

Astronomie dans le monde



Naines blanches

Basé sur un communiqué RAS

Actuellement, le Soleil brûle l'hydrogène de son noyau, mais une fois cet hydrogène épuisé, notre étoile gonflera démesurément, deviendra une géante rouge, avant de s'effondrer en naine blanche, l'état final de la plupart des étoiles lorsqu'elles auront brûlé tout leur carburant. Mais qu'advient-il alors des planètes et autres petits corps qui gravitent autour d'elles ?

Le sort de ces objets risque d'être extrêmement violent et catastrophique. Les chercheurs sont arrivés à cette conclusion après avoir analysé toute une série de transits dans les courbes de lumière de diverses naines blanches.

Des recherches antérieures ont montré que lorsque des astéroïdes, des lunes ou des planètes s'approchent de naines blanches, l'énorme gravité de ces étoiles les déchiquette en morceaux de plus en plus petits. Les collisions entre ces morceaux finissent par les réduire en poussières, qui tombent ensuite dans la naine blanche. La signature de ces « polluants » est visible dans le spectre des étoiles

Illustration d'une naine blanche entourée des débris d'un planétésimal tournant sur une orbite excentrique. En transitant devant l'étoile, les nuages de poussière provoquent des affaiblissements irréguliers de sa luminosité.

(M. Garlick/U. Warwick; CC BY 4.0)

ce qui permet de déterminer de quel type de matériau les corps planétaires d'origine étaient constitués.

Contrairement aux transits réguliers et prévisibles provoqués par les planètes en orbite autour d'étoiles, les transits provoqués par des débris ont des formes étranges, chaotiques et désordonnées. Les scientifiques ont analysé les changements dans la luminosité des étoiles pendant 17 ans, donnant ainsi un aperçu de la manière dont ces corps sont perturbés. Ils se sont concentrés sur trois naines blanches différentes qui se comportaient toutes très diversement. Le sort de ces systèmes est bien plus complexe qu'on ne l'imaginait. L'étude révèle que le comportement de ces systèmes peut évoluer rapidement, en quelques années.

La première naine blanche étudiée (ZTF J0328-1219) semblait stable et se « comportant bien » au cours des dernières années, mais

les chercheurs ont trouvé les preuves d'un événement catastrophique majeur vers 2010.

Une autre étoile (ZTF J0923+4236) s'assombrit de manière irrégulière tous les deux mois et présente une variabilité chaotique sur des échelles de temps de quelques minutes au cours de ces états plus faibles, avant de reprendre son éclat initial.

En 2015, des astronomes avaient constaté que la troisième naine blanche analysée (WD 1145+017) se comportait de manière proche des prédictions théoriques, avec de grandes variations dans la fréquence, la forme et la profondeur des transits. Étonnamment, les transits étudiés dans cette recherche ont désormais disparu. La poussière produite par les collisions catastrophiques survenues autour de 2015 semble donc se disperser.

En se basant sur l'échantillon connu de naines blanches montrant le transit de débris, les chercheurs estiment qu'un comportement photométrique du même genre pourraient être détecté chez une naine blanche sur quelques centaines. Compte tenu de la géométrie requise pour détecter les transits, ils concluent qu'une fraction substantielle de toutes les naines

blanches présentant une pollution métallique photosphérique provenant de débris accrétés héberge des planétésimaux proches qui sont actuellement en cours de désintégration.

Quant à la Terre, elle ne verra pas le Soleil devenir naine blanche. Elle sera probablement engloutie par lui dans sa phase d'expansion. Les corps plus lointains, certains des astéroïdes situés entre Mars et Jupiter, et peut-être certaines des lunes de Jupiter, pourraient survivre à la phase géante, être délogés et se rapprocher suffisamment de l'éventuelle naine blanche pour subir le processus de déchiquetage décrit dans cette étude.

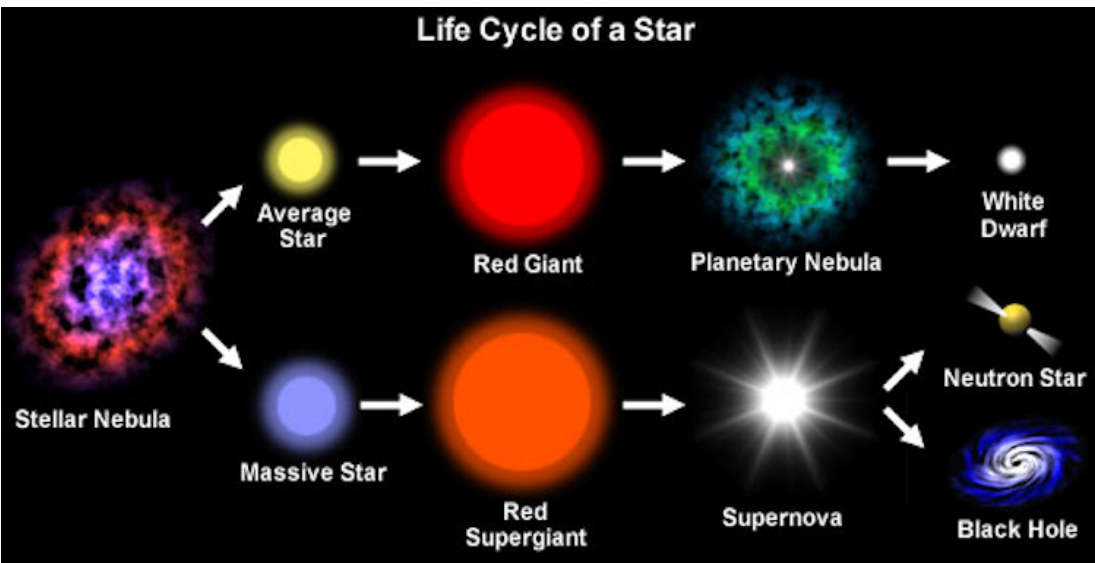
Scénarios possibles pour la vie d'une étoile.

La séquence du haut concerne la grande majorité des étoiles. Après une longue période sur la séquence principale une brève phase d'expansion précède l'effondrement en naine blanche.

Les étoiles massives (en bas) explosent carrément après une courte vie et leur noyau s'effondre encore plus, donnant naissance à une étoile à neutrons ou un trou noir.

(NASA/CXC/SAO, CC0)

Life Cycle of a Star



GRB 221009A, un sursaut gamma record

Basé sur un communiqué Northwestern University

En octobre 2022, les chercheurs ont observé un sursaut gamma d'une intensité inégalée, GRB 221009A. Une étude basée sur des observations du JWST confirme que le phénomène responsable de l'explosion historique – surnommé BOAT (« le plus brillant de tous les temps ») – est l'effondrement et l'explosion subséquente d'une étoile massive. En même temps l'étude soulève un autre problème.

L'origine des éléments lourds, tels que le platine et l'or, est l'une des plus grandes questions ouvertes de l'astronomie. Les chercheurs pensaient que ces éléments pourraient se trouver dans la supernova. Cependant, les observations n'ont pas permis d'en trouver la trace, ce qui suggère que les sursauts gamma extrêmement énergétiques comme le BOAT n'en produisent pas. Cela ne veut pas dire que c'est le cas pour tous les sursauts gamma. De futures observations avec le JWST pourraient déterminer si les cousins « normaux » du BOAT fabriquent des éléments lourds.

Vue d'artiste de GRB 221009A montrant les restes d'une supernova et les jets relativistes étroits émergeant du trou noir nouvellement formé.

(A.M. Geller/Northwestern/CIERA/IT Research Computing and Data Services)

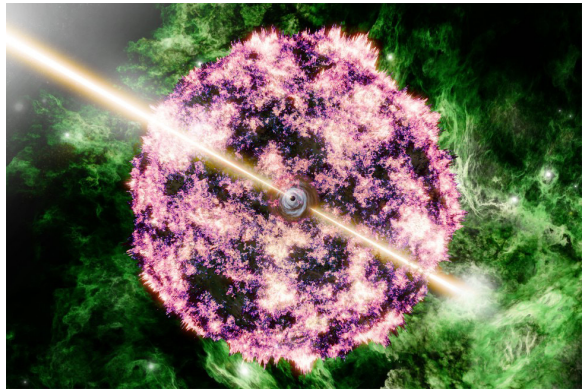
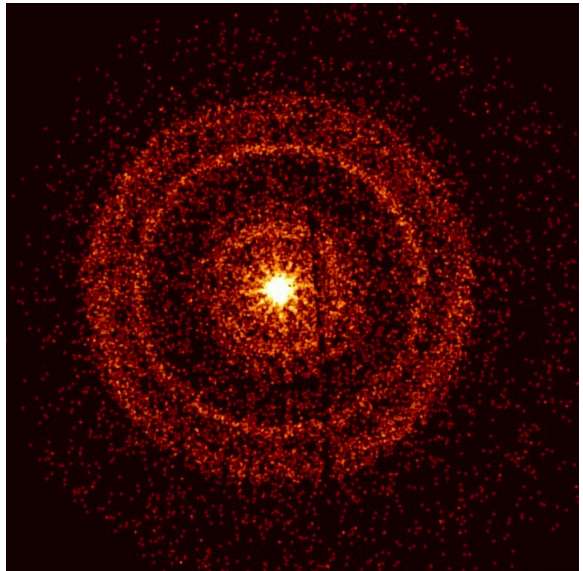


Image X par le télescope spatial Swift de GRB 221009A une heure après sa découverte. Les anneaux proviennent de la diffusion par des nuages de poussière situés sur le chemin des photons.
(NASA/Swift/A. Beardmore/University of Leicester)



Les courants galactiques Shakti et Shiva

Basé sur un communiqué ESA

Le télescope spatial Gaia de l'ESA a permis la découverte dans la Voie lactée de deux courants stellaires qui se sont formés il y a plus de 12 milliards d'années. Dénommés Shakti et Shiva, ces courants sont si anciens qu'ils précèdent probablement la formation du disque de la galaxie.

La Voie lactée a tellement changé depuis cette époque que les astronomes n'imaginaient pas pouvoir reconnaître aussi clairement ces populations d'étoiles en tant que groupe.

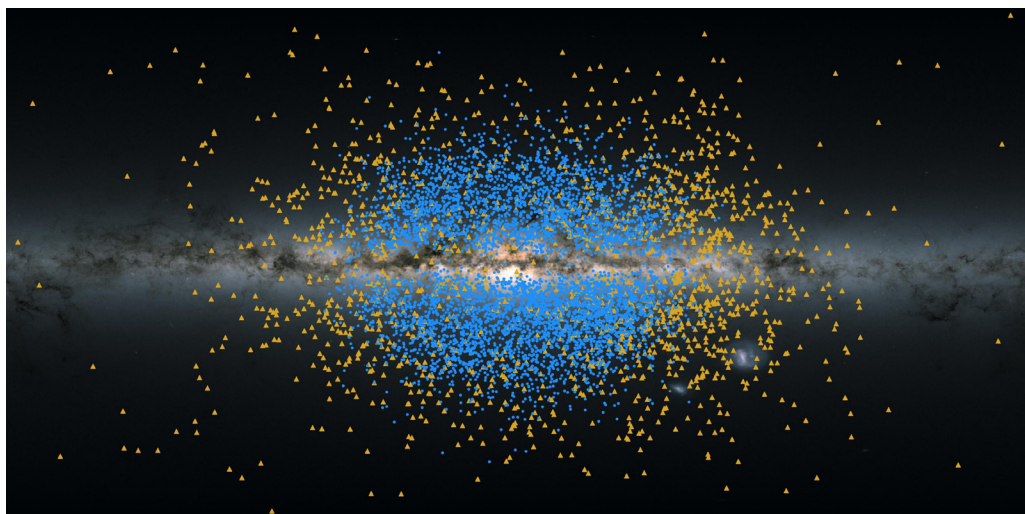
Grâce aux observations de Gaia, les chercheurs ont pu déterminer les orbites d'étoiles individuelles dans la Voie lactée, ainsi que leur contenu et leur composition. La visualisation de ces orbites a révélé deux structures qui se démarquent par leur composition chimique. Chacune contient la masse d'environ 10 millions de Soleils, avec des étoiles âgées de 12 à 13 milliards d'années se déplaçant toutes sur des orbites très similaires avec des compositions comparables. Ces courants pourraient s'être formés comme des entités distinctes qui ont fusionné avec la Voie lactée au début

de sa vie. Ils se trouvent au cœur de la Voie lactée, une région explorée par Gaia en 2022 et qui s'était avérée peuplée des étoiles les plus anciennes de toute la Galaxie, toutes nées avant même que le disque de la Voie lactée ne se soit formé.

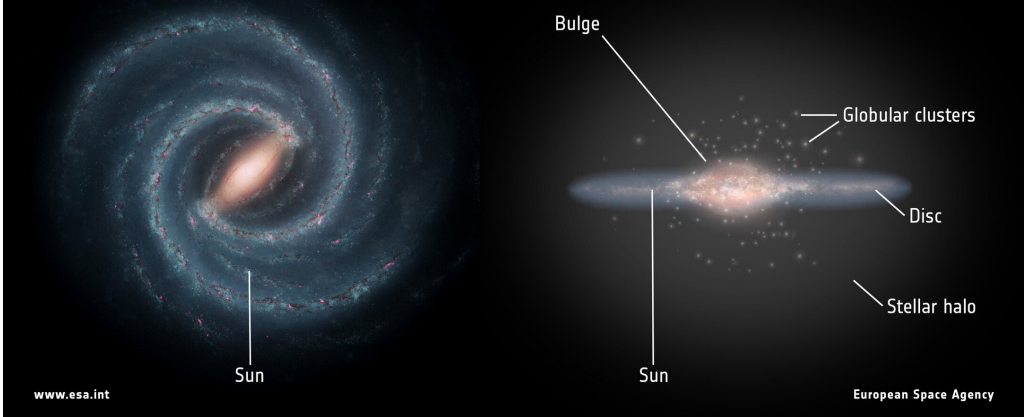
Les étoiles y sont si anciennes qu'il leur manque bon nombre des éléments métalliques les plus lourds créés plus tard au cours de la vie de l'Univers. Ces métaux lourds sont forges dans les étoiles et dispersés dans l'espace lorsqu'elles meurent.

Les courants Shakti et Shiva ont contribué à bâtir la Voie lactée. Ils se sont probablement formés avant même les parties les plus anciennes des bras et du disque. Cette image montre l'emplacement et la répartition des étoiles de Shakti (en jaune) et de Shiva (en bleu) dans la Voie lactée.

Ces courants ont été découverts grâce à Gaia. Les observations du satellite ont permis de déterminer le contenu et la composition des étoiles individuelles, ce qui a révélé davantage de leurs propriétés et montré leurs mouvements dans l'espace. (ESA/Gaia/DPAC/K. Malhan, CC BY-SA 3.0)



→ ANATOMY OF THE MILKY WAY



Vue d'artiste de la Voie lactée, une spirale barrée vieille d'environ 13 milliards d'années, qui abrite quelques centaines de milliards d'étoiles.

À gauche, une vue de face montre la structure en spirale du disque galactique, où se trouvent la majorité des étoiles, entrecoupée d'un mélange diffus de gaz et de poussières. Le disque mesure environ 100 000 années-lumière et le Soleil se situe à mi-chemin entre son centre et sa périphérie.

À droite, une vue de profil révèle la forme aplatie du disque. Les observations indiquent une sous-structure : un disque mince d'environ 700 années-lumière d'épaisseur, noyé dans un disque épais d'environ 3 000 années-lumière de haut et peuplé d'étoiles plus anciennes.

Le renflement galactique, situé au centre, héberge quelque 10 milliards d'étoiles, principalement vieilles et rouges. Le renflement, également visible de face à gauche, a une forme allongée, une « barre » d'environ 20 000 années-lumière, faisant de la Voie lactée une spirale barrée. Au-delà du disque et du renflement se trouve le halo stellaire, une structure à peu près sphérique d'un rayon d'environ 100 000 années-lumière, contenant des étoiles isolées ainsi que de nombreux amas globulaires – de grands conglomerats compacts de certaines des étoiles les plus anciennes de la Galaxie. À plus grande échelle, la Voie lactée est intégrée dans un halo encore plus grand de matière noire invisible.

(NASA/JPL-Caltech, ESA, ATG)

Bien que très similaires, les deux flux ne sont pas identiques. Les étoiles Shakti gravitent un peu plus loin du centre de la Voie lactée et sur des orbites plus circulaires que les étoiles Shiva. C'est fort à propos que les groupes portent les noms d'un couple divin de la philosophie hindoue qui s'unit pour créer le cosmos.

Il y a environ 12 milliards d'années, la Voie lactée était très différente de la spirale ordonnée que nous observons aujourd'hui. Les astronomes pensent qu'elle s'est formée par l'agrégation de multiples filaments de gaz et de poussières, donnant naissance à des étoiles. Il semble que Shakti et Shiva soient deux de ces composants.

Les chercheurs ont construit une carte d'autres composants connus qui ont joué un rôle dans la formation de notre galaxie et qui ont été découverts à l'aide des données Gaia. Ceux-ci incluent Gaia-Sausage-Encelade, LMS1/Wukong, Arjuna/Sequoia/T'itoi et Pontus. Ces groupes d'étoiles font tous partie de l'arbre généalogique complexe de la Voie lactée, quelque chose que Gaia a travaillé à construire au cours de la dernière décennie.

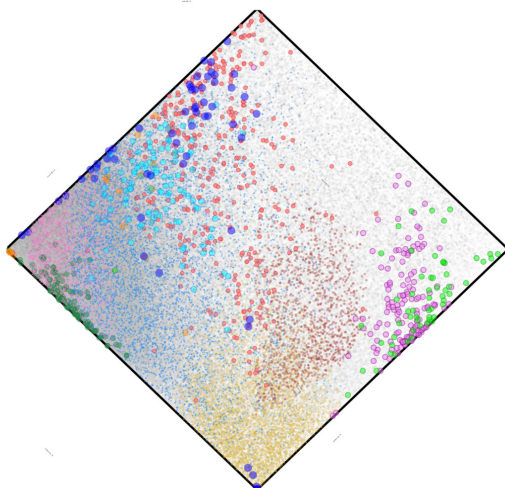
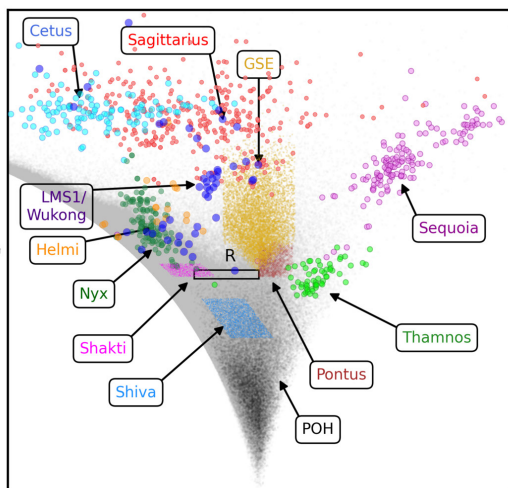
Révéler davantage sur les débuts de notre galaxie est l'un des objectifs de Gaia.

Il est nécessaire d'identifier les différences subtiles mais cruciales entre les étoiles de la Voie lactée pour comprendre comment notre galaxie s'est formée et a évolué. Cela nécessite des données très précises – et désormais, grâce à Gaia, on dispose de ces données. On peut ainsi découvrir des structures surprenantes de notre galaxie, comme les courants Shiva et Shakti, et dresser un tableau plus complet non seulement de notre maison actuelle, mais aussi de son histoire.

La Voie lactée a un passé compliqué. Notre galaxie est constituée d'étoiles arrivées à différents moments de l'histoire cosmique, lorsqu'une galaxie ou un autre objet est entré en collision avec la Voie lactée. On voit ici quelques-unes de ces populations stellaires, chaque couleur représentant des étoiles qui ont rejoint la Voie lactée lors de collisions différentes. Deux de ces éléments, les courants Shakti (rose) et Shiva (bleu pâle), ont été récemment découverts grâce à Gaia.

Les images montrent différents types d'informations sur les étoiles, les unes par rapport aux autres – des informations liées à leur énergie et à leur mouvement – pour créer les formes d'éventail et de losange présentées ici.

La boîte rectangulaire intitulée « R » représente une « structure en forme de crête ».
(ESA/Gaia/DPAC/K. Malhan et coll. 2024, CC BY-SA 3.0)



Un nouvel astéroïde troyen pour Mars

Basé sur un communiqué IAC

Les observations réalisées avec le Gran Telescopio Canarias (GTC) ont confirmé que l'astéroïde 2023 FW14, découvert l'année dernière, accompagne la Planète rouge, la précédant sur son orbite autour du Soleil. Avec ce nouveau membre, le groupe des Troyens qui accompagnent Mars est passé à 17. La Planète rouge est celle qui compte le plus grand nombre de Troyens connus, après Jupiter (cf *Le Ciel* 83, 2021, 27).

Les astéroïdes troyens occupent l'un des points d'équilibre stable appelés points de Lagrange, situés à 60° devant (L_4) et à 60° derrière (L_5) la planète.

Pour l'objet 2023 FW14, les simulations numériques ont confirmé qu'il s'agit d'un Troyen L_4 . Il s'agit du deuxième de ce type, avec l'astéroïde 1999 UJ7.

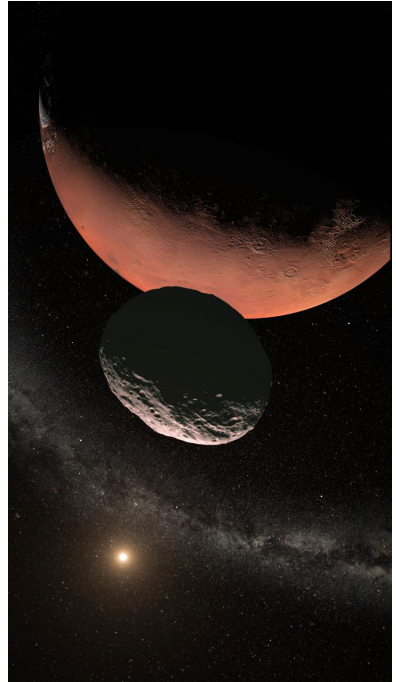
Bien que la majorité des astéroïdes martiens semblent avoir accompagné la planète depuis l'époque de sa formation, 2023 FW14 est arrivé sur sa trajectoire troyenne il y a environ un million d'années, et il pourrait la quitter dans environ 10 millions d'années selon les calculs. L'orbite du nouveau n'est pas stable. Il y a deux possibilités quant à son origine : il pourrait s'agir d'un fragment du Troyen 1999 UJ7, ou il pourrait avoir été capturé dans la population d'astéroïdes proches de la Terre qui croisent l'orbite de Mars.

Le spectre obtenu avec le GTC a permis aux chercheurs de déterminer la composition chimique de 2023 FW14, montrant de nouvelles différences par rapport au reste des Troyens martiens.

Bien que le spectre du 2023 FW14 obtenu avec le GTC soit quelque peu différent de 1999 UJ7, tous deux appartiennent au même groupe de composition, ce sont des astéroïdes de type primitif, contrairement aux Troyens L_5 , tous rocheux et riches en silicates.

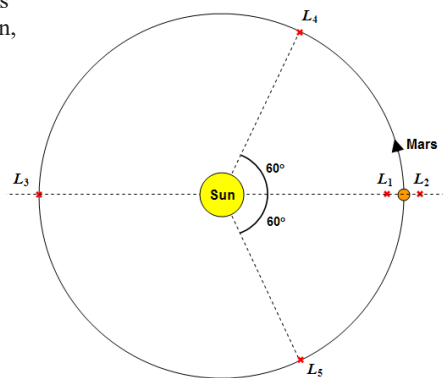
Cette découverte permettra aux chercheurs d'approfondir leur compréhension de ces objets, dont l'existence a été prédite pour la première fois à partir de calculs mathématiques.

Représentation des points de Lagrange, et notamment L_4 et L_5 , où se situent les astéroïdes troyens sur l'orbite de Mars.
(Marspédia)



Vue d'artiste d'un astéroïde proche de Mars.

(Gabriel Pérez Díaz, SMM, IAC)



Séismes sur Epsilon Indi

Basé sur un communiqué University of Birmingham

Epsilon Indi est une naine orange, c'est-à-dire une étoile de type K située sur la séquence principale entre les naines jaunes et les naines rouges.

Elle s'est révélée l'étoile naine la plus petite et la plus froide montrant des oscillations semblables à celles du Soleil, des « tremblements d'étoile ». Ces vibrations fournissent un aperçu de l'intérieur des étoiles – tout comme les tremblements de terre nous renseignent sur l'intérieur de la Terre. L'astérosismologie est une importante source d'informations sur les propriétés des étoiles, structure, composition, masse, taille, âge...

C'est le spectrographe ESPRESSO, installé sur le Very Large Telescope (VLT) de l'Observatoire européen austral (ESO) qui a enregistré ces oscillations avec une précision sans précédent. Le niveau extrême de précision de ces observations est une réalisation technologique exceptionnelle. Il est important de noter que cette détection montre de manière concluante qu'une astérosismologie précise est possible jusqu'à des naines froides avec des températures de surface aussi basses que 4 200 degrés Celsius, environ 1 000 degrés plus froides que la surface du Soleil, ouvrant ainsi un nouveau domaine en astrophysique observationnelle.

Les étoiles naines orange sont récemment devenues un centre d'intérêt dans la recherche de planètes habitables et de vie extraterrestre. Le décalage entre les tailles prédites et observées de ces étoiles a des implications pour la recherche de planètes autour d'elles. Si nous utilisons la technique de recherche de planètes la plus efficace – la méthode dite des transits – nous obtenons la taille de la planète par rapport à la taille de l'étoile. Si nous ne mesurons pas correctement celle de l'étoile, il en sera de même pour toutes les petites planètes que nous avons trouvées.

La détection des oscillations aidera à comprendre et à minimiser ces divergences, et à améliorer les modèles théoriques des étoiles.

La détection de séismes stellaires dans Epsilon Indi va permettre de préciser les buts de la mission PLATO de l'Agence spatiale européenne (ESA), dont le lancement est prévu en 2026, pour détecter les oscillations de beaucoup plus de naines orange. PLATO sera également à la recherche de planètes autour de ces étoiles.

*Vue d'artiste d'ondes sonores (modes p), de différentes fréquences, voyageant à travers une étoile.
(T. Cunha/Planetário do Porto - Centro Ciência Viva)/Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço)*



Supernova de 1181

Basé sur un communiqué ESA

En l'an 1181, une supernova est apparue dans le ciel nocturne, restant visible pendant 185 jours consécutifs. Les archives historiques montrent que la nouvelle étoile de la constellation de Cassiopée était aussi brillante que Saturne. Depuis, les astronomes tentent de trouver les restes de la supernova. Au début, on a pensé qu'il pourrait s'agir de la nébuleuse entourant le pulsar 3C 58 mais celui-ci s'est révélé trop vieux.

Au cours de la dernière décennie, un autre candidat a été découvert, Pa 30, une nébuleuse presque circulaire avec une étoile centrale. Elle est photographiée ici en combinant des images de plusieurs télescopes sur l'ensemble du spectre électromagnétique.

Les observations en rayons X par l'observatoire spatial XMM-Newton (en bleu) montrent toute l'étendue de la nébuleuse et l'observatoire à rayons X Chandra (cyan) localise sa source centrale. La nébuleuse est à peine visible dans le domaine optique, mais

brille dans l'infrarouge collecté par le satellite WISE (rouge et rose). Il est intéressant de noter que la structure radiale est constituée de soufre chauffé qui brille dans la lumière visible, observée avec le télescope Hiltner de 2,4 m de l'observatoire MDM (vert) en Arizona, tout comme les étoiles en arrière-plan capturées par Pan-STARRS (en blanc) à Hawaï.

L'étude de la composition des différentes régions de la nébulosité a conduit les scientifiques à penser qu'elle s'est formée lors de l'explosion d'une supernova sous-lumineuse de type Iax. Après un tel événement dû à la fusion de deux naines blanches, on ne s'attend généralement pas à ce qu'il reste des vestiges. Mais des explosions incomplètes peuvent laisser une sorte d'étoile « zombie », comme l'étoile naine blanche massive de ce système. Cette étoile très chaude, l'une des étoiles les plus chaudes de la Voie lactée (environ 200 000 degrés Celsius), émet un vent stellaire rapide avec des vitesses allant jusqu'à 16 000 km/h. La combinaison de l'étoile et de la nébuleuse en fait une occasion unique d'étudier une explosion aussi rare.



*(G. Ferrand,
J. English/U. Manitoba,
NASA/Chandra/
WISE, ESA/XMM,
MDM/R. Fessen/
Dartmouth College,
Pan-STARRS)*

ASASSN-20qc

Basé sur un communiqué MIT

Les « hoquets » d'une galaxie lointaine ont attiré l'attention des astronomes vers un nouveau comportement de trou noir. Un trou noir auparavant calme, situé au centre d'une galaxie distante d'environ 800 millions d'années-lumière, a soudainement explosé et s'est mis à émettre des panaches de gaz tous les 8,5 jours avant de revenir à son état normal et calme. L'événement est répertorié sous l'appellation ASASSN-20qc. Il a été découvert par le système automatisé ASAS-SN (All Sky Automated Survey for SuperNovæ), un réseau de 20 télescopes robotiques répartis dans les deux hémisphères. Ces télescopes scrutent automatiquement l'ensemble du ciel une fois par jour à la recherche de supernovæ et d'autres phénomènes transitoires.

Le système a repéré l'éruption de la galaxie en décembre 2020. Cette galaxie, relativement calme, est soudainement devenue mille fois plus brillante. Le phénomène a été suivi avec NICER (Neutron star Interior Composition Explorer), un télescope X à bord de la Station spatiale internationale. NICER surveille en permanence le ciel à la recherche de sursauts de rayons X qui pourraient signaler l'activité d'étoiles à neutrons, de trous noirs et d'autres phénomènes gravitationnels extrêmes.

L'explosion a duré environ quatre mois avant de s'éteindre. Pendant ce temps, NICER a pris des mesures des émissions de rayons X de la galaxie sur une base quotidienne et à haute cadence. Ces données ont révélé de légères diminutions périodiques d'intensité dans une bande très étroite du spectre X, qui semblaient réapparaître tous les 8,5 jours.

Cela fait penser aux transits d'une planète devant son étoile hôte, mais aucune étoile ne serait capable de bloquer une éruption d'une galaxie entière.

L'explication la plus probable des explosions secondaires est qu'un petit trou noir tourne autour du trou noir supermassif et pro-

jette de la matière à chacune de ses traversées dans le disque de gaz du plus grand trou noir. De fait, des théoriciens avaient calculé qu'il serait possible que le trou noir supermassif central d'une galaxie héberge un second trou noir, beaucoup plus petit. Ce dernier pourrait orbiter dans un plan incliné par rapport au disque d'accrétion de son grand compagnon. En traversant périodiquement le disque il libérerait un panache de gaz. De puissants champs magnétiques pourraient alors propulser le panache vers l'extérieur. Selon l'orientation ce panache pourrait masquer brièvement la lumière du disque, provoquant ainsi cette baisse de luminosité.

Les astronomes estiment que le trou noir supermassif central de la galaxie pèse quelque 50 millions de soleils. Avant l'explosion, le trou noir était peut-être entouré d'un disque d'accrétion et était accompagné d'un second trou noir, de 100 à 10 000 masses solaires. En décembre 2020, un troisième objet – probablement une étoile voisine – a dû s'approcher du système et a été déchiqueté par l'immense gravité du trou noir supermassif – un événement que les astronomes connaissent sous le nom d'événement de TDE (tidal disruption event). L'afflux soudain de matière stellaire a momentanément illuminé le disque d'accrétion du trou noir alors que les débris de l'étoile tourbillonnaient dans le trou noir. Pendant quatre mois, le trou noir s'est régalé des débris stellaires. Le petit trou noir poursuivait son orbite et, en perçant le disque, il éjectait périodiquement un panache beaucoup plus grand qu'il ne le fait habituellement.

Ces résultats remettent en question l'image conventionnelle des disques d'accrétion des trous noirs, que les scientifiques avaient supposés être relativement uniformes. Ils pourraient éventuellement contenir d'autres trous noirs et même des étoiles. Des couples serrés de trous noirs supermassifs pourraient être courants dans les noyaux galactiques, ce qui est un développement très excitant pour les futurs détecteurs d'ondes gravitationnelles.

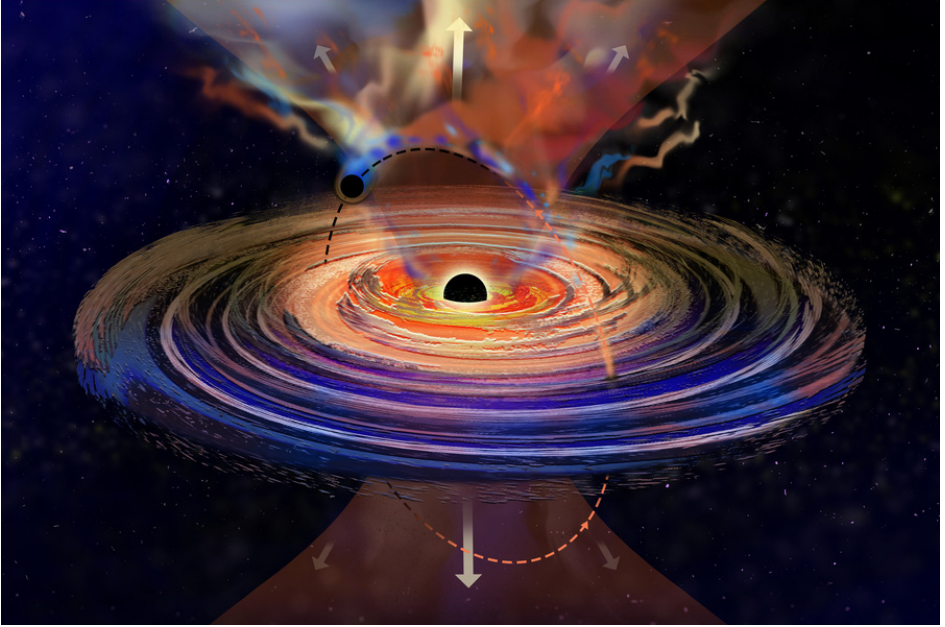


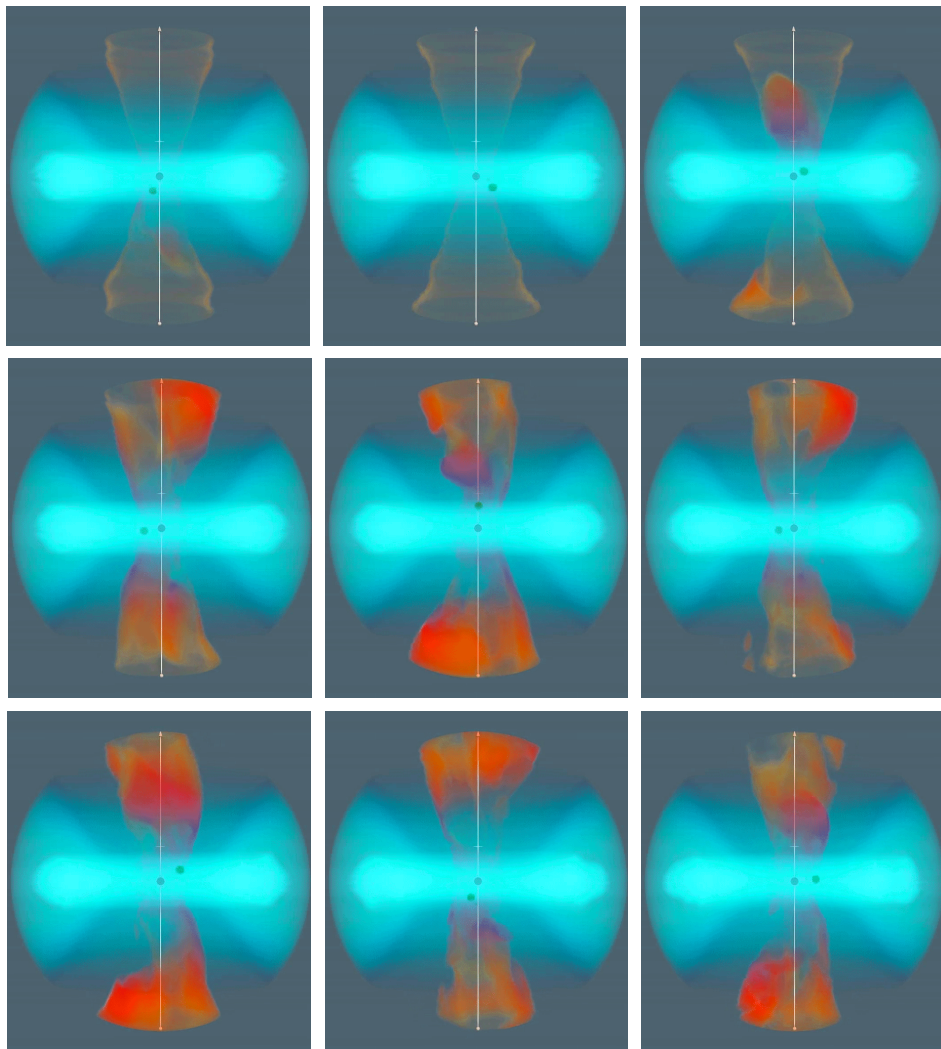
Illustration de ASASSN-20qc, le trou noir supermassif qui « hoquette ». Un minuscule trou noir traverse répétitivement le disque de gaz du plus grand trou noir, provoquant la libération de panaches qu'accélèrent de puissants champs magnétiques, représentés par les cônes orange. Chaque fois que le petit trou noir traverse le disque, il éjecte lui aussi un panache, plus petit, selon un schéma périodique.

(Jose-Luis Olivares, MIT)

Cassius, une unité du réseau ASAS-SN située au Chili, à l'observatoire de Cerro Tololo. Son nom fait référence à un assassin de Jules César.

(Carnegie/ASAS-SN)





*Simulation d'un petit trou noir tournant autour d'un trou noir supermassif et engendrant un panache à chaque rencontre avec le disque d'accrétion.
(Petra Sukova, Astronomical Institute of the CAS)*

Premières étoiles

Basé sur un communiqué ASIAA

Aux premiers stades de l'Univers, seuls existaient l'hydrogène, l'hélium et une infime proportion de lithium. Les éléments essentiels au maintien de la vie comme le carbone et l'oxygène n'avaient pas encore émergé. Environ 200 millions d'années plus tard, les premières étoiles, connues sous le nom de Population III, ont commencé à se former. Ces étoiles ont initié la production d'éléments plus lourds par combustion nucléaire dans leur noyau. Certaines d'entre elles ont fini en supernovæ, dispersant ainsi les éléments nouvellement synthétisés dans l'univers primitif.

Le type de supernova qui se produit dépend de la masse de l'étoile à sa disparition. Les observations d'étoiles extrêmement pauvres en métaux (EMP), formées après les premières étoiles et leurs supernovæ, ont été cruciales pour estimer la masse typique des premières étoiles. D'un point de vue observationnel, l'abondance élémentaire des

étoiles EMP suggère que les premières étoiles avaient des masses allant de 12 à 60 masses solaires. Cependant, des simulations précédentes proposaient une gamme plus étendue, allant de 50 à 1 000 masses solaires. Cet important écart de masse entre les simulations et les observations laissait les astrophysiciens perplexes depuis plus d'une décennie.

Les chercheurs pensent avoir éclairci la question grâce à des simulations hydrodynamiques à haute résolution de nuages turbulents primordiaux formant des étoiles. Leurs résultats indiquent que la turbulence supersonique fragmente effectivement les nuages proto-stellaires en plusieurs morceaux, chacun avec des noyaux denses allant de 22 à 175 masses solaires, destinés à former les premières étoiles de masses comprises entre 8 et 58 masses solaires, ce qui correspond bien aux observations.

Si la turbulence est faible ou négligée dans les simulations, ces dernières peuvent reproduire des résultats semblables aux simulations antérieures. Ce résultat met d'abord en évidence l'importance de la turbulence dans la formation des premières étoiles.

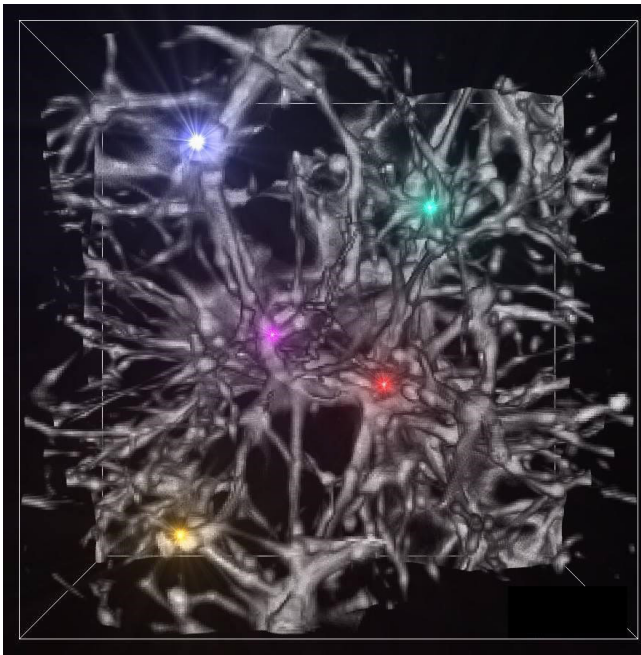
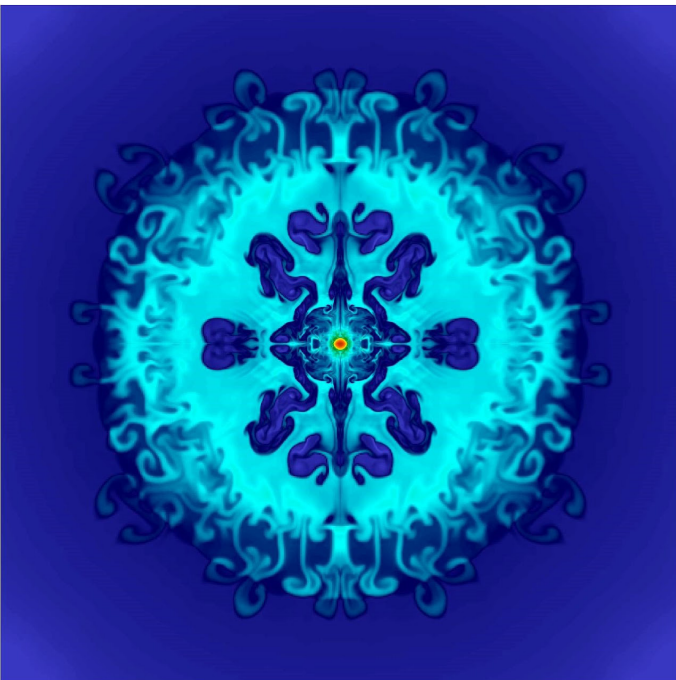
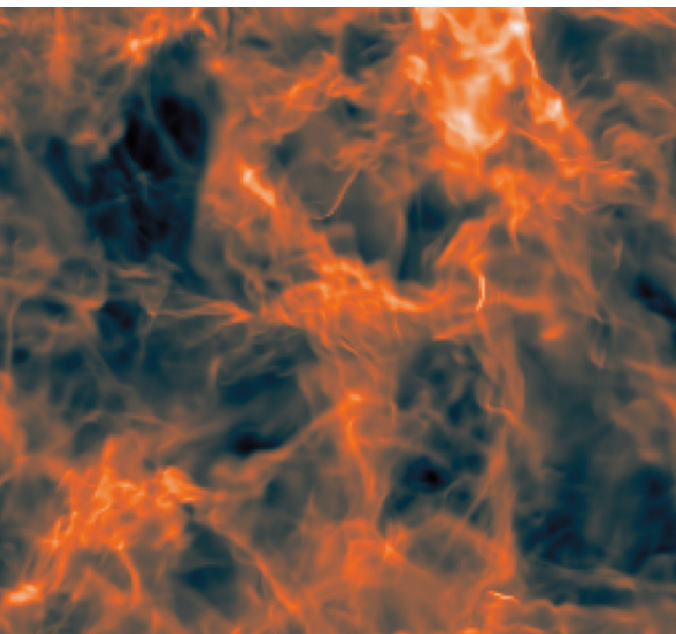


Illustration du cosmos pendant la période de formation des premières étoiles, environ 200 millions d'années après le Big Bang. Les structures grises illustrent la répartition de la matière noire lorsque les premières étoiles se forment dans des halos de matière noire. Les points colorés représentent des étoiles avec diverses masses, fournissant une représentation visuelle des processus complexes façonnant l'univers primitif. (ASIAA/Ke-Jung Chen)



Les étoiles massives de population III terminent leur vie en explosant en supernova, libérant un torrent d'énergie et éjectant les premiers éléments lourds dans l'espace environnant. Ce processus enrichit chimiquement le gaz primordial, modifiant fondamentalement les conditions de formation des étoiles suivantes dans l'univers primitif.
(ASIAA/Ke-Jung Chen)



Lors de la formation de la structure cosmique, le gaz primordial s'écoule dans les puits gravitationnels créés par les halos de matière noire. Lorsque le gaz converge vers le centre du halo, il suscite un puissant mouvement turbulent qui remue le nuage, donnant naissance à des structures distinctes, comme illustré ci-dessus. In fine, les noyaux denses de ces amas subissent un effondrement gravitationnel, marquant la formation des premières étoiles.
(ASIAA/Ching-Yao Tang)

Centre galactique

Basé sur un communiqué Northwestern

Les chercheurs ont modélisé l'évolution des étoiles tournant près du trou noir central de la Voie lactée. Les collisions et les presque-collisions qui abondent dans ces zones peuplées modifient les étoiles et peuvent en rajeunir l'aspect.

Malgré leur grand âge, certaines étoiles en orbite autour du trou noir supermassif central de la Voie lactée ont une apparence bien jeune. Leur cure de jouvence est simple, elles mangent leurs voisines.

À l'aide d'un nouveau modèle, les astrophysiciens ont retracé l'évolution violente de 1 000 étoiles en orbite autour du trou noir supermassif, Sagittarius A*.

En raison de la forte concentration stellaire, le centre galactique est le siège de fréquentes collisions. Les simulations révèlent que les survivantes peuvent perdre de la masse pour devenir des étoiles « dépouillées » de faible masse ou, qu'au contraire, elles peuvent fusionner avec d'autres étoiles pour devenir massives et d'apparence plus jeune.

Le centre de la Voie lactée est un endroit étrange et sauvage. L'attraction gravitationnelle de Sgr A* est telle que les étoiles parcourent leurs orbites à des vitesses

terrifiantes. Et le nombre d'étoiles regroupées au centre de la Galaxie dépasse le million. Dans la région la plus centrale, – à moins de 0,1 parsec du trou noir – peu d'étoiles s'en sortent indemnes.

Les chercheurs ont développé une simulation pour retracer leur destin. Le calcul prend en compte plusieurs facteurs : la densité en étoiles, la masse des étoiles, leur vitesse et la distance au trou noir. Ce dernier facteur s'avère le plus susceptible de déterminer le sort d'une étoile.

À moins de 0,01 parsec du trou noir, les étoiles – se déplaçant à des milliers de kilomètres par seconde – se heurtent constamment. Il s'agit rarement d'une collision frontale mais plutôt d'un « high five » violent. Les impacts ne sont pas assez forts pour briser complètement les étoiles. Au lieu de cela, elles perdent leurs couches externes. Ces collisions donnent ainsi naissance à une population d'étoiles étranges, dépouillées et de faible masse.

Au-delà de 0,01 parsec, les étoiles se déplacent à un rythme plus détendu : des centaines de kilomètres par seconde au lieu de milliers. Lors de collisions elles n'ont pas assez d'énergie pour s'échapper et fusionnent. Après plusieurs fusions elles peuvent devenir 10 fois plus massives que le Soleil. Ayant amassé un supplément d'hydrogène qu'elles brûlent sans retenue, ces étoiles paraissent totalement rajeunies, mais au prix d'une espérance de vie plus courte.

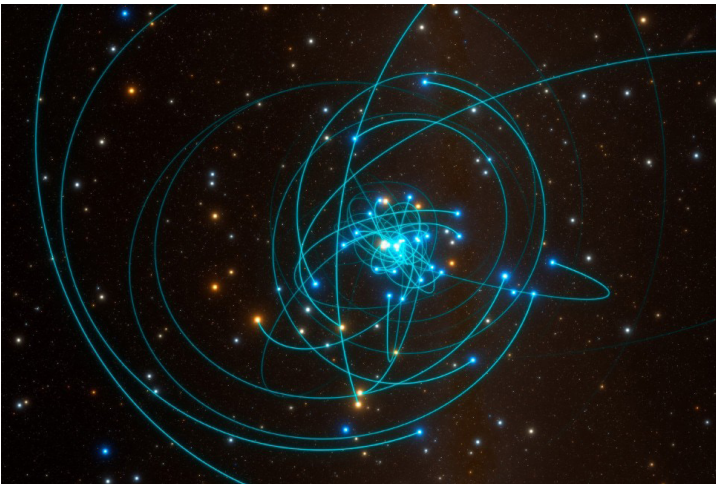
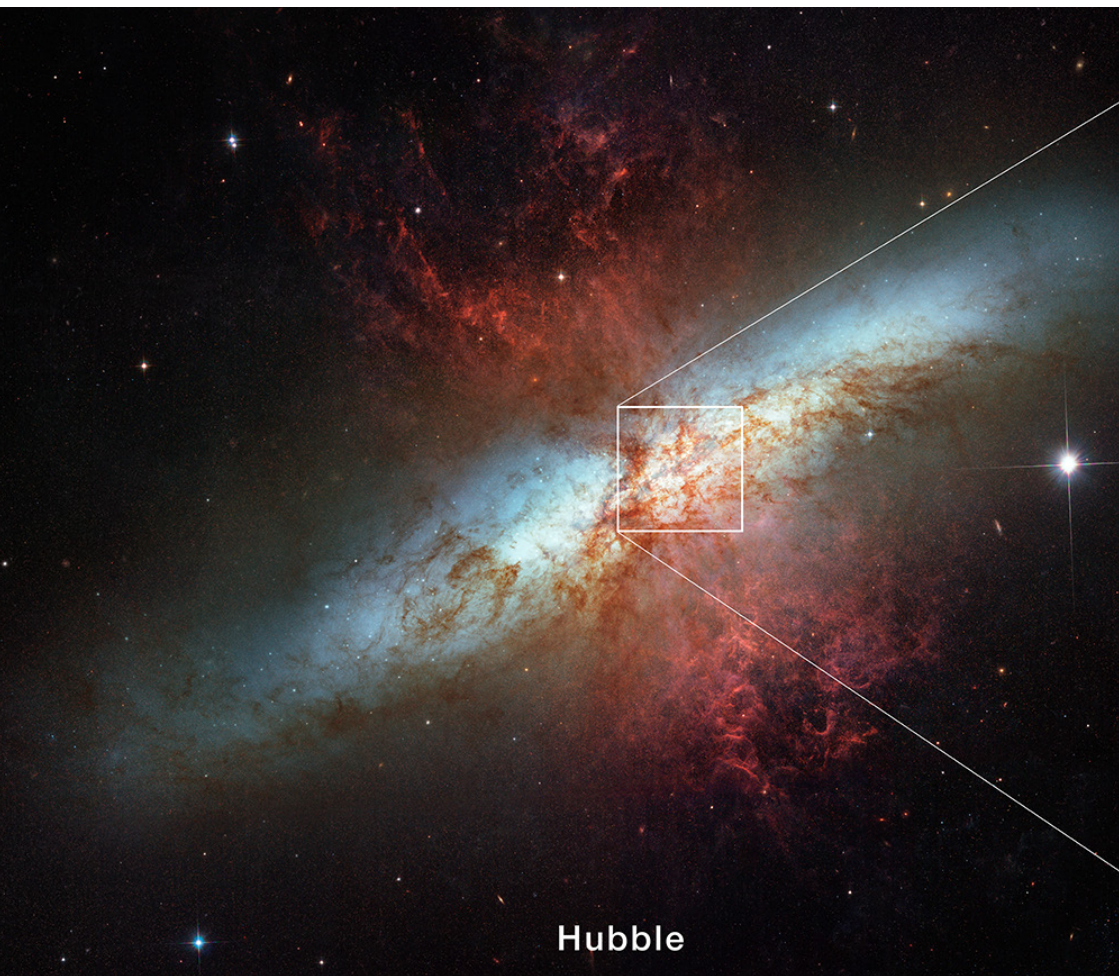


Illustration d'orbites proches de Sgr A, le trou noir supermassif de la Galaxie.
(ESO/L. Calçada/
Spaceengine.org)*



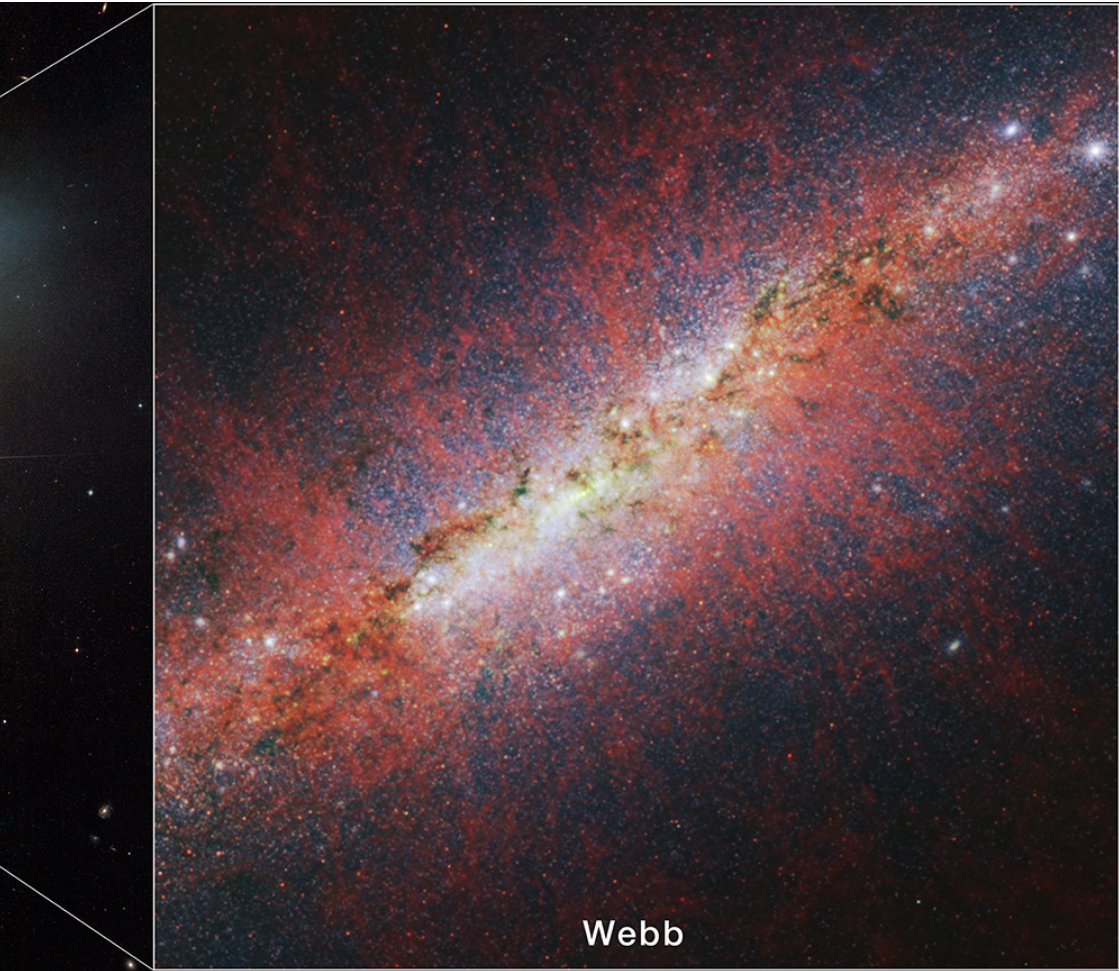
M82 par le JWST

Basé sur un communiqué Webb

Les astronomes ont utilisé la caméra NIRCam du télescope spatial JWST pour observer le cœur de la galaxie M82, distante de 12 millions d'années-lumière dans la constellation de la Grande Ourse. Cette galaxie, relativement compacte, montre une intense activité de formation d'étoiles ; dix fois supérieure à celle de la Voie lactée.

Les télescopes spatiaux Spitzer et Hubble l'avaient déjà étudiée mais la taille et la résolution du télescope Webb apportent de nouvelles informations (image de droite).

Les filaments rouges tracent la composante froide du vent galactique via les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Les HAP sont de très petits grains de poussière qui ne survivent qu'à des températures assez basses. La structure de l'émission est semblable à celle du gaz ionisé, ce qui suggère



Webb

*(NASA, ESA, CSA, STScI,
A. Bolatto/UMD)*

que les HAP peuvent être reconstitués à partir d'un matériau moléculaire plus froid au fur et à mesure de son ionisation.

Près du centre, de petites taches vertes indiquent des zones concentrées de fer, dont la plupart sont des restes de supernova. D'autres taches rougeâtres sont des régions où l'hydrogène moléculaire est éclairé par le rayonnement d'étoiles massives voisines.

Chaque point blanc de cette image est soit une étoile, soit un amas d'étoiles.

WL20

Basé sur un communiqué NRAO

Les astronomes ont utilisé deux télescopes très différents, ALMA et JWST, pour découvrir des disques jumeaux ainsi que des jets parallèles émergeant de deux étoiles jeunes dans un système multiple. Cette découverte était inattendue, compte tenu de l'âge, de la taille et de la composition chimique des étoiles, des disques et des jets.

Le réseau radio ALMA et l'instrument MIRI du télescope spatial JWST observent des parties très différentes du spectre électromagnétique. Leur utilisation conjointe a permis aux astronomes de découvrir ces jumeaux, cachés dans le système stellaire WL20, situé dans le complexe du nuage moléculaire de Rho Ophiuchi, distant de plus de 400 années-lumière.

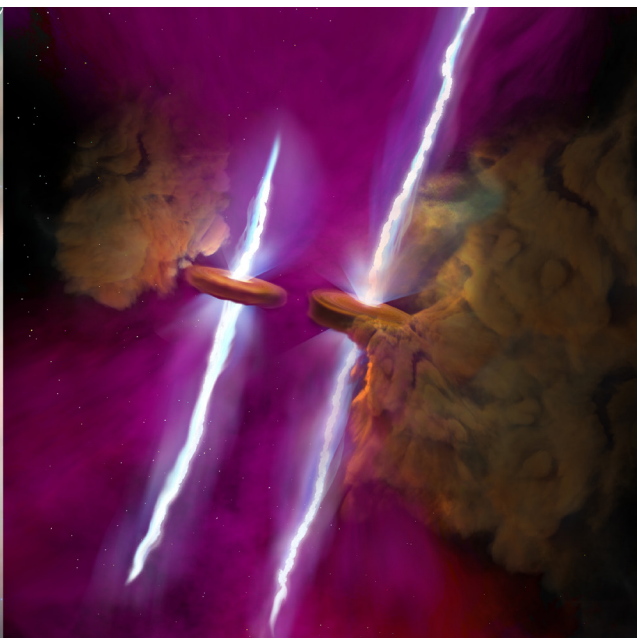
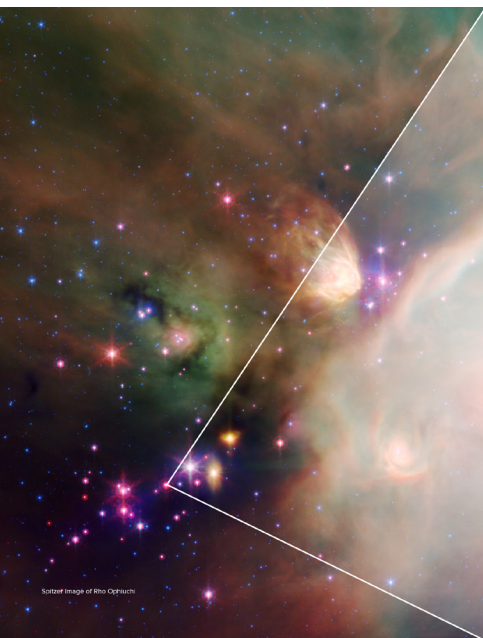
Le système multiple WL20 est connu depuis longtemps, mais l'attention des astro-

nomes a été attirée par la jeunesse de l'une de ses étoiles. Les observations ont révélé qu'il s'agissait en fait d'une binaire. Chacune de ces étoiles est entourée d'un disque et chaque disque émet des jets qui sont parallèles entre eux.

ALMA a repéré les disques et montré leur structure, tandis que MIRI a trouvé les jets. Les images à haute résolution ont révélé la taille imposante des disques, environ 100 fois la distance Terre-Soleil. MIRI a permis d'obtenir des indications sur la composition chimique des jets.

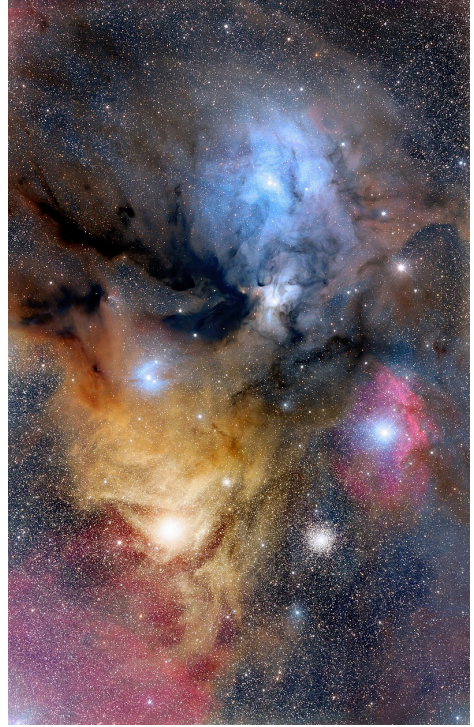
À gauche, une image, prise par le télescope spatial Spitzer dans l'infrarouge moyen, du complexe moléculaire de rho Ophiuchi. Le système stellaire de WL20 est illustré à droite par un artiste. Les astronomes ont été surpris lorsque les observations d'ALMA et du JWST ont révélé des disques jumeaux et des jets en éruption d'une paire d'étoiles dans WL20.

(U.S. NSF/NSF NRAO/B. Saxton. ; NASA/JPL-Caltech/Harvard-Smithsonian CfA)

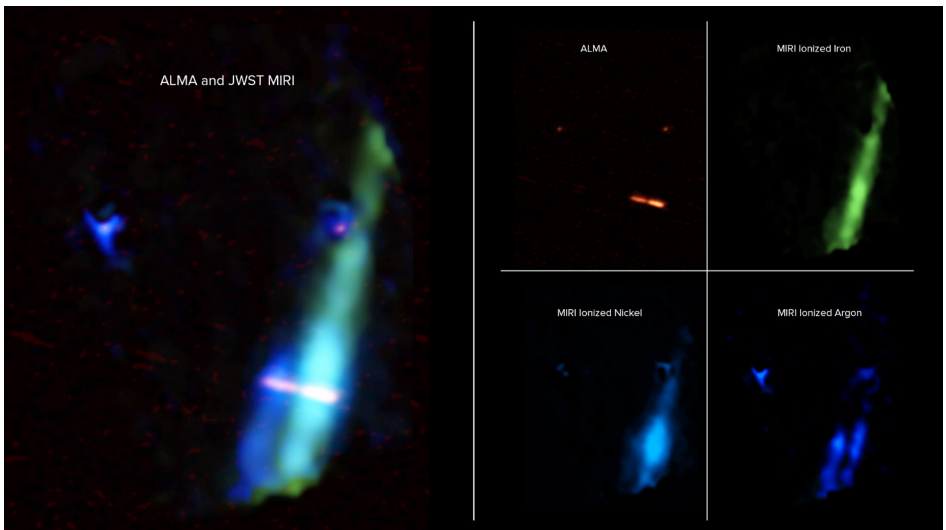


En combinant les données multi-longueurs d'onde d'ALMA et de JWST, ces nouvelles découvertes mettent en lumière les processus complexes impliqués dans la formation de systèmes stellaires multiples. Les astronomes prévoient de profiter de futurs perfectionnements d'ALMA, pour continuer à percer les mystères entourant la naissance des étoiles et des systèmes planétaires.

► *Le nuage de rho Oph.*
(Wikipedia, Adam Block/Steward
Observatory/University of
Arizona)



▼ *À gauche une image composite
ALMA/JWST montrant les jets et
disques parallèles de WL20. À droite,
les images des deux instruments sont
séparées, certaines correspondant à
des éléments chimiques spécifiques.*
(U.S. NSF/NSF NRAO/ALMA(ESO/
NAOJ/NRAO)/ NASA/ JPL-Caltech/
JWST/ B. Saxton)



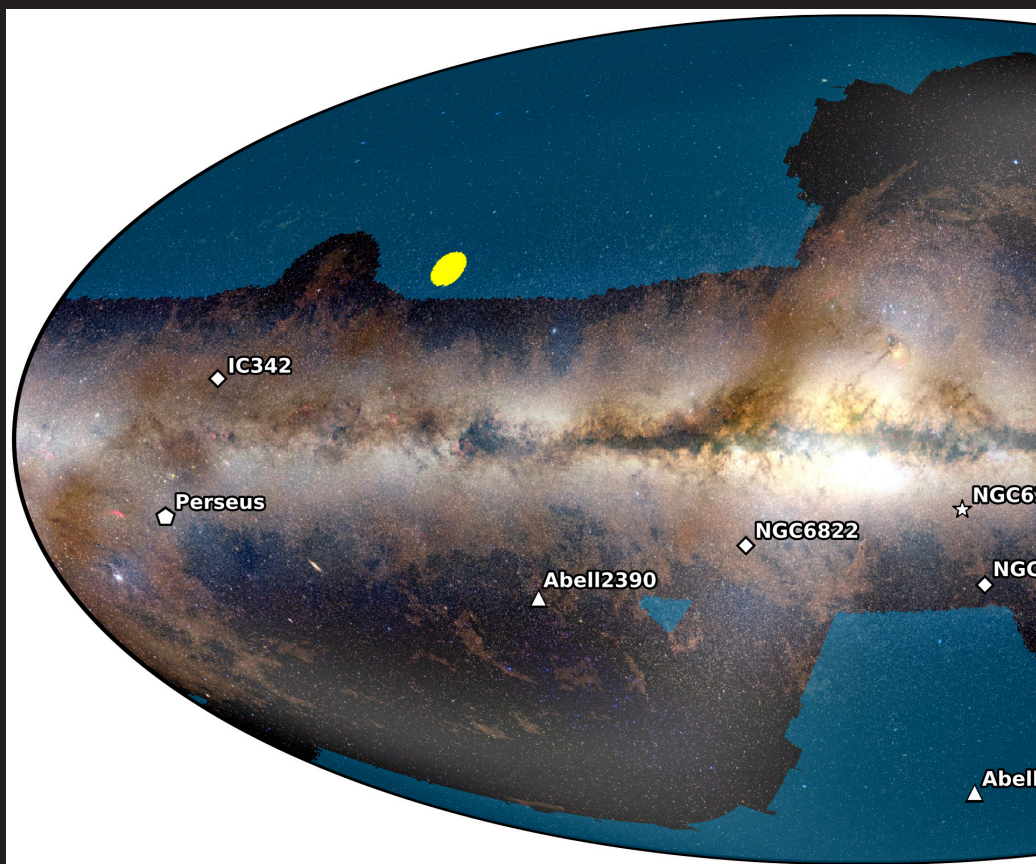
Euclid

Basé sur un communiqué ESA

Dans le Ciel de mars, p. 172, nous présentions les premières images obtenues par le satellite Euclid. L'ESA a maintenant publié cinq nouvelles vues spectaculaires qui démontrent la capacité d'Euclid à percer les secrets du cosmos. Ces images font partie des observations dites « Early Release ». Elles accompagnent les premières données scientifiques de la mission, et arrivent moins d'un an après le lancement du satellite, et environ six mois après qu'il avait renvoyé ses premières images en couleur du cosmos.

Euclid est une mission unique et révolutionnaire. Les images et les résultats scientifiques associés sont d'une diversité impressionnante. Cela comprend toute une variété d'applications scientifiques, ne représentant pourtant que 24 heures d'observations. Euclid a en effet produit ce premier catalogue en une seule journée, révélant plus de 11 millions d'objets en lumière visible et 5 millions d'autres en lumière infrarouge. Et ce n'est qu'un aperçu de ce qu'Euclid peut faire.

L'ensemble complet des premières observations ciblait 17 objets astronomiques, des nuages de gaz et de poussière proches jusqu'aux amas de galaxies lointains, en prélude au relevé principal que doit effectuer



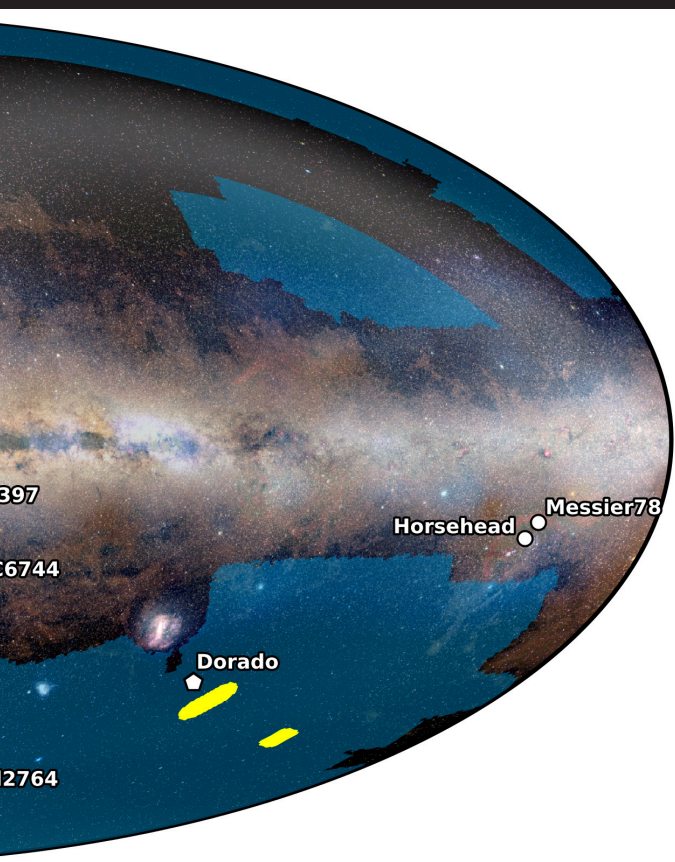
Euclid. L'objectif sera de découvrir les secrets du cosmos sombre et de comprendre comment et pourquoi l'Univers ressemble à ce qu'il est aujourd'hui.

La mission Euclid cherchera les fondations cachées du cosmos en cartographiant des milliards de galaxies sur plus d'un tiers du ciel. Elle tentera d'expliquer comment l'Univers s'est formé et a évolué au cours du temps et étudiera les plus mystérieux de ses composants fondamentaux : l'énergie noire et la matière noire.

Les images obtenues par Euclid sont au moins quatre fois plus nettes que celles que nous pouvons prendre à partir de télescopes au sol. Ils couvrent de grandes étendues de

ciel à une profondeur inégalée, regardant loin dans l'univers lointain en utilisant à la fois la lumière visible et l'infrarouge.

Les premiers résultats montrent qu'Euclid peut trouver des planètes « errantes », flottant librement dans des régions de formation d'étoiles. Le télescope est capable d'explorer les amas stellaires jusqu'à leur périphérie avec un niveau de détail sans précédent, et de cartographier différentes populations d'étoiles pour explorer l'évolution des galaxies au fil du temps. Il peut détecter des amas d'étoiles individuels même dans des amas de galaxies éloignées et identifier d'innombrables nouvelles galaxies naines.



Localisation de dix des premiers objets ciblés par la mission spatiale Euclid de l'ESA. Les cibles sont placées au sommet d'une projection ovale du ciel, les zones qu'Euclid observera au cours de sa mission d'enquête de six ans étant indiquées en bleu et les zones d'étude profondes en jaune.

Un cercle représente une région de formation d'étoiles. Un symbole en étoile représente un amas d'étoiles; un carré une galaxie proche; un pentagone un groupe ou amas de galaxies proche; un triangle un amas de galaxies lointain.

(Consortium ESA/Euclid; ATG; J.-C. Cuillandre/CEA Paris-Saclay)

Abell 2390

L'image Euclid de l'amas Abell 2390 – situé à 2,7 milliards d'années-lumière dans Pégase – révèle plus de 50 000 galaxies et montre un magnifique exemple de lentille gravitationnelle, avec des arcs géants qui sont des vues multiples et déformées d'objets lointains. Le phénomène de lentille gravitationnelle est l'une des clés qui permettront au télescope d'explorer l'univers sombre en cartographiant la matière noire dans des amas de galaxies.

En plus de mieux comprendre la matière noire, les scientifiques utilisent les données d'Euclid pour mesurer l'évolution des amas de galaxies au cours du temps cosmique, révélant ainsi davantage d'informations sur l'évolution de l'Univers (et, par extension, sur l'énergie noire, que l'on pense influencer cette évolution).

L'image d'Abell 2390 montre également la faible « lumière intra-amas » émise par les étoiles qui se sont détachées de leurs galaxies et errent dans l'espace intergalactique. L'observation de cette lumière émise par ces orphelins stellaires pourraient nous aider à voir où se trouve la matière noire.

Euclid travaille du visible au proche infrarouge à l'aide des caméras VIS (visible) et NISP (proche infrarouge). Elles peuvent fonctionner simultanément et créer des images des centaines de fois plus grandes que celles prises par d'autres télescopes spatiaux. Ce champ étendu permet de couvrir des objets comme Abell 2390 en une seule fois. Cette image a été obtenue en environ trois heures. Comme celles des pages suivantes, elle combine les données VIS et NISP. Sa taille originale est de 8200 × 8200 pixels.

Les deux instruments permettent d'observer dans quatre plages de longueurs d'onde. Les choix esthétiques ont conduit à la sélection de trois de ces bandes (à 0,7, 1,1 et 1,7 micron) à projeter sur les canaux de couleurs traditionnels Rouge-Vert-Bleu. Cela donne à Euclid une palette de couleurs spécifique : les étoiles chaudes ont une teinte blanc-bleu, l'hydrogène gazeux excité apparaît dans le canal bleu et les régions riches en poussières et en gaz moléculaires ont une teinte rouge clair. Les galaxies lointaines décalées vers le rouge apparaissent très rouges. Sur l'image, les étoiles présentent six pointes proéminentes en raison de la façon dont la lumière interagit avec le système optique du télescope lors du processus de diffraction. Quelques petites régions bleuâtres sont des artefacts, des « fantômes optiques » dus à des réflexions parasites.

(ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA, J.-C. Cuillandre/CEA, G. Anselmi)





M 78

L'amas stellaire M78 – situé à 1 300 années-lumière dans Orion – est vu ici par Euclid avec la même palette de couleurs qu'Abell 2390. M78 est enveloppé d'un nuage de gaz et de poussière et est le siège d'une intense activité de formation d'étoiles.

L'infrarouge permet de percer cette brume et l'on voit ainsi pour la première fois en détail la pouponnière stellaire ainsi que des étoiles jeunes et même des planètes. Euclid permet en effet de distinguer des objets de quelques fois la masse de Jupiter.

En tout, cette image révèle plus de 300 000 nouveaux objets. Les scientifiques utilisent ces données pour étudier les populations relatives des différents objets, leur dynamique et leur évolution au cours du temps.

Les planètes errantes et les naines brunes ont été considérées comme candidates pour la matière noire. Il semble qu'il n'y en ait pas assez mais Euclid devrait répondre à cette question de façon définitive.

*(ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA,
J.-C. Cuillandre/CEA, G. Anselmi)*





NGC 6744

L'objet central de cette image prise par Euclid est NGC 6744, une grande galaxie spirale archétype des galaxies formant des étoiles dans l'univers actuel. NGC 6744, dans la constellation du Paon, est distante de 30 millions d'années-lumière.

On distingue des bandes de poussière émergeant comme des « éperons » depuis les bras spiraux, montrés ici avec une clarté inégale.

Les scientifiques utilisent ces données pour comprendre comment la poussière et le gaz sont liés à la formation d'étoiles et comment survient la structure spirale des galaxies. Les bras spiraux compriment le gaz et favorisent la formation d'étoiles, mais le mécanisme exact n'est pas encore compris entièrement.

Cette image devra permettre d'identifier des amas globulaires et des galaxies naines satellites de NGC 6744 – Euclid en a d'ailleurs déjà découvert une. (ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA, J.-C.Cuillandre/CEA, G. Anselmi)





Abell 2764

*Cette autre image d'Euclid montre l'amas Abell 2764 (en haut à droite), qui comprend des centaines de galaxies dans un vaste halo de matière noire. On distingue aussi des galaxies d'arrière-plan, des amas plus lointains et des galaxies en interaction. Ces données concernant Abell 2764 et ses environs ont pu être obtenues grâce au champ de vision impressionnant d'Euclid. L'étoile brillante du champ est V*BP-Phoenixis/HD 1973, une étoile située dans notre galaxie et qui est presque assez brillante pour être vue à l'œil nu.*

Euclid a été conçu pour que l'éblouissement autour d'étoiles aussi brillantes soit le moins dommageable dans les clichés, ce qui permet de distinguer des galaxies lointaines jusque dans les pixels voisins. (ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA, J.-C. Cuillandre/CEA, G. Anselmi)





Groupe de galaxies Dorado

Ici, Euclid capture des galaxies en collision, le groupe « Dorado ». Les galaxies montrent des « queues de marée » et des enveloppes produites par les interactions en cours. De telles images permettent de mieux comprendre comment les galaxies se forment dans les halos de matière noire.

L'image montre à nouveau la polyvalence d'Euclid : un large éventail de galaxies est visible ici, depuis de très brillantes jusqu'à de très faibles. Grâce à la combinaison unique d'un grand champ de vision, d'une profondeur remarquable et d'une haute résolution spatiale, l'observatoire spatial peut capturer aussi bien des objets minuscules (des amas globulaires), que d'immenses amas de galaxies, en une seule image.

(ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA, J.-C. Cuillandre/CEA, G. Anselmi)



