) présentaient des concentrations élevées d'hydrogène (1 116 à 2 516 ppm) avec des abondances isotopiques très voisines de celle du Soleil, suggérant un apport par le vent solaire. Sur la base de la distribution granulométrique des sols lunaires et de leur teneur en hydrogène, la teneur en eau « solaire » a été estimée à 46 ppm pour les sols analysés, conformément au résultat de la télédétection.

Des expériences de chauffage sur un sous-ensemble de grains ont démontré que l'hydrogène implanté par le vent pouvait être conservé après enfouissement. En utilisant ces informations ainsi que des données pré-

cédentes, les chercheurs ont établi un modèle de l'équilibre dynamique entre l'implantation et le dégazage de l'hydrogène solaire dans le sol, révélant que la température (donc la latitude) joue un rôle clé dans l'implantation de l'hydrogène.

En utilisant ce modèle, ils ont prédit une abondance encore plus élevée d'hydrogène à la surface des grains dans les régions polaires lunaires. Cette découverte est d'une grande importance pour l'utilisation future des ressources en eau sur la Lune. De plus, grâce au tri et au chauffage des particules, il sera relativement facile d'exploiter et d'utiliser l'eau contenue dans le sol lunaire.

## Titan

*Basé sur un communiqué UC Berkeley*

Le télescope spatial James Webb (JWST) a tourné ses caméras infrarouges sur Titan, une lune de Saturne, et l'une des plus étranges du Système solaire.

Le seul satellite avec une atmosphère dense, Titan est aussi le seul monde connu, hormis la Terre, possédant des étendues liquides à sa surface, y compris des rivières, des lacs et des mers. Seulement, ce n'est pas d'eau qu'il s'agit mais de méthane, d'éthane et d'autres hydrocarbures toxiques.

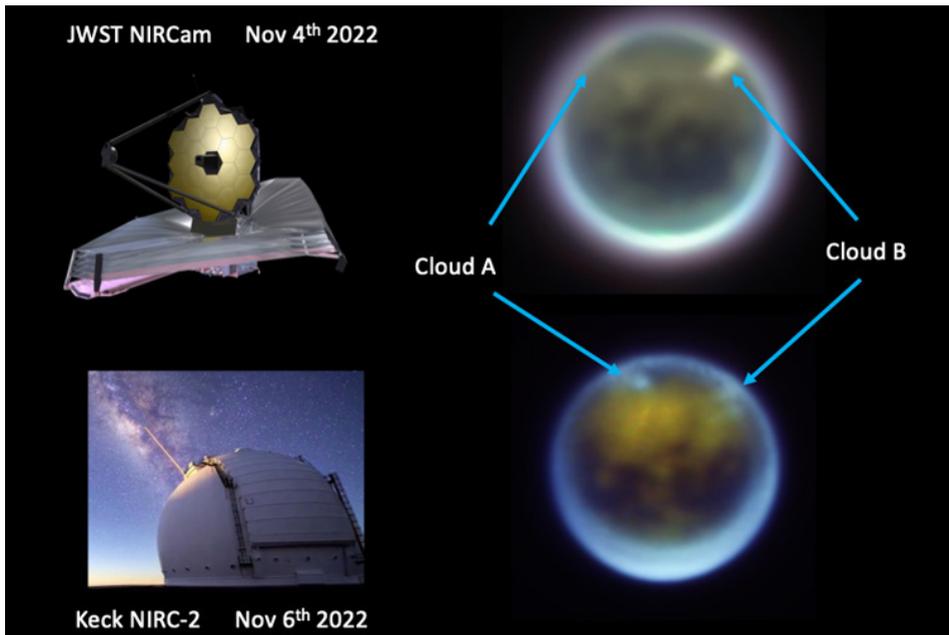
Les nouvelles observations de Webb, combinées à celles de télescopes terrestres, aideront les astronomes à comprendre les conditions météorologiques sur Titan avant la mission Dragonfly, dont le lancement est prévu en 2027 et qui doit évaluer l'habitabilité de l'environnement unique de Titan.

Les astronomes observent Titan depuis des décennies, depuis bien avant la visite de

Voyager en 1980. Au cours des 25 dernières années, ils ont utilisé pour cela de puissants télescopes au sol et en orbite. Une mission spatiale, Cassini, a pu observer Titan de près entre 2004 et 2017.

Les images prises par le JWST le 4 novembre montraient ce qui ressemblait à deux nuages. Les astronomes ont alors voulu confirmer ces nuages et suivre leurs mouvements

*Évolution des nuages sur Titan en 30 heures entre le 4 et le 6 novembre, vue par les caméras dans le proche infrarouge du télescope spatial James Webb (en haut) et du télescope Keck. Titan vu ici tourne de gauche (matin) à droite (soir). Le nuage A semble tourner, tandis que le nuage B se dissipe ou se déplace derrière le limbe de Titan. Les nuages ne durent pas longtemps sur Titan ou sur Terre, donc ceux observés le 4 novembre peuvent ne pas être les mêmes que ceux observés le 6 novembre. (NASA/STScI/Keck Observatory/Judy Schmidt)*



avec le télescope Keck. Les observations de Keck obtenues environ 30 et 54 heures plus tard ont montré des nuages similaires – probablement les mêmes – mais légèrement déplacés en raison de la rotation de Titan.

Bien que la qualité des images JWST et Keck puisse sembler à peu près identique, le JWST dispose d'instruments capables de mesurer des aspects de l'atmosphère de Titan que Keck ne peut pas. En particulier, la capacité de spectroscopie infrarouge du JWST lui permet de localiser en altitude les nuages et les brumes avec une bien meilleure précision.

La combinaison du JWST et de Keck livre des données complètes de Titan, comme la hauteur des nuages, l'épaisseur optique de l'atmosphère et l'élévation de la brume dans l'atmosphère. En particulier, aux longueurs d'onde où l'atmosphère terrestre est opaque, le JWST peut observer et fournir des informations sur la basse atmosphère et la surface.

Des occultations stellaires observées avec le Keck et le VLT et des mesures Doppler réalisées avec ALMA ont permis de sonder plus en détail la structure atmosphérique de Titan. En conjonction avec les résultats récents de la modélisation du vent, ces observations contribuent à une compréhension plus large des atmosphères des planètes et des lunes.

*La lune de Saturne Titan capturée par l'instrument NIRCcam du télescope spatial James Webb le 4 novembre 2022. L'image de gauche, prise à travers un filtre de 2,12 microns, montre des nuages et une brume atmosphérique plus basse. L'image de droite est une composition couleur utilisant quatre filtres. On pense que Kraken Mare est une mer de méthane; Belet est composé de dunes de sable de couleur foncée; Adiri est une caractéristique brillante.*  
(NASA, ESA, CSA, A. Pagan/STScI; JWST Titan GTO Team)

