

# Astronomie dans le monde



## M87\*

*Basé sur un communiqué Cfa*

La collaboration EHT (Event Horizon Telescope) a publié de nouvelles images du trou noir supermassif M87\* en utilisant les données d'observations prises en 2018, un an après celles qui avaient fourni les toutes premières images d'un trou noir. M87\*, situé au centre de la galaxie Messier 87 distante de 55 millions d'années-lumière, a révélé un anneau circulaire, plus brillant dans sa partie sud. Une analyse plus approfondie des données a également révélé la structure de M87\* en lumière polarisée, donnant ainsi une meilleure idée de la géométrie du champ magnétique et de la nature du plasma autour du trou noir.

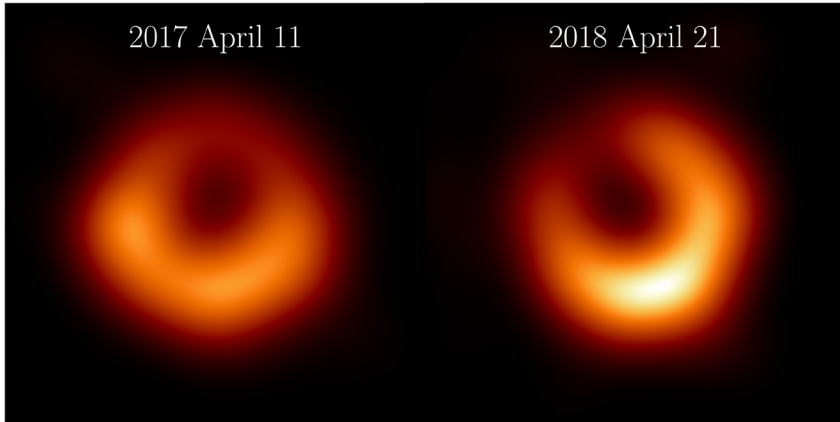
Des améliorations techniques et l'addition au réseau d'un télescope arctique ont permis de montrer un changement dans l'anneau brillant qui entoure « l'ombre » apparente du trou noir : un décalage de 30 degrés par rapport à l'image de 2017. La première image d'un trou noir ressemblait tellement aux prédictions mathématiques qu'elle en était sus-

***Le télescope de 30 mètres de l'IRAM au Pico Veleta dans la Sierra Nevada est impliqué dans le réseau EHT. (IRAM-gre)***

pecte. Le nouveau résultat confirme que l'on observe bien cette ombre et est en accord avec les idées théoriques sur l'écoulement turbulent de la matière autour des trous noirs.

La nouvelle ère de l'imagerie directe des trous noirs ouvre une fenêtre sur l'astrophysique des trous noirs et permet de tester la théorie de la relativité générale à un niveau fondamental. Les modèles théoriques prédisent que le matériel autour de M87\* devrait être décorrélié entre 2017 et 2018 et donner deux instantanés distincts. Ainsi, de multiples observations de M87\* aident à imposer des contraintes indépendantes sur la structure du plasma et du champ magnétique autour du trou noir, et à démêler la complexité des effets de la relativité générale.

L'une des propriétés remarquables d'un trou noir est que son rayon dépend fortement d'une seule quantité : sa masse. Puisque M87\* n'accumule pas de matière à un rythme rapide,



*Deux images de M87\* à un an d'intervalle.  
(Collaboration EHT)*

la relativité générale nous dit que son rayon doit rester relativement inchangé au cours des temps. Les observations EHT confirment ces prédictions.

Le changement le plus important, à savoir le déplacement du pic de luminosité autour de l'anneau, avait été prédit dès la publication des premiers résultats. Alors que la

taille de l'anneau doit rester assez fixe, la partie la plus brillante de l'anneau devrait osciller. La quantité d'oscillations observées au fil du temps peut être utilisée pour tester les théories sur le champ magnétique et l'environnement de plasma autour du trou noir.

## L'EHT

La collaboration EHT implique plus de 300 chercheurs d'Afrique, d'Asie, d'Europe et d'Amérique du Nord et du Sud. Son but est de prendre des images de trous noirs les plus détaillées jamais obtenues en créant un télescope virtuel de la taille de la Terre. L'EHT relie des radiotélescopes créant ainsi un instrument doté du pouvoir de résolution angulaire le plus élevé jamais atteint.

Les télescopes individuels impliqués sont ALMA, APEX, le télescope IRAM de 30 mètres, le réseau NOEMA (NOEMA (NOthern Extended Millimeter Array) de l'IRAM, le télescope James Clerk Maxwell (JCMT), le Large Millimeter Telescope (LMT), le réseau submillimétrique (SMA), le télescope submillimétrique (SMT), le télescope du pôle Sud (SPT), le télescope de Kitt Peak et celui du Groenland (GLT).

L'EHT est en développement continu. Le GLT a rejoint l'EHT en 2018, cinq mois seulement après l'achèvement de sa construction bien

au-dessus du cercle polaire arctique. Ce nouveau télescope a considérablement amélioré la qualité des images du réseau EHT, notamment dans la direction Nord-Sud.

Le LMT situé au Mexique a participé pour la première fois avec son diamètre entier de 50m, améliorant considérablement la sensibilité du réseau EHT. Le réseau a également été amélioré pour observer dans quatre bandes de fréquences autour de 230 GHz, contre seulement deux bandes en 2017.

S'appuyant sur les derniers résultats, le Smithsonian Astrophysical Observatory (SAO) projette une transformation importante de l'EHT. Le programme EHT de nouvelle génération (ngEHT) élargira la gamme en ajoutant de nouvelles antennes paraboliques à travers le monde et en étendant les observations sur de nombreuses fréquences radio, dans le but de réaliser les premiers films sur les trous noirs avant la fin de cette décennie.

## Étoiles du courant de Magellan

Basé sur un communiqué Cfa

Depuis près de cinquante ans, les astronomes cherchaient en vain des étoiles appartenant au courant de Magellan, un long ruban de gaz traversant la moitié de la sphère céleste à partir des Nuages de Magellan, les galaxies plus proches voisines de la Voie lactée. Cette quête est maintenant terminée. Les chercheurs ont identifié 13 étoiles que les distances, le mouvement et la composition chimique placent au cœur de ce flux énigmatique.

La localisation de ces étoiles a permis de préciser la distance du courant. Cette immense queue cométaire se déroule sur 150 000 années-lumière à plus de 400 000 années-lumière de nous. Les résultats ouvrent la voie à la cartographie et à la modélisation de cette structure avec des détails sans précédent, offrant de nouvelles perspectives sur l'histoire et les caractéristiques de notre galaxie et de ses voisines, leurs interactions passées et futures.

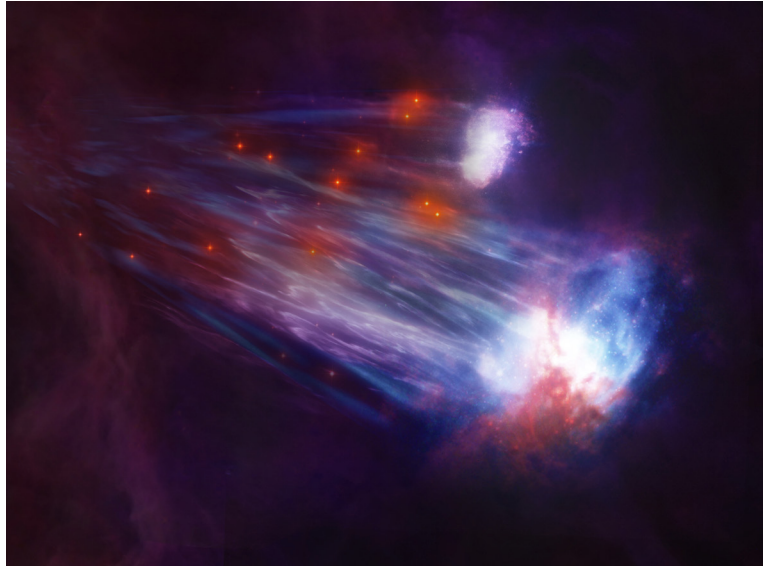
Les Nuages de Magellan sont de petites galaxies satellites de la Voie lactée. Visibles à l'œil nu, ils sont connus depuis l'Antiquité. Le gaz du courant n'a été détecté que dans les

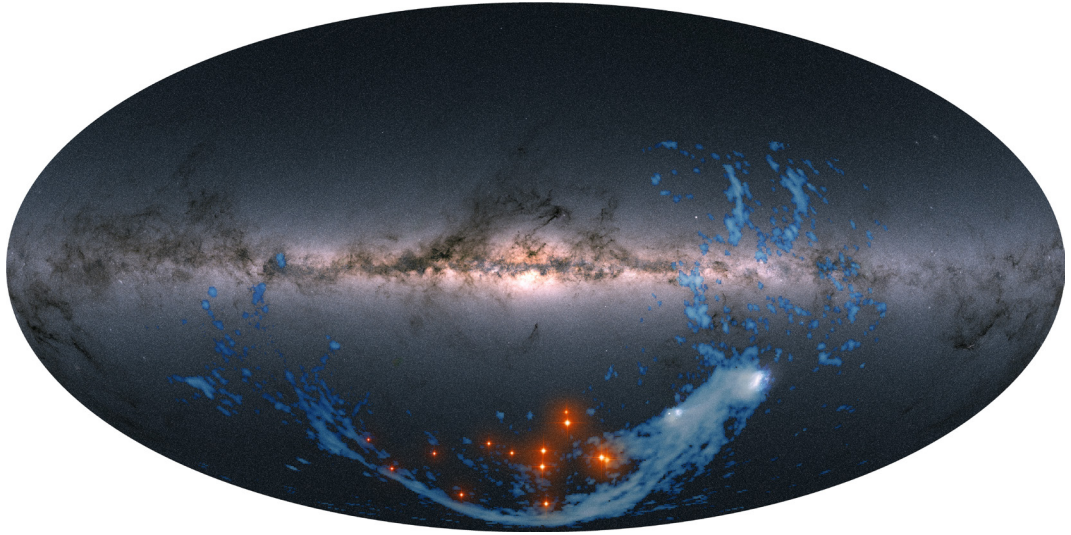
années 1960 grâce à l'émission à 21 cm de l'atome d'hydrogène. Son association avec les Nuages de Magellan et la dénomination correspondante datent de 1974.

Des études du gaz ont montré l'existence de deux filaments entrelacés, un pour chaque Nuage. Ces caractéristiques suggèrent que les interactions de marée dues à la gravitation de la Voie lactée sont à l'origine du courant magellanique. La manière exacte dont il a été créé est difficile à cerner, en grande partie à cause du fait que sa composante stellaire probable restait invisible.

Les étoiles situées à la périphérie de la Galaxie ont été peu étudiées en raison de notre position en plein cœur du disque stellaire très peuplé. Cependant, au cours de la dernière décennie, des catalogues d'observations approfondis, compilés par de nouveaux instruments, en particulier le télescope spatial Gaia, ont commencé à mettre au jour des objets qui pourraient bien être ces étoiles frontières insaisissables. Les astronomes ont alors utilisé le télescope Magellan Baade de 6,5 m de l'observatoire de Las Campanas au Chili pour entamer l'étude spectroscopique de 200 étoiles lointaines de la Voie lactée, un projet qui, une

*Vue d'artiste du courant magellanique. Les galaxies voisines les plus proches de la Voie lactée – les Nuages de Magellan – sont représentées sur la droite. À mesure que ces galaxies se déplacent vers la droite, le courant gazeux de Magellan traîne derrière elles, en s'entrelaçant et en s'étendant à travers le ciel du sud. L'illustration montre également les 13 étoiles géantes rouges découvertes dans le flux stellaire de Magellan. (Cfa / Melissa Weiss)*





fois terminé, constituera le plus grand échantillon de ce type à ce jour.

Cette analyse a révélé un ensemble de 13 étoiles dont les distances et les vitesses se situent exactement dans la plage attendue pour le courant magellanique. De plus, les abondances chimiques des étoiles correspondent à celles des nuages de Magellan, par exemple en étant nettement déficitaires en éléments lourds – que les astronomes appellent métaux. Munis de ces données les chercheurs ont pu étayer l'hypothèse d'une origine due à l'influence gravitationnelle par la Voie lactée. Ils ont aussi montré que le courant magellanique est deux fois plus massif que ce que l'on estimait généralement.

L'étude permet de prédire de futures flambées de formation stellaire dans la Voie lactée car le courant tombe sur notre galaxie et fournira ainsi le gaz froid nécessaire à la fabrication de nouvelles étoiles.

Des études plus approfondies du flux magellanique devraient également aider les astronomes à en apprendre davantage sur la composition de notre galaxie. Si l'on admet que le courant retrace les trajectoires passées

*Carte du ciel des étoiles observées par Gaia. L'hydrogène gazeux neutre du courant magellanique est affiché en bleu et couvre presque tout le ciel du sud. Les étoiles rouges indiquent les treize étoiles géantes rouges identifiées comme membres du Magellanic Stellar Stream. (CfA/Vedant Chandra/Melissa Weiss; Gaia DPAC; A. Moitinho/A. F. Silva/M. Barros/C. Barata, University of Lisbon; H. Saviotto, Fork Research, Portugal; D. Nidever et al., NRAO/AUI/NSF, Leiden-Argentine-Bonn Survey; Parkes, Westerbork, Arecibo Observatories.)*

des Nuages de Magellan, les modélisations devraient préciser la distribution de la masse dans la Voie lactée. Une grande partie de cette masse se présente sous la forme de matière noire, une substance encore mal comprise. Mieux évaluer la masse de notre galaxie jusqu'à ses frontières lointaines aidera à estimer la proportion de matière ordinaire par rapport à la matière noire, limitant ainsi les propriétés possibles de cette dernière.

## ***Le Giant Coma stream***

*Basé sur un communiqué Instituto de Astrofísica de Canarias*

Les astronomes ont découvert un long ruban d'étoiles dans l'amas de galaxies de Coma à l'aide du télescope WHT (William Herschel Telescope) de 4,2 m de l'observatoire Roque de los Muchachos à La Palma. Se déroulant sur dix fois le diamètre de notre galaxie, il s'agit du plus grand courant d'étoiles détecté jusqu'à présent et du premier trouvé dans un amas de galaxies autre que le groupe local. Des études de suivi avec le WHT ont confirmé que cette structure, surnommée le « Giant Coma Stream », est réelle. Elle ne semble associée à aucune galaxie en particulier. Les observations montrent une structure très fragile au milieu d'un environnement hostile de galaxies qui s'attirent et interagissent entre elles.

Ce type de groupement stellaire extrêmement lâche n'avait été détecté auparavant que dans notre propre galaxie et dans des galaxies proches, et c'est le plus grand identifié jusqu'à

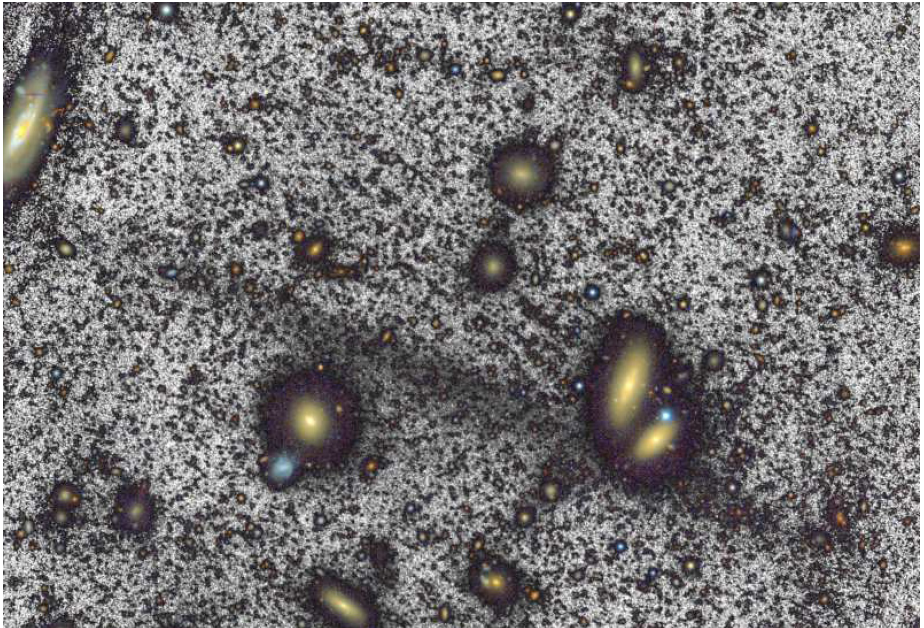
présent. Des simulations cosmologiques suggèrent qu'il pourrait être assez fréquent dans les amas de galaxies.

Les nouvelles générations de télescopes comme le futur ELT de 39 mètres ou la mission spatiale Euclid devraient permettre de découvrir bien d'autres courants stellaires de cette sorte.

Pour les chercheurs, il est fondamental de poursuivre l'étude de cet objet de l'amas de Coma, qui est l'un des premiers dans lequel des anomalies gravitationnelles ont indiqué la présence de matière noire.

Il est difficile de ne pas être impressionné par cette structure si énorme qu'elle pourrait relier la Voie lactée et la galaxie d'Andromède par un pont d'étoiles. Un objet de ce type donne la possibilité unique de découvrir si la matière noire est organisée en halos, comme prédit pour la matière noire froide, car ces halos devraient provoquer des trous dans le courant d'étoiles.

***Le courant géant de Coma  
(HERON/ WHT/ Román et al.)***



## Premières images d'Euclid

*Basé sur un communiqué ESA*

La mission spatiale Euclid de l'ESA a révélé ses premières images du cosmos. Jamais auparavant un télescope n'avait été capable de créer des images astronomiques d'une telle netteté sur une si grande portion du ciel et en regardant aussi loin dans l'Univers. Ces images illustrent tout le potentiel d'Euclid; elles montrent que le télescope est prêt à créer la carte 3D la plus complète de l'Univers pour découvrir certains de ses secrets cachés.

Euclid a pour tâche d'étudier comment la matière et l'énergie sombres ont permis à l'Univers de ressembler à ce qu'il est aujourd'hui. 95 % du cosmos semblent constitués de ces mystérieuses entités « sombres ». Mais nous ne comprenons pas ce qu'elles sont car leur présence ne provoque que des changements très subtils dans l'apparence et les mouvements des choses que nous pouvons voir.

Pour détecter ces influences sur l'univers visible, Euclid observera au cours des six prochaines années les formes, les distances et les mouvements de milliards de galaxies jusqu'à 10 milliards d'années-lumière. Il créera ainsi la plus grande carte cosmique en 3D jamais réalisée.

La particularité de la vision du cosmos par Euclid réside dans sa capacité à créer une image visible et infrarouge remarquablement nette sur un très grand champ en une seule séance.

Euclid contient deux instruments, une caméra dans le domaine visible (VIS) et un spectro-imageur pour l'infrarouge, NISP (Near Infrared Spectrometer and Photometer).

VIS est munie d'un capteur de 600 millions de pixels de 0,1 seconde d'arc et travaille entre 0,55 et 0,90  $\mu\text{m}$ . Le champ est de 0,57 degrés carrés, soit 180 fois celui de la caméra ACS de Hubble. La résolution spatiale est d'environ 0,23 seconde d'arc. L'instrument est chargé de mesurer la déformation de l'image des galaxies et d'en déduire l'effet de lentille gravitationnelle généré par les grandes structures de l'Univers sur les galaxies éloignées.

Le détecteur de NISP est sensible à l'infrarouge proche (entre 1 et 2  $\mu\text{m}$ ). Il comporte 65 millions de pixels qui couvrent chacun 0,7 seconde d'arc. NISP peut travailler en spectrométrie à basse résolution, sans fente, à la façon des anciens prismes-objectifs.

Les cinq premières images d'Euclid sont centrées sur des objets très divers et montrent le potentiel du télescope.

### L'amas de galaxies de Persée

L'image montre 1 000 galaxies appartenant à l'amas, et plus de 100 000 galaxies en arrière-plan.

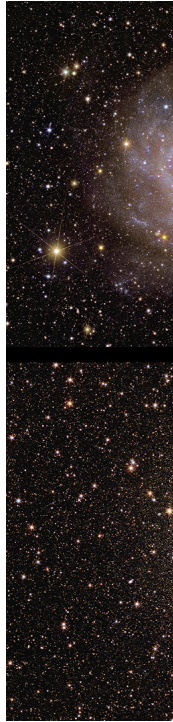
Un grand nombre de ces galaxies peu lumineuses n'avaient jamais été observées auparavant. Certaines d'entre elles sont si lointaines que leur lumière a mis 10 milliards d'années à nous parvenir. En cartographiant la distribution et la forme de ces galaxies, les cosmologistes pourront en savoir plus sur la façon dont la matière noire a modelé l'Univers que nous voyons aujourd'hui.

### Galaxie spirale IC 342

Au cours de sa vie Euclid photographiera des milliards de galaxies, révélant l'influence invisible que la matière noire et l'énergie noire ont sur elles. C'est pourquoi il est naturel que l'une des premières galaxies observées par Euclid soit la « galaxie cachée » (IC 342). Grâce à sa vue infrarouge, Euclid a déjà permis de découvrir des informations cruciales sur les étoiles de cette galaxie, qui est un sosie de notre Voie lactée.

### La galaxie irrégulière NGC 6822

La plupart des galaxies de l'univers primitif ne sont pas de belles spirales, mais sont irrégulières et petites. Elles sont les éléments constitutifs de galaxies plus grandes, comme la nôtre, et nous pouvons encore trouver certaines de ces galaxies relativement proches de nous.





Cette première galaxie naine irrégulière qu'Euclid a observée est distante de seulement 1,6 million d'années-lumière.

### **Amas globulaire NGC 6397**

NGC 6397 est le deuxième amas globulaire le plus proche de la Terre, situé à environ 7 800 années-lumière. Les amas globulaires sont des collections de centaines de milliers d'étoiles retenues ensemble par la gravité. Actuellement, aucun autre télescope qu'Euclid ne peut observer un amas globulaire entier en une seule fois tout en distinguant simultanément autant d'étoiles de l'amas. Ces étoiles peu lumineuses nous parlent de l'histoire de la Voie lactée et nous renseignent sur l'emplacement de la matière noire.

### **La Nébuleuse de la Tête de Cheval**

Euclid nous offre une vue spectaculaire de la nébuleuse de la Tête de Cheval (Barnard 33). Les scientifiques espèrent y trouver de nombreuses planètes géantes dans leur enfance, ainsi que de jeunes naines brunes et des étoiles naissantes.

*Les premières images d'Euclid. Dans le sens horlogique, à partir d'en haut à gauche : la spirale IC 342, la nébuleuse de la Tête de Cheval, l'amas globulaire NGC 6397, l'amas de Persée, et la galaxie irrégulière NGC 6822.  
(ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA, J.-C. Cuillandre/CEA Paris-Saclay, G. Anselmi, CC BY-SA 3.0 IGO)*

## Cas A par le JWST

*Basé sur un communiqué NASA Webb Telescope Team*

Cas A est l'un des restes de supernova les mieux étudiés. Au fil des années, des observatoires au sol et dans l'espace, notamment les télescopes spatiaux X Chandra (rayons X), Hubble (domaine optique) et Spitzer (infrarouge), ce dernier maintenant à la retraite, ont dévoilé l'objet dans toute une gamme de longueurs d'onde.

Avec le télescope spatial JWST, les astronomes sont entrés dans une nouvelle ère de l'étude de Cas A. En avril 2023, sa caméra MIRI (Mid-Infrared Instrument) avait ouvert ce chapitre en révélant des caractéristiques inattendues au cœur du reste de supernova. Une nouvelle image a été assemblée, cette fois au moyen de la caméra NIRCcam (Near-Infrared Camera) dans des longueurs de l'infrarouge plus proche, entre 1,5 et 4,5 microns. Beaucoup des caractéristiques qui étaient présentes dans l'image MIRI sont invisibles sur la nouvelle image et les astronomes se demandent pourquoi.

Dans cette dernière image de Cas A (ci-dessous, à gauche), des couleurs ont été attribuées à différents filtres de NIRCcam, et chacune de ces couleurs fait allusion à une activité différente se produisant au sein de l'objet.

À première vue, l'image NIRCcam peut paraître moins colorée que l'image MIRI. Cependant, cela dépend

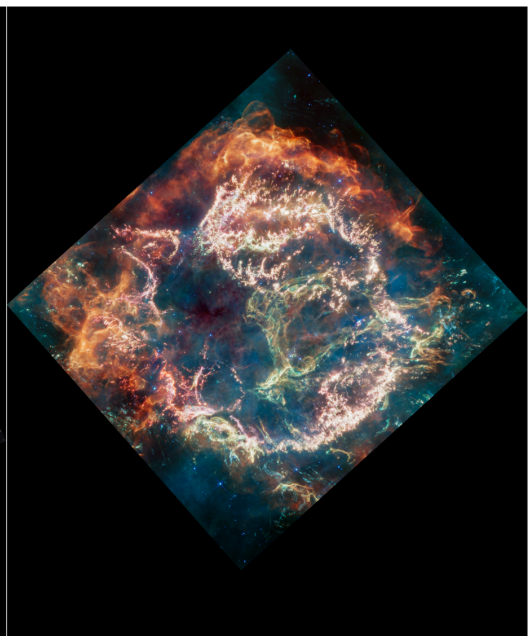
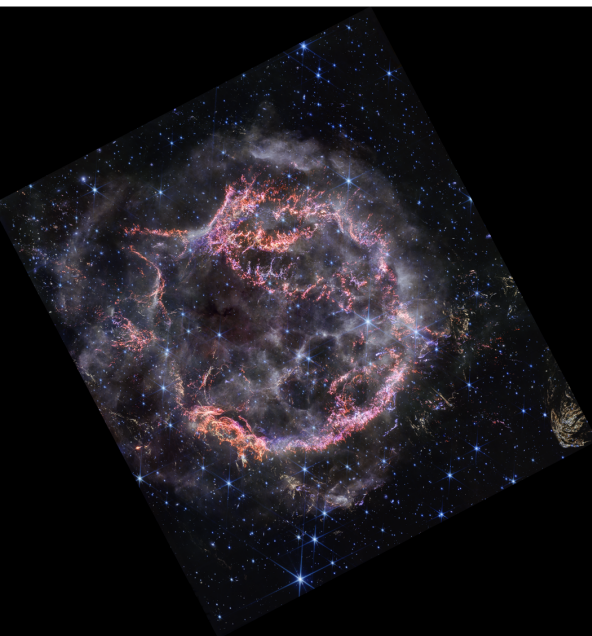
▼ **Comparaison d'images de Cas A prises par les caméras NIRCcam (infrarouge proche) et MIRI (infrarouge moyen) du télescope spatial JWST.**

*L'image NIRCcam paraît moins colorée que l'image MIRI. En revanche elle est un peu plus nette en raison des longueurs d'onde plus courtes.*

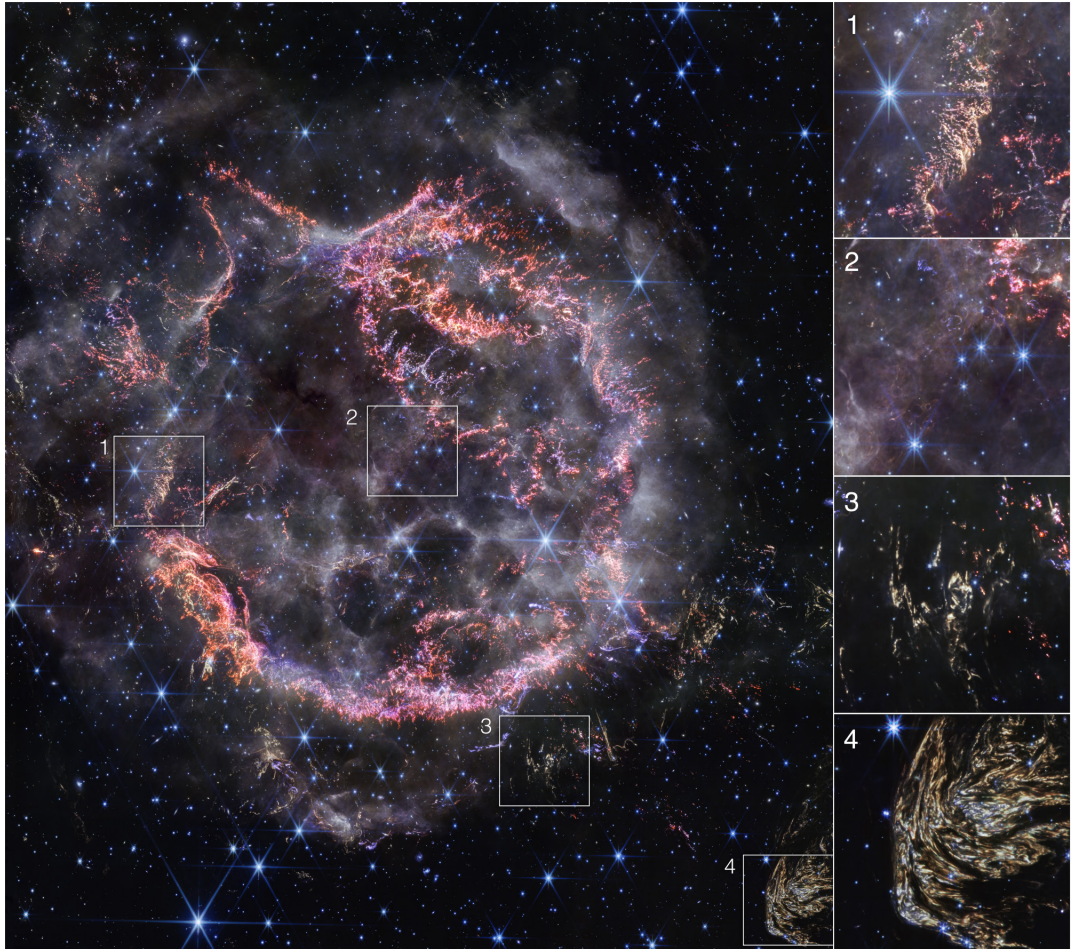
*La poussière contenue dans le matériau circumstellaire est trop froide pour être détectée directement dans les longueurs d'onde du proche infrarouge, mais s'illumine dans l'infrarouge moyen.*

*La boucle de lumière verte dans la cavité centrale du Cas A visible en infrarouge moyen, « le monstre vert », n'est pas visible dans le proche infrarouge.*

*(NASA, ESA, CSA, STScI, D. Milisavljevic/Purdue University, I. De Looze/UGent, Tea Temim/Princeton University)*







*Cette image met en évidence plusieurs caractéristiques intéressantes de Cas A, vues avec NIRCam :*

*1- Les petits nœuds de gaz provenant de l'étoile elle-même. Certains filaments de débris sont trop petits pour être résolus, ce qui signifie qu'ils ont un diamètre comparable ou inférieur à une centaine d'unités astronomiques. Les chercheurs pensent que cela est une conséquence de la façon dont l'étoile s'est brisée comme du verre.*

*2- Les trous circulaires visibles sur l'image MIRI à l'intérieur du « monstre vert », sont discrètement bordés de blanc et de violet sur l'image NIRCcam, une conséquence du gaz*

*ionisé. Les chercheurs pensent que cela est dû aux débris de l'étoile qui traversent le gaz laissé par l'étoile avant son explosion.*

*3- Un des quelques échos lumineux visibles sur l'image de Cas A. Il est une réflexion de la lumière de l'explosion de l'étoile. La poussière a été échauffée et brille en se refroidissant.*

*4- Un écho lumineux particulièrement complexe, surnommé Baby Cas A. Il est situé à environ 170 années-lumière en arrière de la supernova.*

*(NASA, ESA, CSA, STScI, D. Milisavljevic/Purdue University, I. De Looze/UGent, T. Temim/Princeton University)*

simplement des longueurs d'onde dans lesquelles le matériau rayonne.

Les nuages les plus colorés, orange vif et rose clair, constituent la coquille interne de la nébuleuse. La résolution de Webb permet de détecter les plus petits nuages de gaz, composés de soufre, d'oxygène, d'argon et de néon, provenant de l'étoile elle-même. Ce gaz et les poussières qu'il porte entreront à terme dans de nouvelles étoiles et de nouveaux systèmes planétaires. Certains nuages de débris sont trop petits pour être résolus, ce qui signifie qu'ils ont un diamètre comparable ou inférieur à une centaine d'unités astronomiques. L'intégralité de Cas A s'étend, quant à elle, sur 10 années-lumière.

Grâce à la résolution de NIRC*am*, on peut voir comment l'étoile mourante s'est complètement brisée lorsqu'elle a explosé, laissant derrière elle des filaments semblables à de petits éclats de verre – des détails révélateurs pour les astronomes qui veulent reconstituer l'histoire de l'explosion.

Lorsque l'on compare la nouvelle vue dans le proche infrarouge prise par le JWST avec celle dans l'infrarouge moyen, la cavité interne de Cas A et son enveloppe extérieure semblent curieusement décolorées. Le bord de la coquille principale, qui apparaissait en orange foncé et rouge sur l'image MIRI, ressemble maintenant à la fumée d'un feu de camp. Cela marque l'endroit où le souffle de la supernova s'enfonce dans la matière circumstellaire environnante. La poussière contenue dans le matériau circumstellaire est trop froide pour être détectée directement dans les longueurs d'onde du proche infrarouge, mais s'illumine dans l'infrarouge moyen.

Les chercheurs pensent que la couleur blanche provient du rayonnement synchrotron, qui est émis à travers tout le spectre électromagnétique, y compris le proche infrarouge. Il est généré par des particules chargées se déplaçant

en spirale, à des vitesses extrêmement élevées, autour des lignes de champ magnétique. Le rayonnement synchrotron est également visible dans les coquilles en forme de bulles situées dans la moitié inférieure de la cavité interne.

La boucle verte dans la cavité centrale de Cas A qui brillait dans l'infrarouge moyen, et surnommée le « monstre vert » par l'équipe de recherche, disparaît aussi dans l'infrarouge proche, une particularité que les chercheurs peinent à comprendre de prime abord.

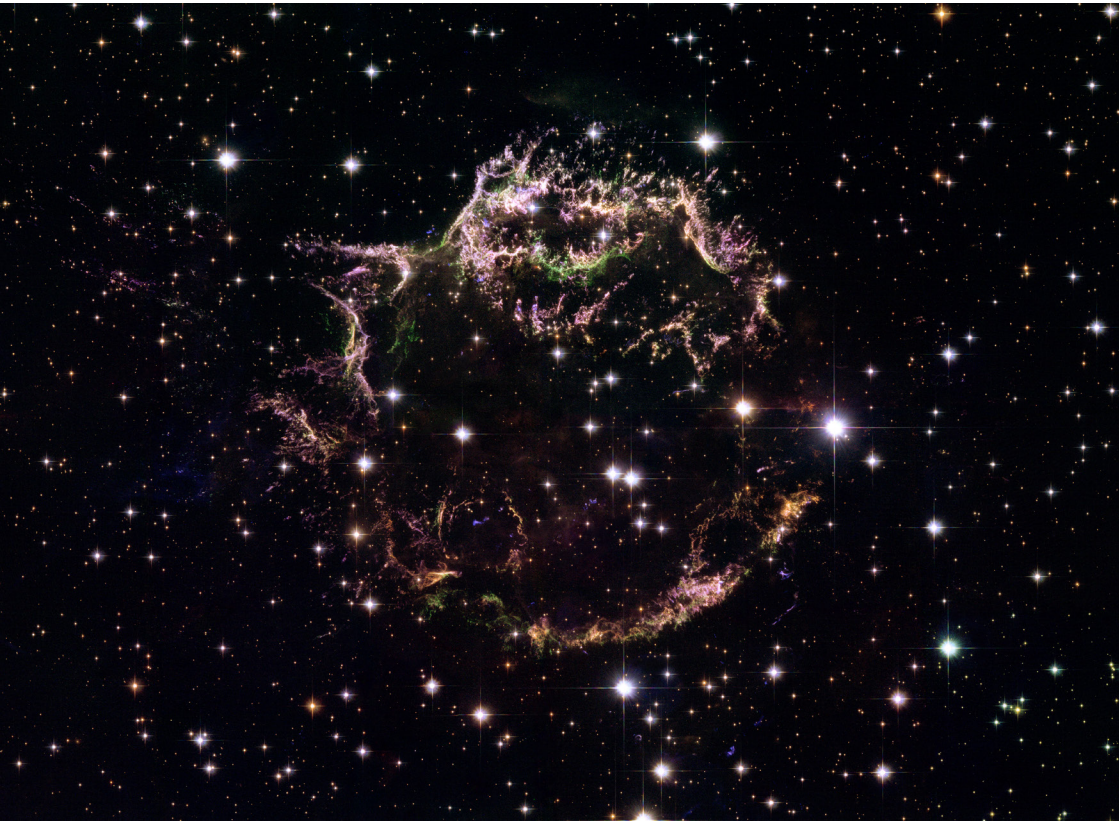
Malgré l'absence de la couleur verte dans le monstre vert vu par NIRC*am*, l'image de cette région peut donner un aperçu de ses caractéristiques. Les trous circulaires visibles sur l'image MIRI sont bordés d'une lueur blanche et violette sur l'image NIRC*am* – ce qui trahit du gaz ionisé. Les chercheurs pensent que cela est dû aux débris de supernova qui traversent et sculptent le gaz laissé par l'étoile avant son explosion.

Les chercheurs ont également été stupéfaits par un détail situé dans le coin inférieur droit du champ de NIRC*am*. Ils surnomment cette grosse zone striée « Baby Cas A » – car elle ressemble à une version miniature de la supernova principale.

Il s'agit d'un écho lumineux, où la lumière de l'explosion ancienne de l'étoile a échauffé la poussière, qui brille en se refroidissant. La complexité du motif de poussière et la proximité apparente de Baby Cas A avec Cas A lui-même intriguent particulièrement les chercheurs. En réalité, Baby Cas A est située à environ 170 années-lumière derrière le reste de la supernova.

Il y a également plusieurs autres échos lumineux plus petits dispersés dans le nouveau portrait de Webb.

Le reste de la supernova Cas A est situé à 11 000 années-lumière dans la constellation de Cassiopée. On estime qu'elle a explosé il y a environ 340 ans.



*Cas A vue par le télescope spatial Hubble dans le rouge et l'infrarouge très proche (de 625 à 850 nanomètres).*

*Cassiopeé A est le rémanent d'une supernova qui a explosé dans la seconde moitié du XVII<sup>e</sup> siècle. L'expansion des couches a permis de situer l'événement aux alentours de 1667. Aucune archive n'en fait mention, ce qui peut s'expliquer par sa distance (11 000 années-lumière) et par les nuages de poussières qui la cachaient. L'étoile qui a explosé devait être une supergéante rouge.*

*La supernova n'a été détectée qu'en 1947, par l'émission radio de ses débris, puis, la position étant connue, dans le domaine optique en 1950. Cas A abrite probablement en son cœur une étoile à neutrons.*

*(NASA, ESA, Hubble Heritage /STScI/AURA-ESA/Hubble Collaboration ; R. A. Fesen/Dartmouth College, J. Long/ESA/Hubble)*

## Vents galactiques bipolaires

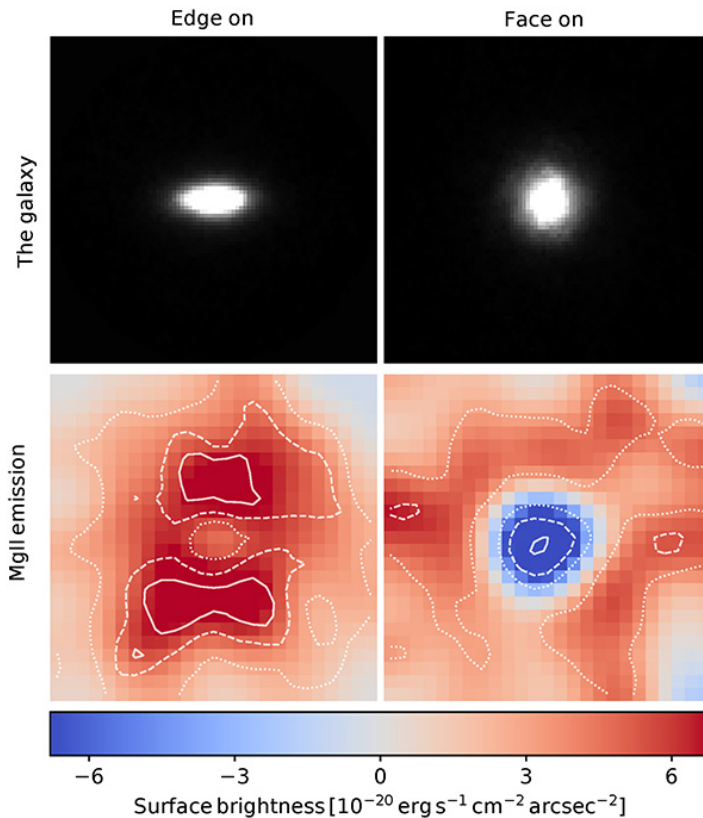
Basé sur un communiqué CNRS

Les vents galactiques permettent les échanges de matière entre les galaxies et leur environnement. Ils limitent le taux de formation d'étoiles. Cela avait été observé dans l'univers local, mais, grâce à MUSE (Multi-Unit Spectroscopic Explorer), un instrument intégré au VLT de l'ESO, les astronomes viennent de confirmer que le phénomène se déroule aussi dans les galaxies vues à plus de 7 milliards d'années dans le passé et formant activement des étoiles – le type de galaxie le plus commun. Ces résultats montrent ainsi qu'il s'agit d'un processus universel.

Les vents galactiques sont créés par l'explosion d'étoiles massives. Comme ils sont diffus et de faible densité, ils sont généralement difficiles à repérer. Pour les voir, les scientifiques ont combiné des images de plus d'une centaine de galaxies obtenues après de très longues poses.

En étudiant le spectre d'émission des atomes de magnésium, les chercheurs ont pu cartographier la morphologie de ces vents, qui apparaissent comme des cônes de matière éjectés perpendiculairement des deux côtés du plan galactique.

À l'avenir, ils espèrent mesurer jusqu'où s'étendent ces vents et quelle quantité de matière ils transportent.



*Les émissions d'atomes de magnésium sont ici utilisées pour tracer les vents galactiques. Le flux de matière se produit le long de l'axe central perpendiculaire au disque galactique. (Yucheng Guo)*

## Anneaux radio géants

*Basé sur un communiqué UC San Diego*

En 2019, le nouveau réseau de radiotélescopes ASKAP (Australian Square Kilometer Array Pathfinder) a détecté de mystérieux anneaux (ORC, odd radio circles) si grands qu'ils contiennent des galaxies entières en leur centre. De nouveaux travaux conduisent à penser qu'il s'agit de coquilles de gaz formées par des vents galactiques venant probablement de supernovæ.

Dans le zoo des galaxies il en existe que l'on qualifie de « starburst », c'est-à-dire qu'elles montrent une forte activité de formation d'étoiles. Lorsque les étoiles meurent et explosent, elles expulsent leur matière et celle environnante dans l'espace. Si suffisamment d'étoiles explosent en même temps, la poussée combinée de ces explosions peut projeter le gaz hors de la galaxie elle-même, sous la forme de vents galactiques qui peuvent souffler jusqu'à 2 000 kilomètres par seconde.

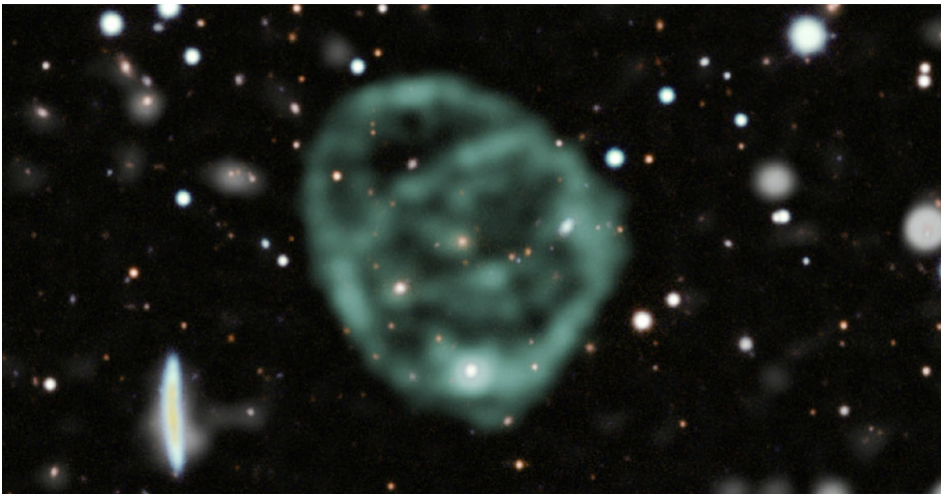
Ces épisodes starburst se produisent lorsque deux grandes galaxies entrent en collision et compriment tout le gaz dans une très petite région. Le gaz se condense alors sous sa gravité et forme de nombreuses étoiles.

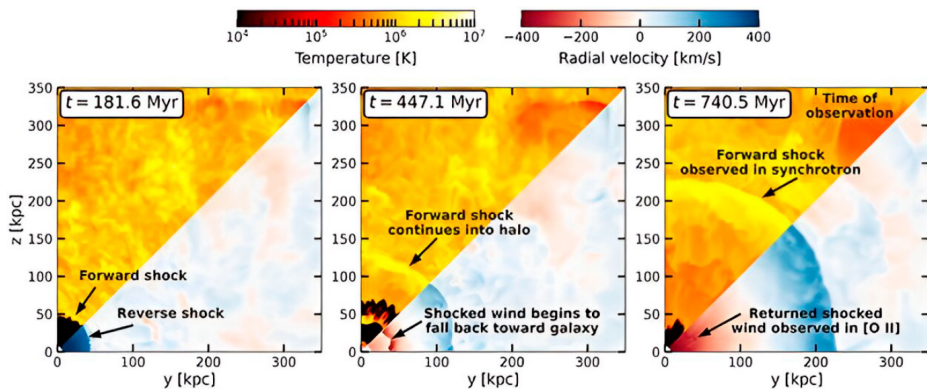
Les plus massives d'entre elles se consomment rapidement et, lorsqu'elles meurent, elles expulsent violemment leur gaz.

Les développements technologiques ont permis à ASKAP de scanner de grandes parties du ciel en profondeur, ce qui permet de détecter les étranges cercles radio pour la première fois en 2019. Les ORC sont énormes : des centaines de kiloparsecs de diamètre (pour référence, la Voie lactée mesure environ 30 kiloparsecs de diamètre).

Plusieurs théories ont été proposées pour expliquer l'origine des ORC, notamment la fusion de nébuleuses planétaires ou de trous noirs, mais les données radio à elles seules ne pouvaient pas faire la distinction entre les théories. Intrigués, des astronomes ont imaginé que les anneaux pouvaient être un stade ultérieur des galaxies starburst. Ils ont alors porté leur attention sur ORC 4 – le premier ORC observable de l'hémisphère nord.

*Les cercles radio étranges, comme ORC 1 illustré ci-dessous, s'étendent sur des centaines de milliers d'années-lumière, ils sont suffisamment grands pour contenir des galaxies en leur centre.  
(J. English / University of Manitoba)*





Jusqu'alors, les ORC n'avaient été observés que par leur émission radio, sans aucune donnée optique. Les chercheurs ont utilisé un spectrographe optique de l'observatoire WM Keck de Mauna Kea (à Hawaï), pour examiner ORC 4. Ils ont ainsi décelé une énorme quantité de gaz comprimé, chauffé et hautement lumineux, bien plus que ce que l'on voit dans une galaxie normale.

Avec plus de questions que de réponses, l'équipe s'est mise au travail de détective. À l'aide de données d'imagerie optique et infrarouge, on a déterminé que les étoiles à l'intérieur de la galaxie ORC 4 avaient environ 6 milliards d'années. Il y avait eu une explosion de formation d'étoiles dans cette galaxie et elle s'était terminée il y a environ un milliard d'années.

Des simulations numériques ont permis de reproduire la taille et les propriétés de l'anneau, ainsi que la grande quantité de gaz choqué et froid de la galaxie centrale.

Les simulations ont montré que des vents galactiques ont soufflé pendant 200 millions d'années. Lorsqu'ils se sont arrêtés, un choc a continué de pousser le gaz chaud hors de la galaxie et a créé un anneau radio, tandis qu'un choc en retour a fait retomber du gaz plus froid sur la galaxie. La simulation s'est déroulée sur 750 millions d'années, soit dans la fourchette approximative de l'âge stellaire estimé d'ORC 4.

*Simulation de vents soufflés par des étoiles à trois périodes différentes, à partir de 181 millions d'années (Myr). La moitié supérieure de chaque image montre la température du gaz, tandis que la moitié inférieure montre la vitesse radiale.*

*(C. Lochhaas / Space Telescope Science Institute)*

Pour que cela fonctionne, il faut éjecter beaucoup de matière rapidement. Le gaz environnant, juste à l'extérieur de la galaxie, doit être de faible densité, sinon le choc s'arrête. Ce sont les deux facteurs clés. Les galaxies présentant ces caractéristiques sont rares, mais elles existent.

Non seulement les vents galactiques peuvent aider les astronomes à comprendre les ORC, mais les ORC peuvent également aider les astronomes à comprendre les vents. Les données radio et spectroscopiques peuvent permettre de déterminer la fréquence et l'évolution de ces vents galactiques extrêmes. Elles peuvent également nous en apprendre davantage sur l'évolution galactique : toutes les galaxies massives passent-elles par une phase ORC ? Les galaxies spirales deviennent-elles elliptiques lorsqu'elles ne forment plus d'étoiles ?

## Un FRB inhabituel

*Basé sur un communiqué NASA-ESA*

Les FRB (Fast Radio Burst) sont de brèves émissions ponctuelles d'ondes radio dont la luminosité peut, pendant quelques millisecondes, submerger celle des galaxies où elles ont pu apparaître. Au cours des dernières années, des centaines de sources FRB ont été détectées. Elles peuvent éclater n'importe où dans le ciel mais leur nature reste incertaine.

Un sursaut FRB exceptionnellement puissant, FRB20220610A se révèle particulièrement étrange car il est entré en éruption « à mi-chemin » de l'Univers, ce qui en fait le plus éloigné et le plus puissant détecté à ce jour.

Les observations de suivi effectuées avec le télescope spatial Hubble ont situé ce FRB dans ce qui semble être un endroit improbable, un ensemble de galaxies qui existaient lorsque l'Univers n'avait que 5 milliards d'années.

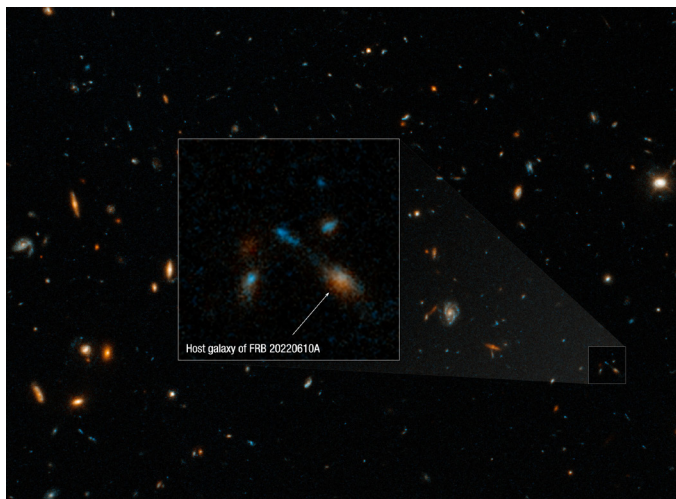
FRB 20220610A a été détecté pour la première fois le 10 juin 2022 par le radiotélescope australien Square Kilometer Array Pathfinder (ASKAP) en Australie occidentale, et sa provenance lointaine a été confirmée par le VLT de l'ESO au Chili. Il est quatre fois plus énergétique que les FRB plus proches. Cela pourrait remettre en question les modèles de ce qui produit les FRB, ou pourrait-il s'agir d'un effet de sélection faisant en sorte que seuls des FRB très brillants pourraient être détectés à l'autre bout de l'Univers ?

Il a fallu la netteté et la sensibilité de Hubble pour déterminer exactement d'où venait le FRB. Les images obtenues par le télescope spatial suggèrent que la galaxie hôte appartient à un groupe comptant jusqu'à sept galaxies en passe de coalescer. De tels groupes sont rares et il est possible que

cela ait conduit aux conditions qui ont déclenché le FRB.

Le mécanisme à l'origine des FRB est encore mystérieux, mais on pense généralement que les FRB impliquent des objets compacts, trous noirs ou étoiles à neutrons et particulièrement les plus magnétiques de ces dernières, les magnétars. Leur champ magnétique est si puissant qu'un astronaute s'en approchant à quelques centaines de kilomètres serait désintégré. Parmi les mécanismes envisagés pour les FRB il y a les tremblements d'étoile, ou la reconnexion de lignes de force du champ magnétique. C'est un phénomène similaire qui produit les éruptions solaires, mais le champ d'un magnétar est mille milliards de fois plus puissant que celui du Soleil.

Il peut y avoir plusieurs sortes de magnétars. Dans un cas, il pourrait s'agir d'un objet tournant autour d'un trou noir entouré d'un disque de matière. Une autre possibilité est une paire d'étoiles à neutrons dont les magnétosphères interagissent périodiquement, créant une cavité où des éruptions peuvent avoir lieu. On estime que les magnétars sont actifs pendant environ 10 000 ans avant de se calmer. C'est très court et l'on peut s'attendre à ce qu'ils se trouvent là où naissent des étoiles. Mais cela ne semble pas être le cas pour certains magnétars.



*Le champ de FRB 20220610A vu par le télescope spatial Hubble. (NASA, ESA, STScI, Alexa Gordon/Northwestern University)*

## 30 Doradus B

*Basé sur un communiqué NASA/Chandra*

Le reste de supernova 30 Doradus B (30 Dor B en abrégé) fait partie d'une vaste région de formation stellaire active depuis 8 ou 10 millions d'années. Il s'agit d'un paysage complexe de nuages sombres de gaz, de jeunes étoiles, de chocs à haute énergie et de gaz surchauffés, situé à 160 000 années-lumière de nous dans le Grand Nuage de Magellan.

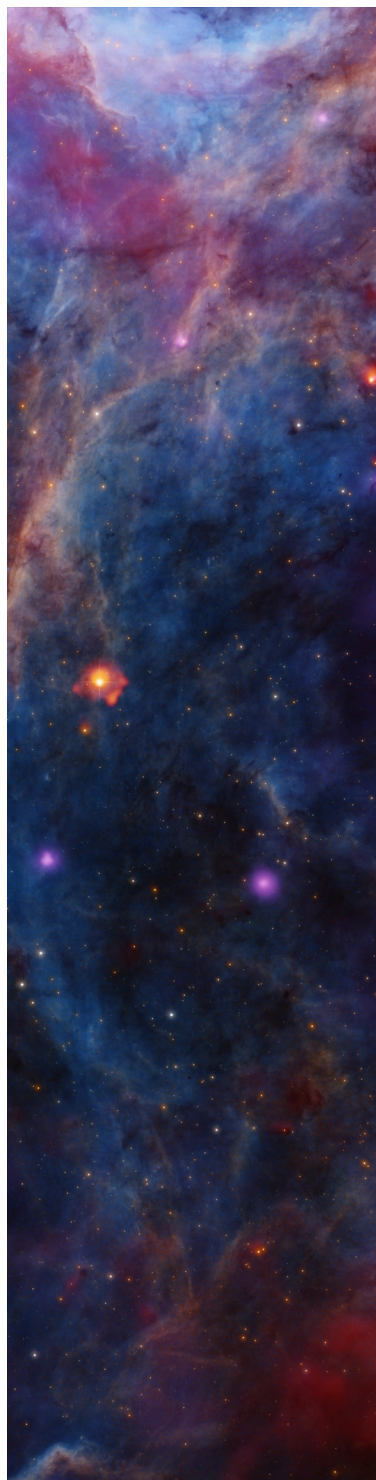
Les astronomes ont utilisé plus de deux millions de secondes de temps d'observation de Chandra pour analyser la région. Ils ont découvert une mince enveloppe émettant des rayons X et s'étendant sur environ 130 années-lumière. Les données Chandra révèlent également que 30 Dor B contient des vents de particules soufflés par un pulsar, créant ce que l'on appelle une nébuleuse de vent de pulsar.

En les combinant avec les données de Hubble et d'autres télescopes, les chercheurs ont déterminé qu'une simple explosion de supernova ne pouvait expliquer tout ce qui était observé. Le pulsar et l'intense émission X au centre de 30 Dor B résultent probablement d'une explosion de supernova après l'effondrement d'une étoile massive il y a environ 5 000 ans. Mais l'enveloppe X ténue est trop grande pour provenir de la même supernova. L'équipe pense qu'au moins deux explosions de supernovæ ont eu lieu dans 30 Dor B, l'enveloppe X étant le résultat d'une autre supernova il y a plus de 5 000 ans. Il est également fort possible que d'autres événements similaires se soient produits dans la région.

Ce résultat peut aider les astronomes à en apprendre davantage sur la vie des étoiles massives et sur les effets de leurs explosions en supernovæ.

*Image de 30 Dor B réalisée en combinant les données X de l'observatoire Chandra (violet), les données optiques du télescope Blanco de 4 mètres au Chili (orange et cyan) et les données infrarouges de l'observatoire spatial Spitzer (rouge). Les données optiques du télescope spatial Hubble ont été ajoutées en noir et blanc pour mettre en évidence les caractéristiques nettes de l'image.*

*(X-ray : NASA/CXC/Penn State Univ./L. Townsley et al. ; Optical : NASA/STScI/HST ; Infrared : NASA/JPL/CalTech/SST ; Image Processing : NASA/CXC/SAO/J. Schmidt, N. Wolk, K. Arcand)*







## ***Surprise gamma***

*Basé sur un communiqué NASA*

L'analyse de 13 années de données du télescope spatial Fermi a conduit à la découverte d'une caractéristique inattendue et encore inexpliquée de l'univers extragalactique. En effet, les astronomes ont constaté la présence d'un signal anormalement fort dans une région du ciel où ils n'attendaient rien de spécial.

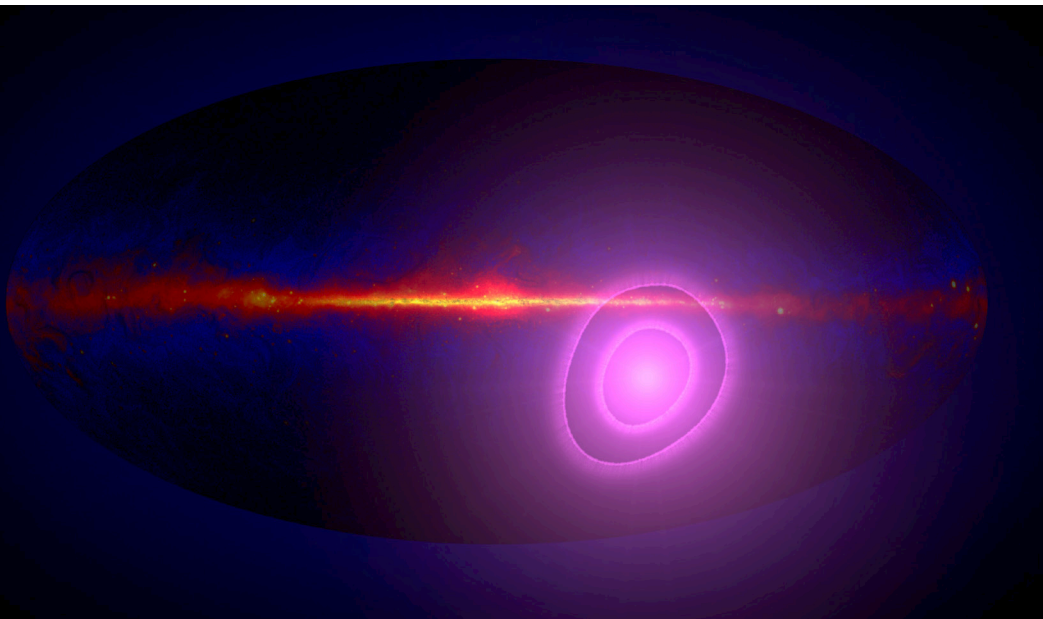
Curieusement, ce signal gamma vient de la même direction que certains des rayons cosmiques les plus énergétiques jamais détectés. L'excès d'amplitude des deux signaux est comparable.

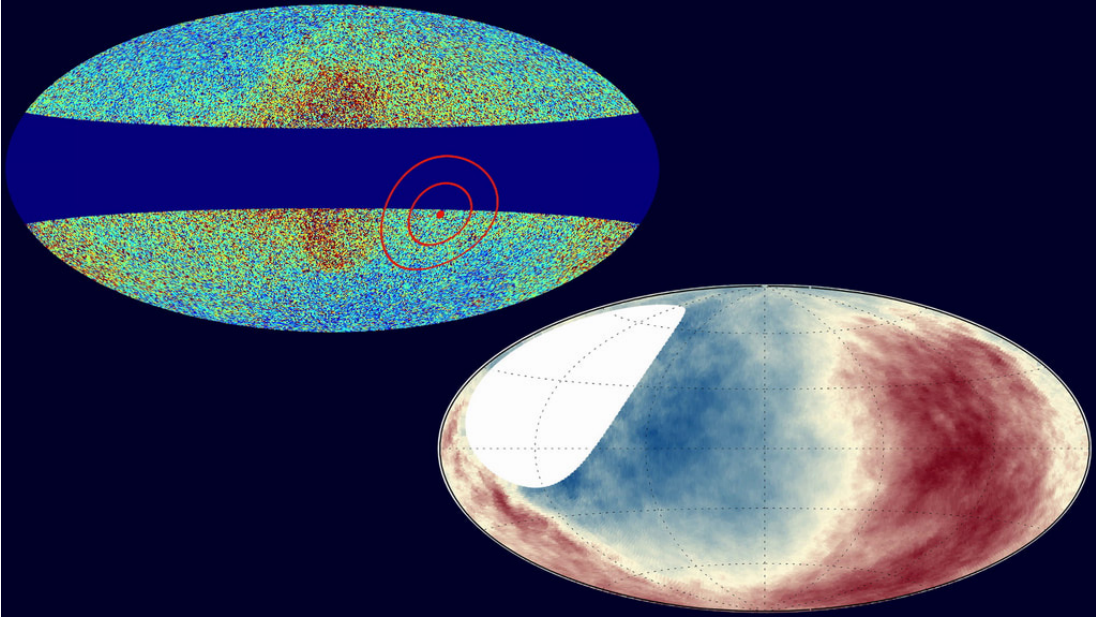
Initialement, l'équipe recherchait une caractéristique des rayons gamma liée au fond cosmique micro-ondes (CMB), la lumière la plus ancienne de l'Univers. Le CMB est apparu lorsque l'Univers s'était suffisamment refroidi pour former les premiers atomes, un événement qui a libéré les photons qui, pour la première fois, pouvaient illuminer le cosmos. Étiré par l'expansion ultérieure de l'espace

au cours des 13 derniers milliards d'années, cette lumière a été détectée en 1965 comme un faible bruit de fond micro-onde dans tout le ciel.

Dans les années 1970, les astronomes ont compris que le CMB avait une structure dipolaire, qui a ensuite été mesurée avec une grande précision par la mission COBE (Cosmic Background Explorer). Le CMB est environ 0,12% plus chaud que la moyenne du ciel vers la constellation du Lion, et plus froid dans la même proportion dans la direction opposée. Afin d'étudier les infimes variations de température du CMB, ce signal dipolaire doit être pris en compte et soustrait. Les astronomes considèrent généralement cette

*Vue d'artiste du ciel entier en rayons gamma. Les cercles magenta indiquent la zone d'où semble arriver un excès de rayons gamma de haute énergie. Dans cette vue, le plan de notre galaxie traverse le milieu de la carte.  
(NASA's Goddard Space Flight Center)*





tendance comme le résultat du mouvement du Système solaire par rapport au CMB à environ 370 kilomètres par seconde.

Ce mouvement doit donner lieu à une asymétrie, un signal dipolaire dans toute lumière provenant de l'ensemble du ciel, mais, jusqu'à présent, le CMB est le seul qui ait été mesuré avec précision. En recherchant cette tendance dans d'autres parties du spectre électromagnétique, les astronomes pourraient confirmer ou contester l'idée selon laquelle le dipôle est entièrement dû au mouvement du Système solaire.

Un désaccord avec la taille et la direction du dipôle CMB pourrait donner un aperçu des processus physiques opérant au tout début de l'Univers, peut-être même lorsqu'il avait moins d'un milliardième de seconde.

Les chercheurs estimaient qu'en additionnant plusieurs années de données du LAT (Large Area Telescope) de Fermi, qui balaye l'ensemble du ciel plusieurs fois par jour, une structure dipolaire pourrait être détectée dans les rayons gamma. Grâce aux effets de la rela-

*En haut : une carte du ciel des rayons gamma extragalactiques. La zone du plan de notre galaxie a été supprimée.*

*En bas : une carte similaire du ciel montrant la répartition des rayons cosmiques de très haute énergie détectés par l'observatoire Pierre Auger en Argentine. Le rouge indique les directions d'où arrivent un nombre de particules supérieur à la moyenne, le bleu indique les directions avec un nombre inférieur à la moyenne.*

*(Kashlinsky et al. 2024, Collaboration Pierre Auger)*

tivité, le dipôle des rayons gamma devrait être amplifié jusqu'à cinq fois par rapport au CMB.

Les scientifiques ont combiné 13 années d'observations Fermi LAT de rayons gamma de plus de 3 milliards d'électrons-volts (GeV); à titre de comparaison, la lumière visible a des énergies comprises entre environ 2 et 3 électrons-volts. Ils ont supprimé toutes les sources résolues et identifiées et ont retranché le plan central de la Voie lactée afin de

mettre en évidence le fond de rayons gamma extragalactiques.

Ils ont bien trouvé un dipôle gamma, mais son pic est situé dans le ciel du sud, loin de celui du CMB, et sa magnitude est 10 fois supérieure à ce que l'on attendait sur base du mouvement du Système solaire.

Cette asymétrie gamma ressemble étonnamment à une caractéristique observée pour les rayons cosmiques de très haute énergie. Les rayons cosmiques sont des particules chargées accélérées, principalement des protons et d'autres noyaux atomiques. Les particules les plus rares et les plus énergétiques, appelées UHECR (rayons cosmiques à ultra haute énergie), transportent plus d'un milliard de fois l'énergie des rayons gamma de 3 GeV, et leur origine reste l'un des plus grands mystères de l'astrophysique.

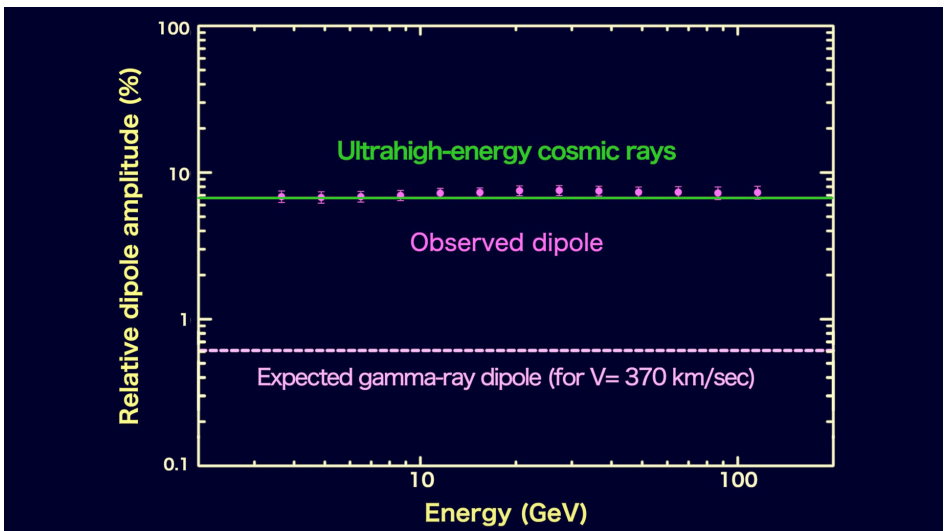
Dès 2017, l'observatoire Pierre Auger en Argentine a constaté un dipôle dans la direction d'arrivée des UHECR. Étant chargés électriquement, les rayons cosmiques sont détournés par le champ magnétique de la galaxie dans des proportions différentes en fonction de leurs énergies, mais le dipôle UHECR culmine dans un endroit du ciel semblable à ce que l'on

a trouvé dans les rayons gamma. Et les deux ont des magnitudes étonnamment similaires – environ 7% de rayons gamma ou de particules en plus que la moyenne provenant d'une direction et autant en moins arrivant de la direction opposée.

Les scientifiques pensent qu'il est probable que les deux phénomènes soient liés : des sources encore non identifiées produisent à la fois des rayons gamma et des particules à très haute énergie. Pour résoudre cette énigme cosmique, les astronomes doivent soit localiser ces sources mystérieuses, soit proposer des explications alternatives pour les deux caractéristiques.

*Les amplitudes des dipôles observés dans les rayons cosmiques (trait vert) et dans le domaine des rayons gamma (taches mauves) sont remarquablement semblables, avec un excès d'environ 7% dans une direction et un déficit équivalent dans la direction opposée. La ligne de tirets indique l'amplitude que l'on attendait (dans une autre direction) sur base du mouvement du Soleil.*

*(NASA's Goddard Space Flight Center)*



## Galaxies bâtons

Basé sur un communiqué Columbia University

Les images du télescope spatial JWST montrent que les galaxies de l'univers jeune ressemblaient plus souvent à des baguettes qu'à des pizzas ou des boules, ce qui est surprenant car cette forme est rare parmi les galaxies actuelles.

Cette constatation provient de l'étude CEERS (Cosmic Evolution Early Release Science) de galaxies qui existaient lorsque l'Univers avait entre 600 millions et 6 milliards d'années.

Toutes ne ressemblent cependant pas à des bâtons. Certaines, sphéroïdales, sont les plus petites et les moins fréquentes. D'autres, en forme de pizzas, sont aussi grandes que les galaxies baguettes. Elles sont communes dans l'univers proche, peuplé de galaxies plus anciennes et plus matures.

Selon les chercheurs, la Voie lactée était probablement du type baguette il y a des milliards d'années. Les galaxies lointaines sont

également beaucoup moins massives que les galaxies spirales et elliptiques proches : elles sont les précurseurs de galaxies massives comme la nôtre.

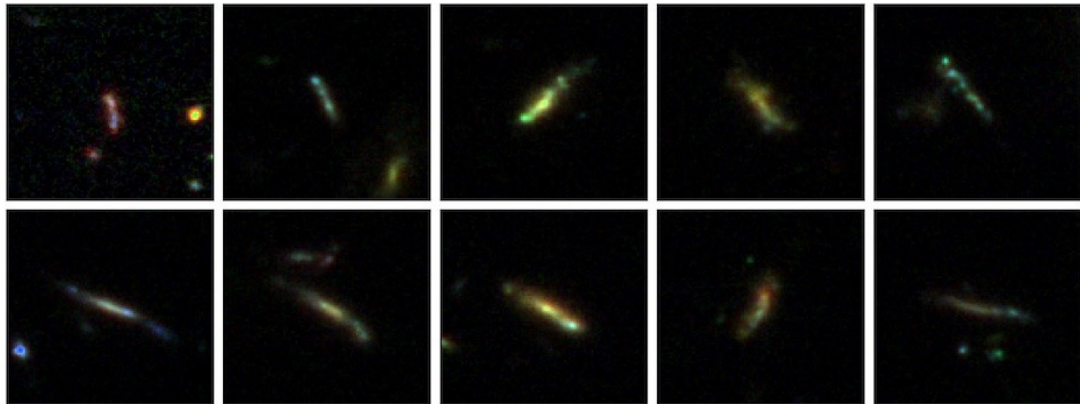
Hubble, le télescope spatial lancé en 1990, avait montré depuis longtemps un excès de galaxies allongées dans l'univers lointain, et les chercheurs attendaient les observations infrarouges du JWST pour des informations complémentaires. Webb a confirmé les résultats de Hubble pour les galaxies que tous deux ont observées. Le JWST a étendu l'étude à de nombreuses galaxies plus lointaines, le tout avec beaucoup de détails.

Une question, bien sûr, est de savoir pourquoi les premières galaxies avaient tendance à être si aplaties et allongées. Une hypothèse est que l'univers primitif aurait pu être rempli de filaments de matière noire qui

*Deux types de galaxies identifiées dans l'étude de galaxies lointaines CEERS effectuée au moyen du télescope spatial JWST.*

*(NASA, ESA, CSA, STScI, UT Austin, S. Finkelstein, M. Bagley, R. Larson)*



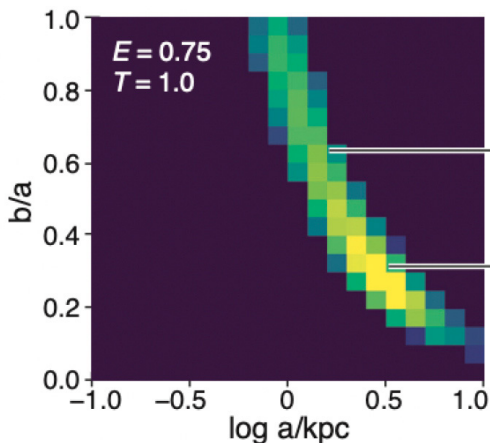


*Images de galaxies allongées à l'apparence de baguettes. Certaines d'entre elles sont peut-être des pizzas vues de profil.  
(V. Pandya et al.)*

formaient une sorte de « squelette » ou « d'autoroute cosmique » transportant du gaz et des étoiles. Ces filaments existent toujours, mais ils sont devenus beaucoup plus diffus à mesure que l'Univers s'est étendu, ils sont donc peut-être moins susceptibles de favoriser la formation de galaxies allongées.

Lorsque les chercheurs ont étudié le degré d'étirement des galaxies en fonction de leur taille, plus spécifiquement le rapport entre la longueur des axes en fonction de celle du grand axe, ils ont obtenu des diagrammes ressemblant à des bananes. Les bananes sont une autre façon de dire que ces galaxies intrinsèquement allongées semblent être les galaxies dominantes au cours des 4 premiers milliards d'années de l'Univers.

Il existe encore des lacunes dans nos connaissances. Les chercheurs ont non seulement besoin d'un échantillon encore plus grand du JWST pour affiner davantage les propriétés et les emplacements précis des galaxies lointaines, mais ils devront également consacrer beaucoup de temps à peaufiner et à mettre à jour leurs modèles pour mieux refléter la géométrie précise des galaxies lointaines.



*Graphique « en banane » montrant le rapport du petit au grand axe des galaxies.  
(Pandya et al.)*



## **Trou noir ou étoile à neutrons**

*Basé sur un communiqué University of Manchester*

Les astronomes ont découvert dans la Voie lactée un astre plus massif que les étoiles à neutrons les plus massives connues et pourtant moins massif que les trous noirs les moins massifs connus. Le radiotélescope MeerKAT a en effet révélé un objet en orbite autour d'un « pulsar milliseconde » en rotation rapide distant d'environ 40 000 années-lumière dans l'amas globulaire NGC 1851 situé dans la constellation australe de la Colombe.

En utilisant les battements du pulsar, ils ont montré que l'objet massif se trouvait dans le « gap » de masse des trous noirs.

Il pourrait s'agir de la découverte d'une paire constituée d'un pulsar radio et d'un trou noir, une combinaison très convoitée par les astronomes et qui pourrait permettre de nouveaux tests de la relativité générale d'Einstein, et ouvrir des portes à l'étude des trous noirs. Un tel système permettrait de tester les théories de la gravité, tandis qu'une étoile à neutrons massive fournirait de nouvelles perspectives en physique nucléaire à très hautes densités.

*Vue d'artiste du système en supposant que le compagnon massif du pulsar est un trou noir. L'étoile brillante représente ce pulsar, dénommé PSR J0514-4002E. Les deux objets sont séparés de 8 millions de kilomètres et complètent leur mouvement orbital en 7 jours.*

*(D. Futselaar/artsource.nl)*

Lorsqu'une étoile à neutrons – les restes ultra-denses d'une étoile morte – acquiert trop de masse, généralement en consommant ou en entrant en collision avec une autre étoile, elle s'effondre. La suite du processus est sujette à de nombreuses spéculations, mais l'effondrement pourrait conduire à la formation d'un trou noir. Les astronomes estiment que la masse totale nécessaire à l'effondrement d'une étoile à neutrons est 2,2 fois supérieure à celle du Soleil. D'autre part, la théorie, étayée par l'observation, nous enseigne que les trous noirs les moins massifs créés par ces étoiles sont beaucoup plus grands, environ cinq fois plus que le Soleil.

La nature d'objets compacts situés dans cet intervalle de masse est inconnue et une étude détaillée s'est jusqu'à présent révélée difficile. La nouvelle découverte pourrait aider à enfin les comprendre.

L'amas globulaire NGC 1851 est un ensemble dense d'étoiles anciennes. La concentration y est telle que des étoiles peuvent interagir les unes avec les autres, perturbant leurs orbites et, dans les cas les plus extrêmes, entrant en collision. Les astronomes pensent que c'est l'une de ces collisions entre deux étoiles à neutrons qui aurait créé l'objet massif qui orbite actuellement autour du pulsar radio.

Les observations, faites dans le cadre de la collaboration TRAPUM (Transients and Pulsars with MeerKAT) montrent que le pulsar tourne plus de 170 fois par seconde, chaque rotation produisant une impulsion rythmique, comme le tic-tac d'une horloge. En observant les variations infimes de la fréquence de ces

pulsations, le mouvement orbital a pu être déterminé avec précision. Il est apparu que l'objet en orbite avec le pulsar n'est pas une étoile normale mais un reste extrêmement dense d'une étoile effondrée. Les observations ont également montré qu'il a une masse à la fois plus grande que celle de n'importe quelle étoile à neutrons connue et pourtant plus petite que celle de n'importe quel trou noir connu, le plaçant carrément dans le gap des trous noirs.

Bien que les chercheurs ne puissent encore choisir entre étoile à neutrons massive ou trou noir le plus léger connu, voire même une variante exotique d'étoile, il semble bien qu'ils ont découvert un laboratoire unique pour sonder les propriétés de la matière sous les conditions les plus extrêmes dans l'Univers.

*L'équipe a utilisé le radiotélescope sensible MeerKAT, situé dans le semi-désert du Karoo en Afrique du Sud.  
(D. Futselaar/artsourcel.nl, SARAO)*





## Bêta Pictoris

Basé sur un communiqué NASA/Webb

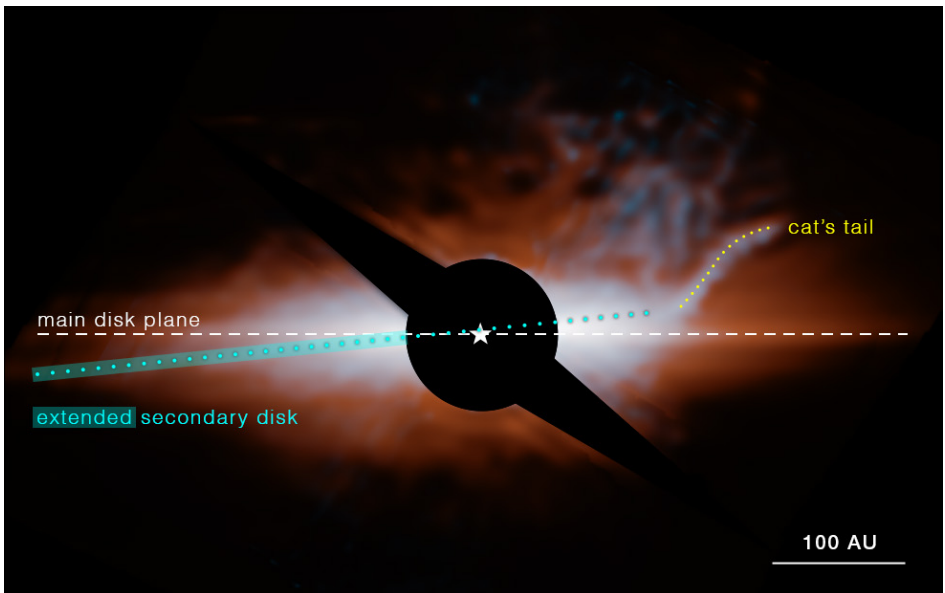
Bêta Pictoris, un jeune système planétaire distant de seulement 63 années-lumière, continue d'intriguer les scientifiques après des décennies d'études approfondies. Autour de lui tourne le premier disque de poussières jamais observé autour d'une autre étoile, résultat des collisions entre astéroïdes, comètes et planétésimaux.

Les observations du télescope spatial Hubble avaient ensuite révélé un deuxième disque, plus petit et incliné par rapport au premier. Maintenant, le télescope spatial JWST a mis en évidence une nouvelle structure au cours d'une étude de ces deux disques : un nuage de poussière, évoquant la queue d'un chat, qui s'étend depuis la partie sud-ouest du disque de débris secondaire.

Bêta Pictoris est une cible idéale pour les astronomes. L'étoile est très brillante et proche, ce qui facilite son étude. L'environnement circumstellaire est complexe avec un disque à plusieurs composants, des exocomètes et deux exoplanètes que l'on a pu photographier.

Même avec le JWST, observer Bêta Pic dans la bonne plage de longueurs d'onde – dans ce cas,

*Cette image du MIRI (Mid-Infrared Instrument) de Webb montre le système stellaire Bêta Pictoris. Un disque de débris poussiéreux généré par des collisions entre planétésimaux (orange) domine la vue et est étiqueté « plan du disque principal ». Alors qu'un disque secondaire (cyan), incliné de 5 degrés par rapport au disque principal, était déjà connu, le JWST en a montré la véritable étendue. Webb a également détecté une caractéristique inédite, la « queue de chat ». Un coronographe (ombre noire centrale) a été utilisé pour bloquer la lumière de l'étoile. Une barre d'échelle montre que les disques de Bêta Pic s'étendent sur des centaines d'unités astronomiques. (Dans le Système solaire, Neptune orbite à 30 UA du Soleil.) Dans cette image, la lumière à 15,5 microns est colorée en cyan et celle à 23 microns en orange. (NASA, ESA, CSA, STScI, C. Stark/NASA-GSFC, K. Lawson/NASA-GSFC, J. Kammerer/ESO, M. Perrin/STScI)*



l'infrarouge moyen – était crucial pour détecter la queue de chat, car elle n'apparaissait que dans les données MIRI. Les données dans l'infrarouge moyen de Webb ont révélé des différences de température entre les deux disques de Bêta Pic, probablement dues à des différences de composition.

MIRI a clairement montré que le matériau du disque secondaire et de la queue de chat est plus chaud que celui du disque principal. La poussière qui forme le disque et la queue est très sombre dans le domaine visible, mais brille dans l'infrarouge moyen.

Pour expliquer la température plus élevée, l'équipe a déduit que la poussière pourrait être un matériau réfractaire organique très poreux, semblable à la matière trouvée à la surface des comètes et des astéroïdes du Système solaire. Par exemple, une analyse préliminaire du matériau échantillonné sur l'astéroïde Bennu par la mission OSIRIS-REx de la NASA a révélé qu'il était très sombre et riche en carbone, un peu comme ce que MIRI a détecté autour de Bêta Pic.

Cependant, une question majeure demeure : qu'est-ce qui pourrait expliquer la forme de la queue de chat, incurvée et unique parmi les disques circumstellaires ?

Les chercheurs ont modélisé divers scénarios pour tenter d'imiter la queue et de découvrir ses origines. Bien que des recherches et des tests supplémentaires soient nécessaires, il ressort une hypothèse solide selon laquelle la queue serait le résultat d'un événement générateur de poussière survenu il y a à peine cent ans.

Quelque chose comme une collision a dû se produire, et beaucoup de poussières ont été émises. Au début, la poussière a poursuivi le mouvement orbital de sa source, puis elle s'est mise à se diffuser. La pression de la lumière de l'étoile a éloigné plus

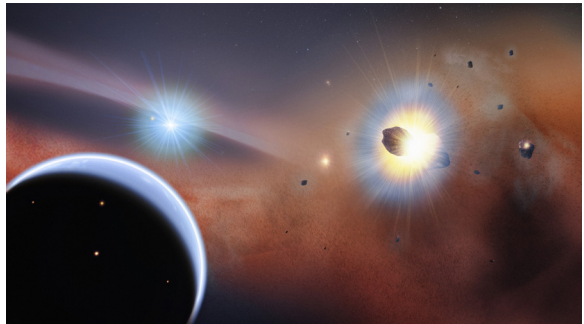
rapidement les particules de poussière les plus petites et les plus floconneuses créant une longue vrille de poussière.

La forme allongée est très inhabituelle, et en reproduire la courbure avec un modèle dynamique a été difficile. Le modèle nécessite de la poussière qui peut être expulsée du système extrêmement rapidement, ce qui suggère encore une fois qu'elle est constituée d'un matériau réfractaire organique.

Le modèle préféré de l'équipe explique l'angle de la queue par rapport au disque comme une simple illusion d'optique. Notre perspective combinée à la forme incurvée donne l'angle observé, alors qu'en fait, l'arc de matière ne s'écarte du disque que de cinq degrés. En prenant en compte la luminosité de la queue, l'équipe estime que la quantité de poussière qu'elle contient est équivalente à celle d'un grand astéroïde de la ceinture principale, mais répartie sur 10 milliards de kilomètres.

Un récent événement de production de poussière au sein des disques de débris de Bêta Pic pourrait également expliquer l'extension asymétrique observée récemment du disque interne, comme le montrent les données MIRI, et visible uniquement du côté opposé à la queue. La production de poussière par la collision pourrait également expliquer une caractéristique repérée par ALMA en 2014 : un amas de monoxyde de carbone (CO) situé près de la queue de chat. Étant donné que le rayonnement de l'étoile devrait décomposer le CO d'ici environ cent ans, cette concentration de gaz encore présente pourrait être une preuve persistante du même événement.

*Vue d'artiste du système de Bêta Pic.  
(NASA's Goddard Space Flight Center/F. Reddy)*



## Gaz carbonique

Basé sur un communiqué University of Utah

La concentration du dioxyde de carbone dans notre atmosphère n'a jamais été aussi élevée (environ 420 ppm) qu'actuellement depuis 14 millions d'années, une situation que nous devons aux émissions de combustibles fossiles et qui modifie le climat de la Terre.

Pour arriver à cette conclusion, les scientifiques examinent toute une série de marqueurs dans les archives géologiques qui offrent des indices sur le contenu des atmosphères anciennes. Une première étude a été publiée récemment qui reconstitue les concentrations de CO<sub>2</sub> au Cénozoïque, l'ère qui a commencé avec la disparition des dinosaures et l'essor des mammifères il y a 65 millions d'années.

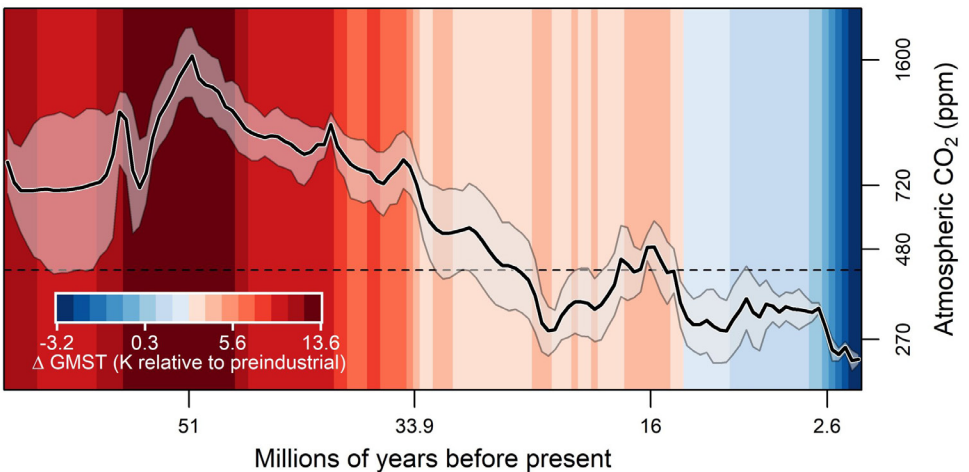
Le gaz carbonique présent dans les bulles d'air des glaciers donne l'occasion d'effectuer une analyse directe de cette concentration mais cela ne permet pas de remonter à plus de 800 000 ans. Au-delà il faut recourir à des méthodes indirectes telles que les isotopes des minéraux, la morphologie des feuilles fossilisées et d'autres preuves géologiques qui reflètent la chimie atmosphérique. Ainsi, par exemple, les isotopes du carbone dans les sols

anciens sont révélateurs des niveaux passés de CO<sub>2</sub>.

La nouvelle recherche est un effort international visant à reconstituer la teneur en gaz carbonique depuis 540 millions d'années, l'aube de la vie complexe.

Au début de la révolution industrielle – lorsque les hommes ont commencé à brûler du charbon, puis du pétrole et du gaz pour alimenter leurs économies – le CO<sub>2</sub> atmosphérique était présent à raison d'environ 280 ppm. Sa concentration devrait grimper jusqu'à 600 à 1000 ppm d'ici 2100, en fonction du taux d'émission futur.

*Concentration atmosphérique du dioxyde de carbone, exprimée en parties par million (ppm), tout au long de l'ère cénozoïque, soit depuis 65 millions d'années. Il s'agit d'estimations basées sur des proxys codés dans les archives géologiques. Les barres de couleur représentent la température globale reconstruite à partir de données proxy indépendantes. La ligne pointillée représente la concentration actuelle de CO<sub>2</sub> à 420 ppm. La remontée qui mène à cette valeur est trop brutale pour être montrée ici : moins d'un micron sur l'échelle du temps !*  
(Gabe Bowen, University of Utah).



On ne sait pas exactement comment ces niveaux élevés influenceront le climat. Mais disposer d'un historique fiable des valeurs passées pourrait aider les scientifiques à prédire avec plus de précision le changement climatique, en particulier les processus et composants clés du système Terre que nous devons appréhender pour projeter la vitesse et l'ampleur du changement climatique.

Autrefois, lorsque la Terre était un endroit beaucoup plus chaud, les niveaux de CO<sub>2</sub> étaient beaucoup plus élevés qu'aujourd'hui. Pourtant, les 420 ppm enregistrés aujourd'hui représentent un pic abrupt et probablement dangereux, sans précédent dans l'histoire géologique récente.

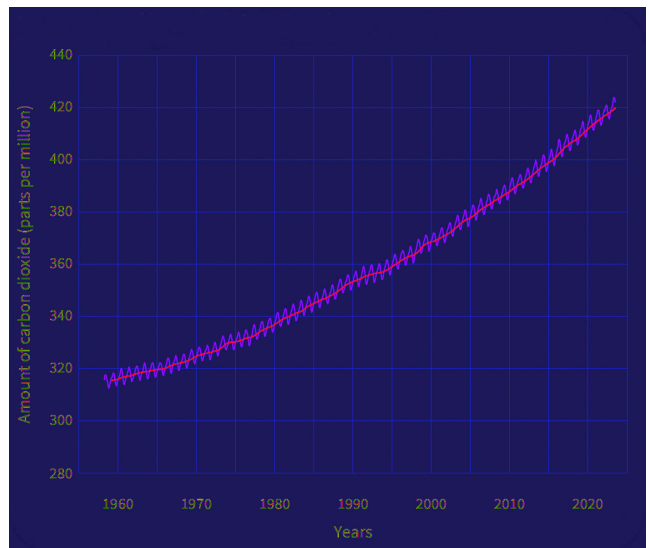
L'activité humaine a considérablement modifié l'atmosphère en l'espace de quelques générations. En conséquence, les systèmes climatiques du monde entier montrent des signes alarmants de perturbation, tels que de violentes

tempêtes, des sécheresses prolongées, des vagues de chaleur mortelles ou l'acidification des océans.

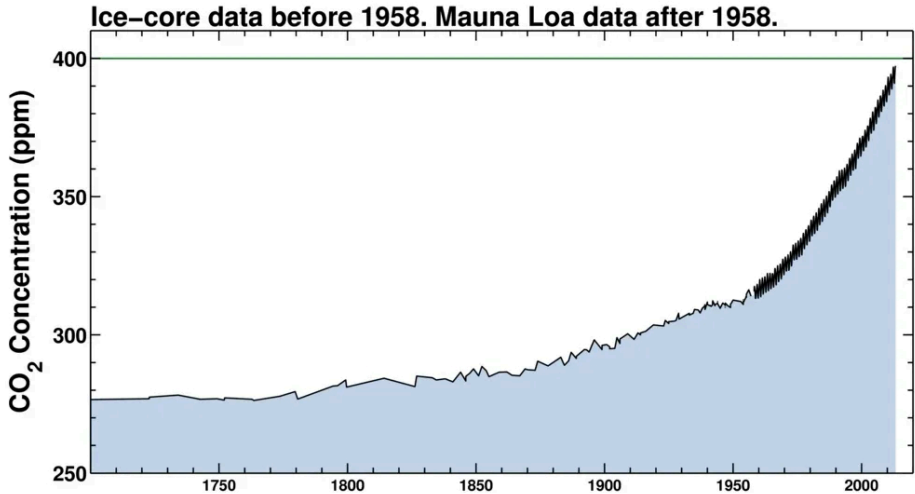
Une bonne compréhension de la variation du gaz carbonique dans l'atmosphère au cours des temps géologiques est également essentielle pour déchiffrer diverses caractéristiques de l'histoire de la Terre. Ces changements ont probablement contribué à des extinctions massives, ainsi qu'à des innovations évolutives.

Au cours du Cénozoïque, par exemple, les baisses à long terme du CO<sub>2</sub> et le refroidissement climatique associé peuvent avoir entraîné des changements dans la physiologie des plantes, la compétition et la dominance des espèces, ce qui a eu un impact sur l'évolution des mammifères. Une bonne connaissance des tendances passées du dioxyde de carbone est donc essentielle pour comprendre comment les espèces et les écosystèmes modernes sont apparus et pourraient se comporter à l'avenir.

*L'enregistrement moderne des niveaux de dioxyde de carbone atmosphérique a commencé avec des observations enregistrées à l'observatoire Mauna Loa à Hawaï. Ce graphique montre les mesures mensuelles moyennes de dioxyde de carbone de la station depuis 1958 en parties par million (ppm). Le cycle saisonnier (les vaguelettes) est déterminé par la croissance de la végétation estivale de l'hémisphère Nord, qui diminue la concentration, et par la décomposition hivernale, qui l'augmente. La tendance à long terme à l'augmentation des niveaux de dioxyde de carbone est motivée par les activités humaines. Au Mauna Loa, la valeur mensuelle la plus élevée de chaque année se produit en mai. En mai 2023, le dioxyde de carbone a atteint 424 ppm, un nouveau record.*



(NOAA Global Monitoring Lab, Launa Loa).



▲ *Données couvrant toute la période industrielle. L'augmentation du niveau de gaz carbonique est visible dès le début du XIX<sup>e</sup> siècle. Avant les mesures du Mauna Loa, les concentrations étaient obtenues à partir de bulles d'air piégées dans des glaces. (Scripps Institution of Oceanography of the University of California)*

▼ *La retraite des glaciers, favorisée précisément par l'accroissement de la teneur en gaz carbonique de l'air, limite de plus en plus la possibilité d'étudier l'atmosphère ancienne. On voit ici la limite de la calotte glaciaire du Groenland, où la fonte récente a laissé le sol nu. (Kevin Krajick, Université de Columbia)*

