



Astronomie dans le monde

Amaterasu, le deuxième rayon cosmique le plus énergétique jamais enregistré

Basé sur un communiqué University of Utah

Le rayon cosmique le plus énergétique jamais observé l'a été grâce au « Fly's Eye » de l'Université de l'Utah, en 1991. Surnommée Oh-My-God, cette particule avait atteint notre planète avec une énergie que rien de connu n'a le pouvoir de produire. Selon les connaissances actuelles, une telle particule ne devrait tout simplement pas exister.

L'expérience Telescope Array a depuis observé plus de 30 rayons cosmiques de ultra haute énergie, mais aucun n'approche le niveau de Oh-My-God. Aucune observation n'a encore révélé leur origine ni comment ils peuvent voyager jusqu'à la Terre.

Le 27 mai 2021, l'expérience Telescope Array a détecté le deuxième rayon cosmique d'énergie extrême le plus élevé. À 240 EeV¹ l'énergie de cette particule subatomique équivaut à celle d'une brique tombant d'une hauteur d'un mètre.

L'événement a déclenché 23 des 507 détecteurs du Telescope Array disposés sur

Vue d'artiste du rayon cosmique exceptionnel, Amaterasu, observé par le réseau de détecteurs de l'expérience Telescope Array, (Osaka Metropolitan University/L-INSGHT, Kyoto University/Ryuunosuke Takeshige)

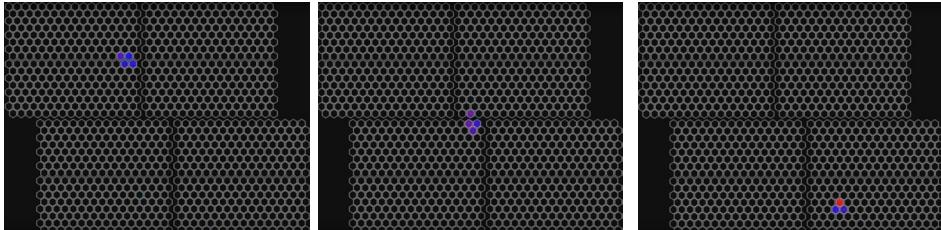
700 km² dans le désert de l'Utah, plus précisément dans la région nord-ouest du réseau de télescopes. La particule semblait provenir du Local Void, une zone vide de l'espace à la périphérie de la Galaxie.

Les particules de si grande énergie ne sont guère affectées par les champs magnétiques galactiques et extra-galactiques. Elles doivent donc bien venir de la direction montrée à leur arrivée. Mais dans le cas de la particule Oh-My-God, comme de celle-ci, on ne voit pas de source potentielle dans la région concernée.

Les chercheurs ont baptisé ce rayon cosmique « Amaterasu », en hommage à la déesse du Soleil dans la mythologie japonaise. Les particules Oh-My-God et Amaterasu ont été détectées à l'aide de différentes techniques d'observation, confirmant que bien que rares, ces événements à ultra haute énergie sont réels.

Ils semblent provenir d'endroits complètement différents dans le ciel. Faute d'explication conventionnelle, les idées les plus folles ont germé pour les interpréter comme des

¹ Soit 240 EeV (exa-electrons-volts) = $2,4 \cdot 10^{20}$ eV = 240 trillions d'électrons-volts



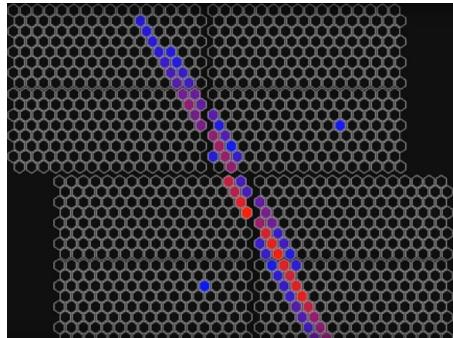
*Extraits d'une animation montrant le développement du signal et, ci-contre, le signal final.
(Osaka Metropolitan University)*

défaux dans la structure de l'espace-temps ou des collisions de cordes cosmiques.

Les rayons cosmiques proviennent d'événements célestes violents. Ce sont essentiellement des particules chargées, couvrant une large gamme d'énergie, en général des protons, des électrons mais aussi des noyaux atomiques entiers. En frappant la haute atmosphère terrestre ils détruisent des noyaux d'oxygène et d'azote, générant ainsi de nombreuses particules secondaires. Ces particules parcourront une courte distance dans l'atmosphère et répètent le processus, créant une pluie de milliards de particules secondaires qui se dispersent à la surface. L'empreinte de cette gerbe secondaire est massive et nécessite que les détecteurs couvrent une zone très grande. Les détecteurs de surface utilisent une suite d'instruments qui fournissent aux chercheurs des informations sur chaque rayon cosmique ; le timing du signal montre sa trajectoire et la quantité de particules chargées frappant chaque détecteur révèle l'énergie de la particule primaire.

Les événements très violents comme les supernovæ, sont loin d'être assez énergétiques pour produire Amaterasu ou Oh-My-God. Il faut d'énormes quantités d'énergie et des champs magnétiques très élevés pour confiner la particule pendant son accélération.

Les rayons cosmiques à très haute énergie dépassent les 50 EeV. Cela signifie qu'une seule particule subatomique transporte la même énergie cinétique qu'une balle de tennis lors d'un service. Les particules produites avec



le LHC (Large Hadron Collider) n'ont qu'une énergie de l'ordre de 10 TeV, soit cinq millions de fois plus petite.

Cette limite de 50 EeV n'est pas arbitraire. Elle est connue sous le nom de coupure GZK (Greisen – Zatsepin – Kuzmin), et c'est l'énergie maximale qu'un proton peut avoir en voyageant sur de longues distances avant que l'effet des interactions avec les photons du rayonnement de fond micro-ondes ne se fasse sentir. Au-delà de ce seuil l'émission de pions consomme l'énergie du proton.

Oh-My-God et Amaterasu ne viennent donc pas de bien loin. Les sources candidates connues, telles que les noyaux galactiques actifs ou les trous noirs dotés de disques d'accrétion émettant des jets de particules, se trouvent à plus de 160 millions d'années-lumière de la Terre. Les 240 EeV de la nouvelle particule et les 320 EeV de la particule Oh-My-God dépassent largement le seuil GZK.

Les chercheurs analysent également la composition des rayons cosmiques pour trouver des indices sur leurs origines. Une particule lourde, comme le noyau de fer, a plus de charge électrique et est plus affectée par les

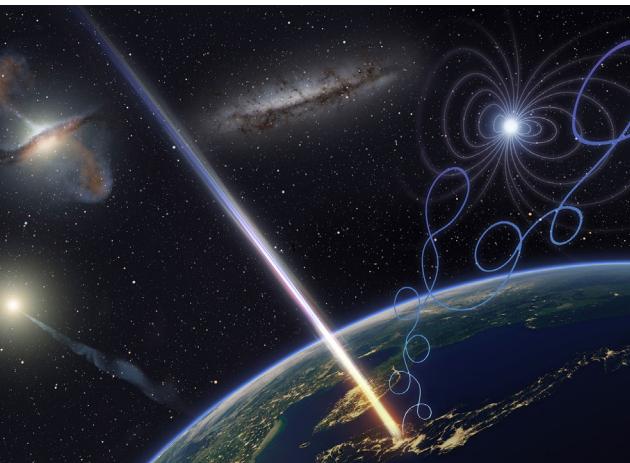


Illustration d'artiste de l'astronomie des rayons cosmiques à ultra haute énergie pour clarifier les phénomènes extrêmement énergétiques. Un seul rayon lumineux suit une ligne droite. Une particule chargée peut suivre un chemin très contourné, à moins d'avoir une énergie extrême. (Osaka Metropolitan University/Kyoto University/Ryuunosuke Takeshige)



*Déploiement de détecteurs du Telescope Array.
(Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo)*

champs magnétiques. Peut-être que les champs magnétiques sont plus forts qu'on ne le pense, mais cela est en désaccord avec d'autres observations qui montrent qu'ils ne sont pas assez forts pour dévier de façon significative des particules de 100 EeV.

Le Telescope Array est idéalement positionné pour détecter les rayons cosmiques d'ultra haute énergie. Il se situe à une altitude d'environ 1 200 m, idéale pour le développement maximal des particules secondaires, avant qu'elles ne commencent à se désintégrer. Son emplacement dans le désert occidental de

l'Utah offre des conditions atmosphériques idéales de deux manières : l'air sec est crucial car la vapeur d'eau absorbe la lumière ultra-violette nécessaire à la détection ; l'absence de pollution lumineuse du désert est également essentielle.

Le Telescope Array est en passe d'être étendu sur 2 900 km² avec 500 détecteurs supplémentaires. Les astronomes espèrent que cette plus grande empreinte permettra de capturer davantage d'événements et de mieux comprendre ces phénomènes exceptionnels.

Un FRB record, FRB 20220610A

Basé sur un communiqué ESO

Les radio-astronomes ont détecté une explosion lointaine d'une durée inférieure à une milliseconde. Ce « sursaut radio rapide » (FRB, « fast radio burst ») est le plus lointain jamais détecté. Sa source a été localisée par le Very Large Telescope (VLT) de l'Observatoire Européen Austral (ESO) dans une galaxie si lointaine que sa lumière a mis huit milliards d'années à nous parvenir. Ce FRB est également l'un des plus énergétiques jamais observés ; en une infime fraction de seconde, il a émis l'équivalent de l'émission totale du Soleil en 30 ans.

Le sursaut, appelé FRB 20220610A, a eu lieu en juin de l'année dernière. Il a été détecté grâce au radiotélescope ASKAP (Australian Square Kilometre Array Pathfinder) et a pulvérisé de 50% le précédent record de distance déjà établi par la même équipe. Grâce à ASKAP, l'origine du sursaut avait pu être déterminée avec précision. Les télescopes VLT et Keck ont ensuite été utilisés pour rechercher

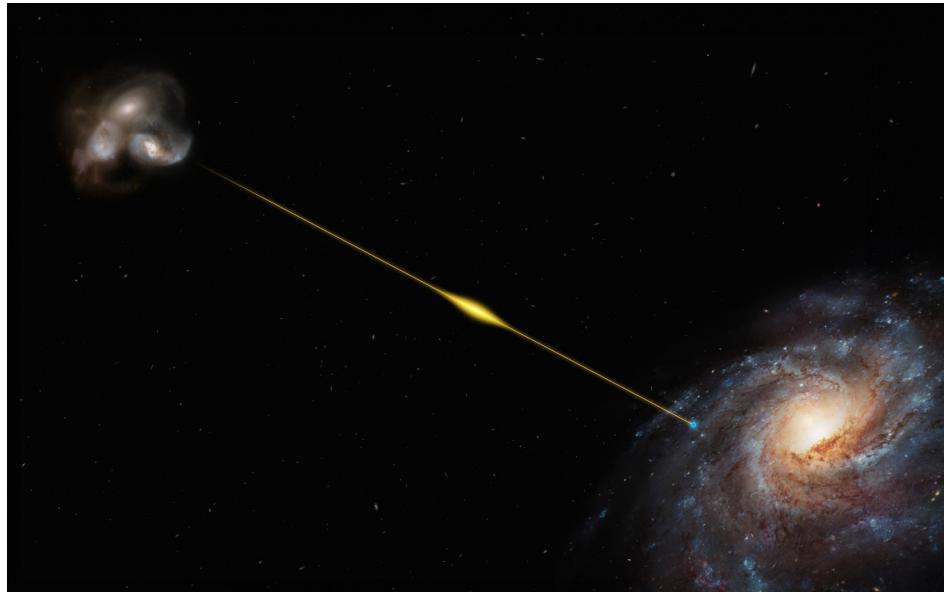
la galaxie source. Celle-ci s'est avérée plus éloignée que toutes les autres sources de FRB découvertes à ce jour. Elle se trouvait probablement au sein d'un petit groupe de galaxies en cours de fusion.

Cette découverte confirme que les FRB peuvent être utilisés pour mesurer la matière « manquante » entre les galaxies, ce qui constitue une nouvelle façon de peser l'Univers. Les méthodes actuelles d'estimation de la masse de celui-ci donnent des réponses contradictoires et remettent en cause le modèle standard de la cosmologie. Si l'on compte la quantité de matière normale, on constate qu'il manque plus de la moitié de ce qui devrait s'y trouver.

Illustration de la trajectoire des ondes provenant du sursaut radio rapide FRB 20220610A, jusqu'à la Voie lactée et la Terre (en bas à droite).

La galaxie source du FRB semble être située dans un petit groupe de galaxies en interaction. Elle est si éloignée que sa lumière met huit milliards d'années pour nous parvenir.

(ESO/M. Kornmesser)





La matière manquante doit se cacher entre les galaxies, mais elle est peut-être si chaude et diffuse qu'il est impossible de la voir avec les techniques habituelles.

Heureusement, les sursauts radio rapides permettent de détecter cette matière ionisée, ce qui permet de mesurer la quantité de matière entre les galaxies. L'astronome australien Jean-Pierre Macquart avait montré que, plus un sursaut radio rapide est éloigné, plus il révèle de gaz diffus entre les galaxies. C'est ce que l'on appelle aujourd'hui la relation de Macquart. Certains sursauts radio rapides récents semblaient rompre cette relation, mais les mesures de FRB 20220610A confirment qu'elle est valable au-delà de la moitié de l'Univers connu.

On ne sait toujours pas ce qui provoque ces énormes bouffées d'énergie, mais les nouveaux résultats confirment que les FRBs sont des événements courants dans le cosmos et que l'on peut les utiliser pour mieux comprendre la structure du cosmos.

*Antennes du réseau radio ASKAP
à l'observatoire Murchison en
Australie Occidentale.
(CSIRO)*

Ces observations sont à la limite des possibilités des télescopes actuels. Les astronomes disposeront bientôt des outils nécessaires pour détecter des sursauts encore plus anciens et plus lointains, localiser leurs galaxies sources et mesurer la matière manquante. L'observatoire international Square Kilometre Array construit actuellement deux radiotélescopes en Afrique du Sud et en Australie, qui seront capables de détecter des milliers de FRB, y compris des sursauts très lointains qui ne peuvent être détectés avec les installations actuelles. L'Extremely Large Telescope (ELT) de l'ESO, un télescope de 39 mètres en construction dans le désert chilien d'Atacama, sera l'un des rares télescopes capables d'étudier les galaxies sources de sursauts encore plus distants que FRB 20220610A.

Un jet stream de Jupiter

Basé sur un communiqué NASA/Webb

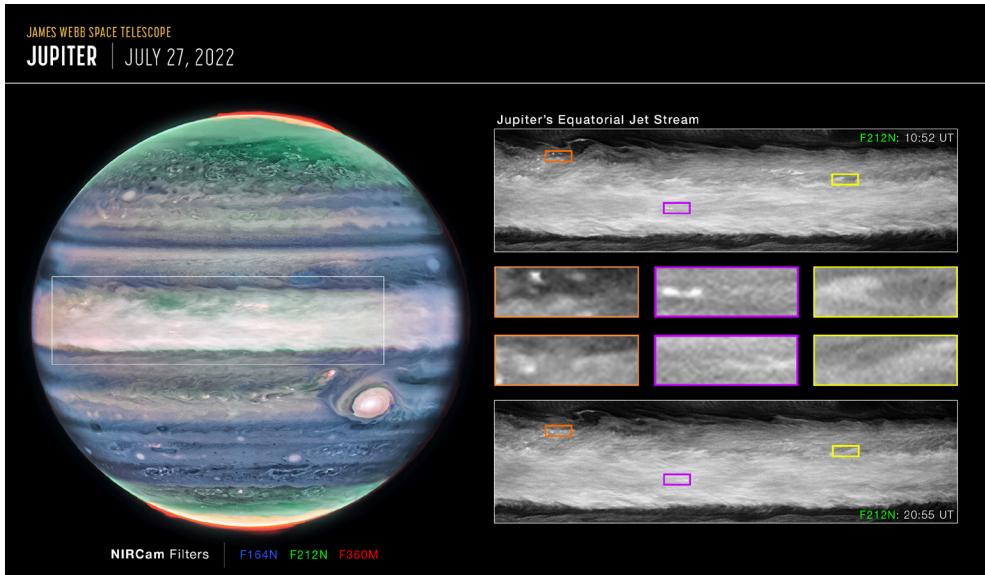
Le JWST a permis de découvrir une nouvelle caractéristique de l'atmosphère de Jupiter : un jet stream s'étendant sur plus de 4 800 kilomètres au-dessus de l'équateur. Cette découverte donne un aperçu de la manière dont les couches de l'atmosphère turbulente de Jupiter interagissent entre elles.

Pour arriver à ce résultat, les chercheurs ont analysé les données de la caméra NIRCam du JWST obtenues en juillet 2022 dans le cadre du programme Early Release Science conçu pour photographier Jupiter toutes les 10 heures (durée du jour de Jupiter). Quatre filtres étaient utilisés, chacun capable de détecter de

Jupiter vue par le JWST. La caméra NIRCam montre de fins détails de la majestueuse planète en lumière infrarouge. Sur cette image, la brillance indique une altitude élevée. Les nombreuses taches et traînées d'un blanc intense sont probablement des sommets de hauts nuages de tempêtes convectives. Les aurores, apparaissant en rouge, s'étendent à des altitudes plus élevées au-dessus des pôles. En revanche, les bandes sombres au nord de la région équatoriale sont peu nuageuses.

(NASA, ESA, CSA, STScI, R. Hueso/U. of the Basque Country, I. de Pater (U. of California, Berkeley, T. Fouchet/ Observatoire de Paris, L. Fletcher/U. of Leicester, M. Wong/U. of California, Berkeley, J. DePasquale/STScI)





petits changements à différentes altitudes de l'atmosphère de Jupiter.

Divers télescopes au sol, des engins spatiaux comme Juno et Cassini ainsi que le télescope spatial Hubble ont longtemps observé les changements météorologiques du système jovien, mais le JWST s'est montré capable de nouvelles découvertes sur les anneaux, les satellites et l'atmosphère de la planète.

Bien que Jupiter soit différente de la Terre à bien des égards – Jupiter est une géante gazeuse, la Terre est un monde rocheux et tempéré – les planètes ont toutes deux des atmosphères stratifiées. Les longueurs d'onde infrarouge, visible, radio et ultraviolette observées jusqu'à maintenant détectaient les couches profondes de l'atmosphère de la planète, là où sévissent de gigantesques tempêtes et flottent des nuages d'ammoniac.

Le télescope spatial JWST, quant à lui, travaille plus loin dans l'infrarouge, et regarde des couches de l'atmosphère à plus haute altitude, entre 25 et 50 kilomètres, au-dessus des sommets des nuages de Jupiter. Dans ces longueurs d'onde, les brumes élevées apparaissent

Jupiter vue par le JWST. Détails du jet stream.

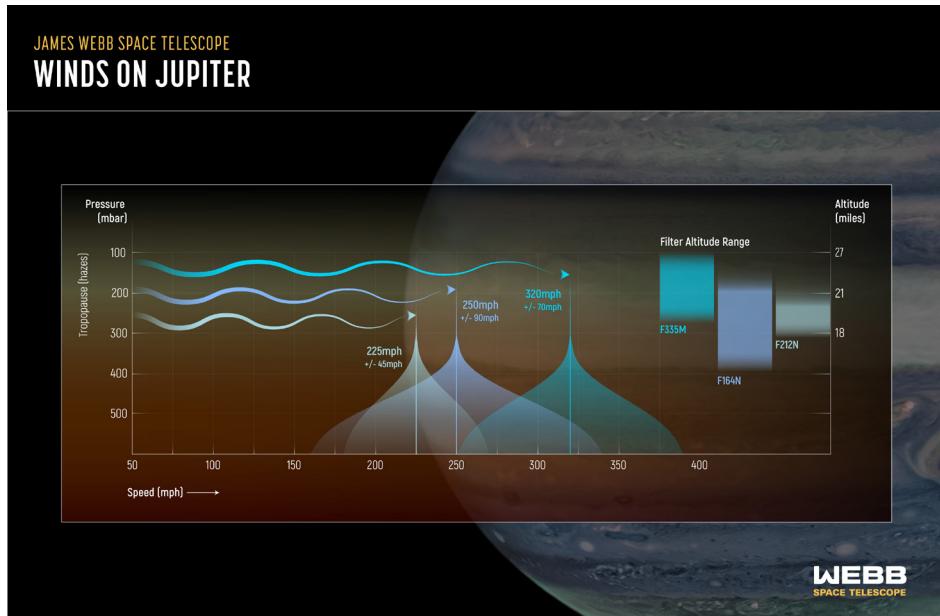
(NASA, ESA, CSA, STScI, R. Hueso/U. of the Basque Country, I. de Pater (U. of California, Berkeley, T. Fouchet/Observatoire de Paris, L. Fletcher/U. of Leicester, M. Wong/U. of California, Berkeley, J. DePasquale/STScI)

généralement floues, avec une surbrillance dans la région équatoriale.

Le jet stream découvert par le JWST est situé à environ 40 kilomètres au-dessus des nuages, dans la basse stratosphère de Jupiter. Il montre des vitesses de plus de 500 kilomètres par heure, soit deux fois celles des vents soutenus d'un ouragan de catégorie 5 sur Terre.

En comparant les vents observés par Webb à haute altitude aux vents observés dans les couches plus profondes de Hubble, les chercheurs ont pu mesurer la vitesse à laquelle les vents changent avec l'altitude et peuvent générer des cisaillements de vent.

Alors que la résolution et la couverture en longueur d'onde du JWST ont permis la



détection de petits nuages utilisés pour tracer le jet, les observations complémentaires de Hubble prises un jour plus tard se sont révélées cruciales pour déterminer l'état de base de l'atmosphère équatoriale de Jupiter et observer le développement de tempêtes convectives dans l'équateur, non connectées au jet. Alors que ces deux télescopes spatiaux révélaient la structure tridimensionnelle des nuages d'orage, le timing des données permettaient d'estimer la vitesse avec laquelle les tempêtes se développaient.

Les chercheurs attendent avec impatience des observations supplémentaires de Jupiter par le JWST pour déterminer si la vitesse et l'altitude du jet changent avec le temps.

Jupiter a un modèle complexe mais reproductible de vents et de températures dans sa stratosphère équatoriale, bien au-dessus des vents parcourant les nuages et les brumes mesurés à ces longueurs d'onde. Si la force de ce nouveau jet obéit à ce modèle stratosphérique oscillant, on peut s'attendre à ce que le jet varie considérablement au cours des 2 à 4 prochaines années.

À la longueur d'onde de 2,12 microns, entre 20 et 35 kilomètres au-dessus des sommets des nuages de Jupiter, les chercheurs ont repéré plusieurs cisaillements de vent dans le jet stream, c'est-à-dire des zones où la vitesse du vent change rapidement avec la hauteur ou avec la distance, ce qui leur a permis de suivre le jet. Cette image met en évidence plusieurs caractéristiques autour de la zone équatoriale de Jupiter qui, sur une seule rotation de la planète, sont très clairement perturbées par le mouvement du jet stream. (NASA, ESA, CSA, STScI, R. Hueso/U. of the Basque Country, I. de Pater/U. of California, Berkeley, T. Fouchet/Observatoire de Paris, L. Fletcher/U. of Leicester, M. Wong/U. of California, Berkeley, A. James/STScI)

MACS0416

Basé sur un communiqué Webb

Les données des télescopes spatiaux JWST et Hubble ont été combinées pour former une image spectaculaire de galaxies MACS0416 alliant les lumières visible et infrarouge. Situé à environ 4,3 milliards d'années-lumière de la Terre, MACS0416 est une paire d'amas de galaxies en collision qui finiront par se combiner pour former un amas encore plus grand.

L'image révèle une richesse de détails qui n'a pu être atteinte qu'en combinant la puissance des deux télescopes spatiaux. Cela comprend une multitude de galaxies en dehors de l'amas et une multitude de sources qui varient dans le temps, probablement en raison de la lentille gravitationnelle.

Les couleurs donnent des indications sur les distances des galaxies : les galaxies les plus bleues (observées par Hubble) sont relativement proches et montrent souvent une forte activité de formation stellaire. Les galaxies les plus rouges (Webb) ont tendance à être plus éloignées. Certaines galaxies peuvent

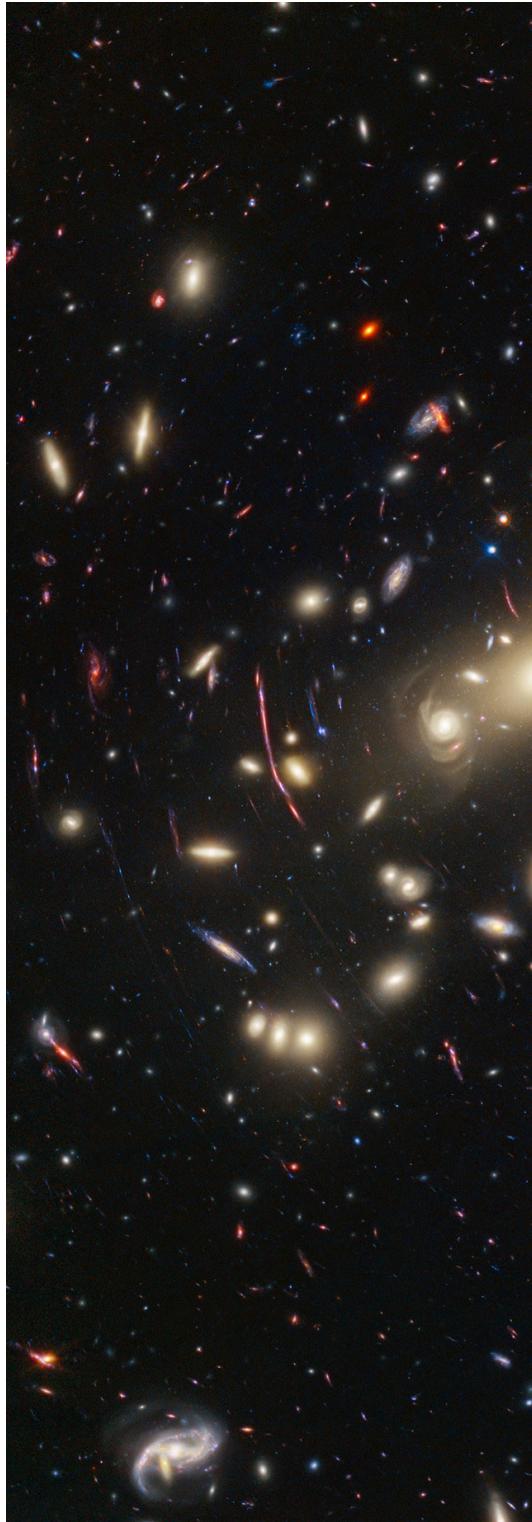
Vue panchromatique de l'amas de galaxies MACS0416 combinant les données Hubble et JWST.

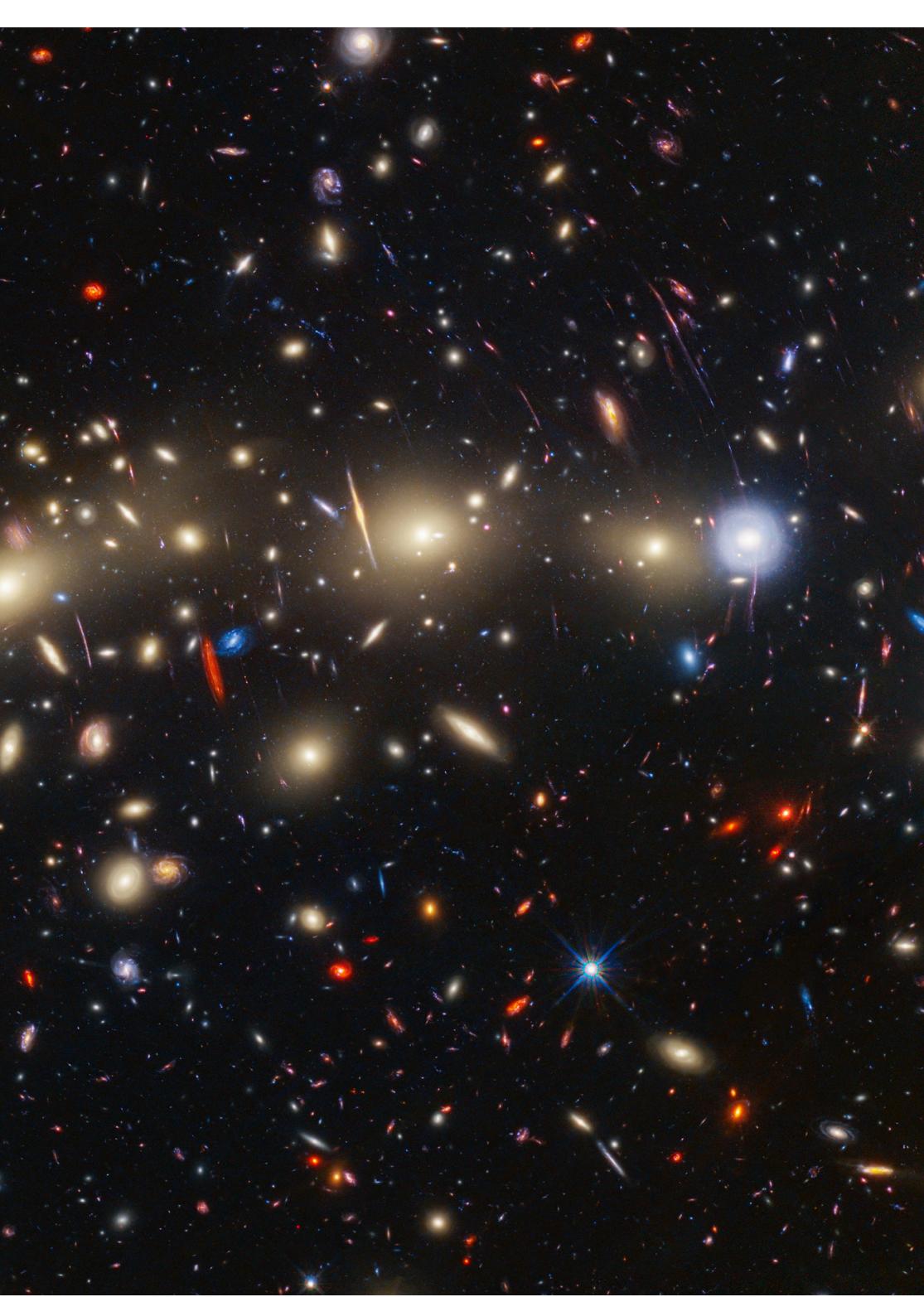
La couverture en longueur d'onde, de 0,4 à 5 microns, révèle un spectaculaire paysage de galaxies, probablement l'une des vues les plus colorées de l'Univers jamais créées.

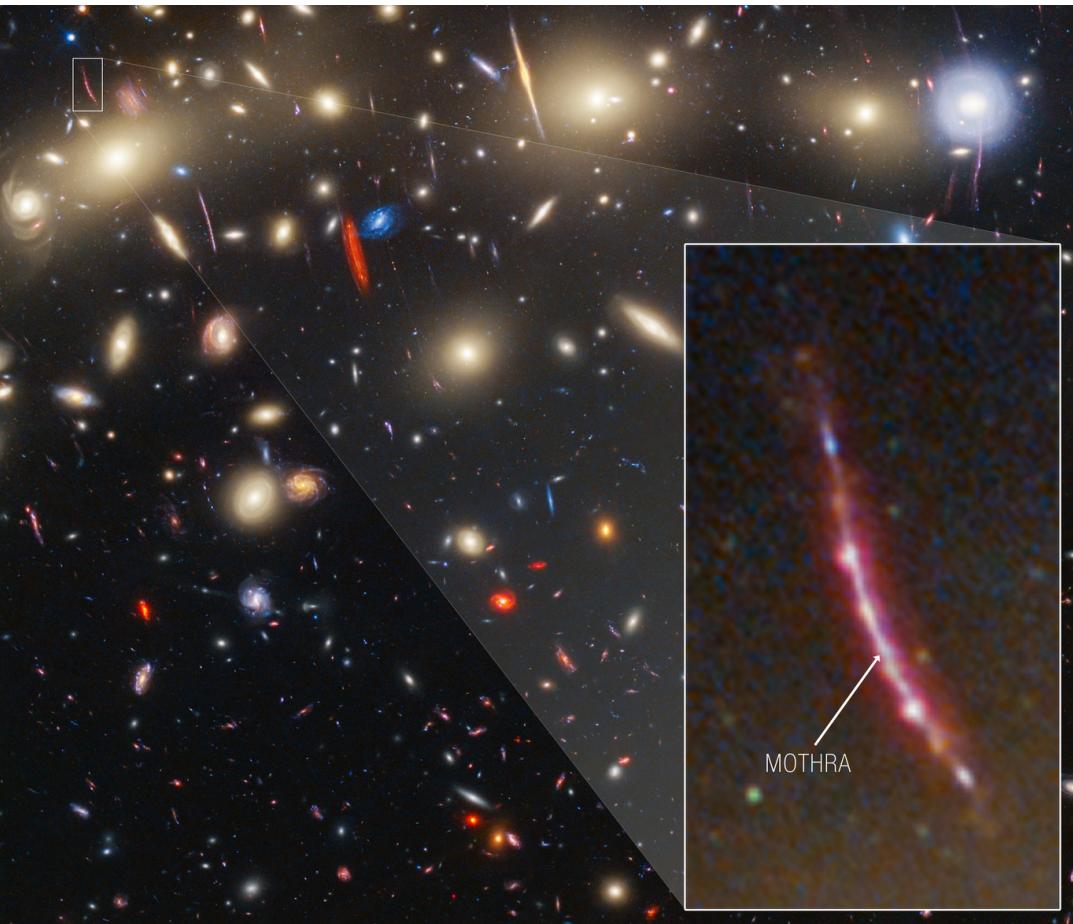
L'amas agit comme une lentille gravitationnelle ce qui a permis d'identifier des supernovæ et même des étoiles individuelles dans des galaxies beaucoup plus lointaines.

Dans cette image, le bleu représente les données aux longueurs d'onde de 0,435 et 0,606 microns ; le cyan est de 0,814, 0,9 et 1,05 microns ; le vert correspond à 1,15, 1,25, 1,4, 1,5 et 1,6 microns ; le jaune est de 2,00 et 2,77 microns ; l'orange correspond à 3,56 microns ; et le rouge représente les données à 4,1 et 4,44 microns.

(NASA, ESA, CSA, STScI, J.M. Diego/IFCA, J.C.J. D'Silva/UWA, A.M. Koekemoer/STScI, J. Summers/ASU, R. Windhorst/ASU, Haojing Yan /U. Missouri)



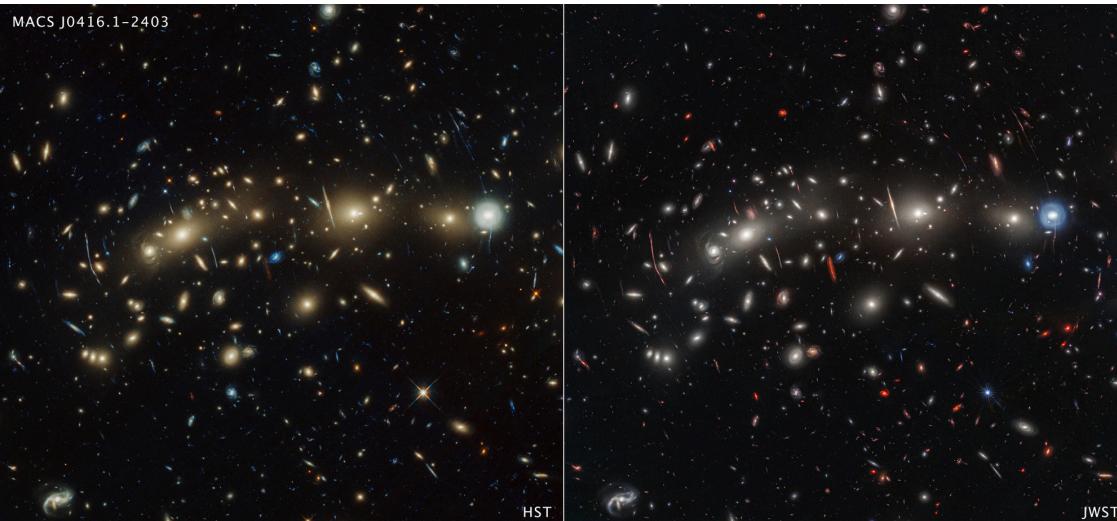




Cet extrait de l'image de l'amas MACS0416 met en évidence une galaxie particulière qui existait environ 3 milliards d'années après le Big Bang. Cette galaxie contient l'objet transitoire « Mothra », une étoile dont l'éclat est fortement amplifié par la gravité de l'amas, mais aussi par un objet invisible, peut-être un amas globulaire.

(NASA, ESA, CSA, STScI, J.M. Diego/IFCA, J.C.J. D'Silva/UWA, A.M. Koekemoer/STScI, J. Summers/ASU, R. Windhorst/ASU, Haojing Yan /U. Missouri)

MACS J0416.1-2403



Comparaison des images de l'amas de galaxies MACS0416 vu par le télescope spatial Hubble en lumière visible et le télescope spatial JWST en infrarouge. Cette dernière montre des galaxies invisibles ou à peine visibles dans l'image Hubble. Le temps d'exposition total pour le JWST était d'environ 22 heures, contre 122 heures pour l'image de Hubble.
(NASA, ESA, ASC, STScI)

apparaître très rouges si elles contiennent de grandes quantités de poussières.

Même si les nouvelles observations de Webb contribuent à cette vision esthétique, elles ont été réalisées dans un but scientifique spécifique. Les observations ont été faites à quatre époques distinctes. L'objectif était de rechercher des objets appelés transitoires.

Les astronomes ont identifié quatorze de ces transitoires dont douze situés dans trois galaxies fortement agrandies par lentille gravitationnelle. Ce sont probablement des étoiles individuelles ou multiples qui sont brièvement et fortement amplifiées par la lentille gravitationnelle constituée par l'amas. Les deux transitoires restants se situent dans des galaxies de fond plus modérément agrandies et sont probablement des supernovæ.

Un des transitoires est particulièrement remarquable. Situé dans une galaxie qui existait environ 3 milliards d'années après le Big Bang, son éclat est augmenté d'un facteur d'au moins 4 000. Surnommé « Mothra », il rejoint une autre étoile « à lentille » que les chercheurs avaient précédemment surnommée « Godzilla ». (Godzilla et Mothra sont tous deux des monstres géants connus sous le nom de kaiju dans le cinéma japonais.)

Il est intéressant de noter que Mothra est également visible dans les observations de Hubble effectuées neuf ans auparavant. Ceci est inhabituel, car un alignement très spécifique entre l'amas de galaxies du premier plan et l'étoile d'arrière-plan est nécessaire pour agrandir autant une étoile. Les mouvements mutuels de l'étoile et de l'amas auraient finalement dû éliminer cet alignement.

L'explication la plus probable est qu'il existe un objet supplémentaire dans le groupe au premier plan qui ajoute un grossissement supplémentaire. L'équipe a réussi à limiter sa masse à une valeur comprise entre 10 000 et 1 million de fois la masse de notre Soleil. Peut-être s'agit-il d'un amas d'étoiles globulaires trop faible pour que Webb puisse le voir directement.

Un satellite pour Dinkinesh

Basé sur un communiqué NASA

Le 1^{er} novembre, la sonde spatiale Lucy de la NASA a survolé sa première cible, le petit astéroïde de la ceinture principale Dinkinesh. Dans les semaines précédant le survol, se basant sur les courbes de lumière, l'équipe de Lucy s'était demandé si Dinkinesh pouvait être un système binaire. Les premières images de la rencontre ont levé le doute. Dinkinesh est un couple serré. À partir d'une analyse préliminaire des premières images disponibles, l'équipe estime que le corps le plus grand mesure environ 790 m de large au maximum, tandis que le plus petit mesure environ 220 m.

La mission Lucy était initialement destinée à survoler sept astéroïdes. On y a ajouté Dinkinesh et deux lunes troyennes. Si l'on compte le satellite, cela fera un minimum de 11 cibles.

Cette rencontre servait principalement de test en vol du vaisseau spatial, et particulièrement du suivi automatique d'un astéroïde survolé à une vitesse de plusieurs kilomètres par seconde.

Les images ci-contre ont été prises à 13 secondes d'intervalle. Le mouvement apparent des deux astéroïdes est dû au déplacement rapide du vaisseau spatial et non au mouvement orbital, très lent, du couple d'astéroïdes.

L'équipe de Lucy utilisera ces données pour évaluer le comportement du vaisseau spatial lors de la rencontre et pour préparer la prochaine observation lors du survol de l'astéroïde de la ceinture principale Donaldjohanson, en 2025. Lucy sera alors bien préparée pour rencontrer les principales cibles de la mission, les astéroïdes troyens de Jupiter, à partir de 2027.

