



# L'astronomie dans le monde

## ***HD 106906***

*Basé sur un communiqué NASA*

L'orbite improbable d'une planète géante autour de HD 106906 – une étoile double de 8<sup>e</sup> magnitude dans la Croix du Sud – nous montre peut être une réalisation d'une hypothèse relative au Système solaire, la planète X.

C'est la première fois que les astronomes mesurent le mouvement d'une exo-Jupiter en orbite très loin de ses étoiles hôtes et de son disque de débris. Ce disque est similaire à la ceinture de Kuiper entourant le Soleil au-delà de Neptune, et composée de petits corps glacés.

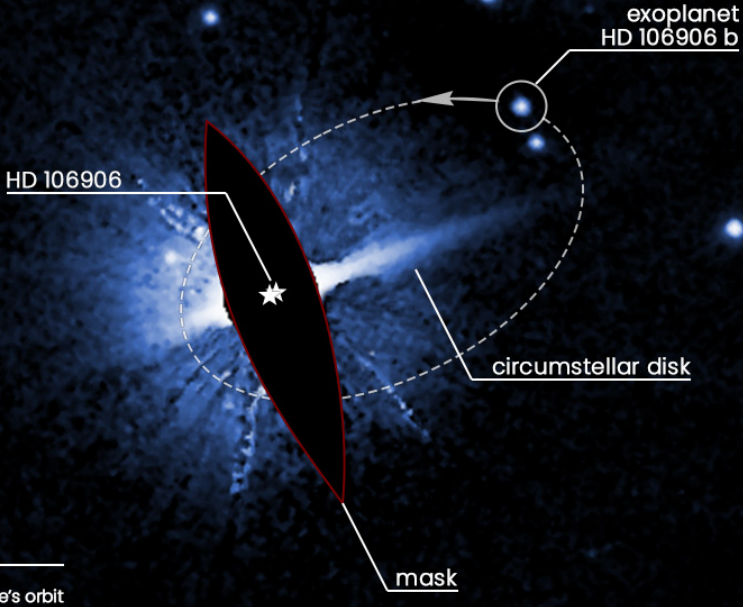
Selon certains, le Système solaire pourrait contenir une planète massive, la planète X ou 9, qui, comme la planète accompagnant le couple HD 106906, se trouverait également loin de la ceinture de Kuiper, et se déplacerait sur une orbite tout aussi étrange.

*Vue d'artiste de la planète géante HD 106906 b, loin de son étoile binaire entourée d'un disque de débris. (NASA, ESA, M. Kornmesser/ESA/Hubble)*

La découverte de HD 106906 b dans ce système distant de 336 années-lumière est la preuve que de telles trajectoires bizarres sont possibles. L'orbite de l'exoplanète est très grande, allongée et fortement inclinée sur le plan du disque, tout comme on le prédit pour la planète X. Cela pose la question de savoir comment ces planètes se sont formées et ont évolué pour aboutir à leur configuration actuelle.

Le système où réside cette géante gazeuse n'a que 15 millions d'années. Cela suggère que notre hypothétique planète X pourrait s'être formée très tôt dans l'évolution du Système solaire vieux de 4,6 milliards d'années.

## HD 106906 Hubble Space Telescope



L'exoplanète HD 106906 b, aussi massive que 11 Jupiters, a été découverte en 2013 avec les télescopes Magellan à l'observatoire de Las Campanas dans le désert d'Atacama au Chili. Pour obtenir son orbite il a fallu faire appel au télescope spatial Hubble. Lui seul pouvait recueillir des mesures très précises du mouvement de l'astre sur un intervalle de 14 ans avec une précision extraordinaire. Ces données ont fourni les preuves de ce mouvement.

L'exoplanète se trouve extrêmement loin de sa paire d'étoiles jeunes et brillantes – plus de 730 fois la distance entre la Terre et le Soleil, soit 110 milliards de kilomètres. En conséquence, la planète se déplace très lentement le long de son orbite, qu'elle complète en 15 000 ans. Estimer ce mouvement en quelques années constitue un véritable exploit.

*Le tracé d'une orbite possible de la planète HD 106906 b est superposé à une image prise par le télescope spatial Hubble. (NASA, ESA, M. Nguyen / University of California, Berkeley, R. De Rosa / European Southern Observatory, P. Kalas / University of California, Berkeley / SETI Institute)*

Comment l'exoplanète est-elle arrivée sur une orbite aussi éloignée et étrangement inclinée ? La théorie dominante est qu'elle s'est formée beaucoup plus près des étoiles, à environ trois fois la distance qui sépare la Terre du Soleil. Mais la friction exercée par le gaz du disque l'a forcée à migrer vers le couple stellaire. Les effets gravitationnels des étoiles jumelles tourbillonnant l'une autour de l'autre l'ont alors projetée sur une orbite excentrique qui l'a presque éjectée dans le vide interstellaire. Le passage opportun d'une étoile extérieure au système aura stabilisé l'orbite de l'exoplanète en l'empêchant de quitter son système d'origine.

Grâce aux mesures précises de distance et de mouvement réalisées par le satellite astrométrique Gaia de l'Agence spatiale européenne, les étoiles passant candidates ont même pu être identifiées.

Le disque de débris est lui aussi d'apparence très inhabituelle, peut-être en raison des perturbations dues à la force gravitationnelle de la planète. Il est fortement asymétrique, bien éloigné de la distribution circulaire habituelle en forme de pizza. Un côté du disque est tronqué, et il est plus mince d'un côté que de l'autre. L'idée est que chaque fois que la planète se rapproche au plus près de l'étoile binaire, elle remue la matière du disque. Elle tronque le disque et le repousse vers le haut d'un côté. Ce scénario avait été testé par des simulations de ce système, avec une planète dans une orbite similaire et cela, avant même que l'on connaisse l'orbite de la planète.

C'est donc un travail de détective qui a permis de choisir entre des scénarios plausibles. Est-ce que ce sont des étoiles qui ont perturbé la planète en passant assez près, puis la planète qui a perturbé le disque ? Est-ce la binaire centrale qui a d'abord perturbé la planète, puis le disque ? Ou est-ce que les étoiles passantes ont perturbé la planète et le disque en même temps ?

Ce scénario pour l'orbite bizarre de HD 106906 b pourrait être analogue à celui qui aurait entraîné la planète X aux confins du Système solaire, bien au-delà de l'orbite

des autres planètes et au-delà de la ceinture de Kuiper. L'hypothétique planète pourrait s'être formée dans le Système solaire intérieur et avoir été expulsée par les interactions avec Jupiter. Cependant, Jupiter aurait très probablement projeté la planète bien au-delà de Pluton. Les étoiles proches auraient alors stabilisé l'orbite de la planète expulsée en éloignant son orbite de Jupiter et des autres planètes du Système solaire.

C'est comme si l'on remontait le temps jusqu'à 4,6 milliards d'années et que l'on pouvait assister à ce qui a pu se passer lorsque notre jeune système planétaire était dynamiquement actif et que tout était bousculé et réorganisé.

À ce jour, les astronomes ne disposent que de preuves circonstancielles pour l'existence d'une planète X. Ils ont trouvé un ensemble d'objets transneptuniens qui se déplacent sur des orbites inhabituelles par rapport au reste du Système solaire. Cette configuration, selon certains astronomes, suggère que ces objets ont été rassemblés par l'attraction gravitationnelle d'une énorme planète invisible. Une autre théorie est qu'il n'y a pas une seule planète géante perturbatrice, mais que le déséquilibre est plutôt dû à l'influence gravitationnelle combinée de multiples objets beaucoup plus petits. Une autre théorie est que la planète n'existe tout simplement pas et que le regroupement de corps plus petits n'est peut-être qu'une anomalie statistique.

Les scientifiques qui utiliseront le futur télescope spatial James Webb de la NASA prévoient d'obtenir des données sur HD 106906 b pour comprendre la planète en détail. La planète a-t-elle son propre système de débris autour d'elle ? Capte-t-elle des matériaux chaque fois qu'elle s'approche des étoiles hôtes ? Cela pourrait s'étudier avec les données dans l'infrarouge thermique. Le télescope Webb pourrait aussi aider à la détermination précise de l'orbite.

Parce que Webb est sensible aux petites planètes de la masse de Saturne, il pourrait être capable de détecter d'autres exoplanètes qui ont été éjectées de ce système et d'autres systèmes.

## Bêta Pictoris b

Basé sur un communiqué MPG

En combinant la lumière des quatre télescopes du VLT de l'ESO, les astronomes de la collaboration GRAVITY ont réussi à observer directement une exoplanète proche de son étoile. Bêta Pictoris c devient ainsi la première planète détectée à la fois par la méthode des vitesses radiales et par imagerie directe. Elle est si proche de l'étoile que même les meilleurs télescopes n'avaient encore pu l'observer.

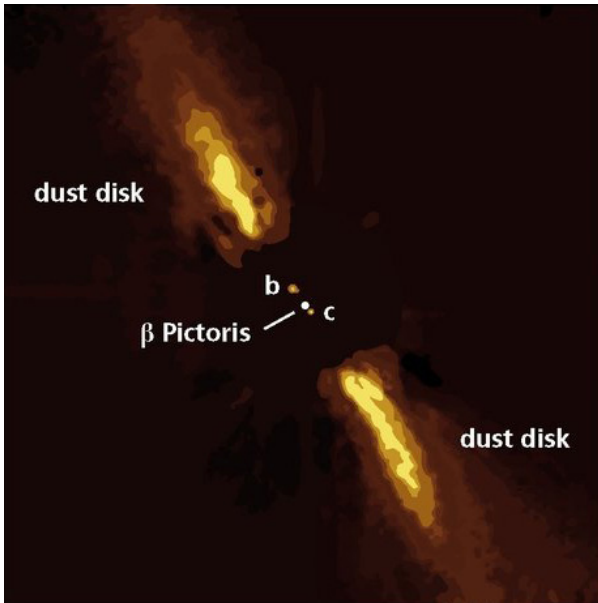
L'instrument GRAVITY, situé dans un laboratoire sous les quatre télescopes du VLT, combine ceux-ci en un télescope virtuel d'une sensibilité et d'une résolution exceptionnelles permettant d'explorer de nouveaux mondes étonnants, du trou noir supermassif au centre de notre galaxie aux planètes en dehors du Système solaire.

La détection directe avec GRAVITY n'a cependant été possible que grâce à de nouvelles mesures de vitesse radiale établissant précisément le mouvement orbital de Bêta Pictoris c. Cela a permis à l'équipe de

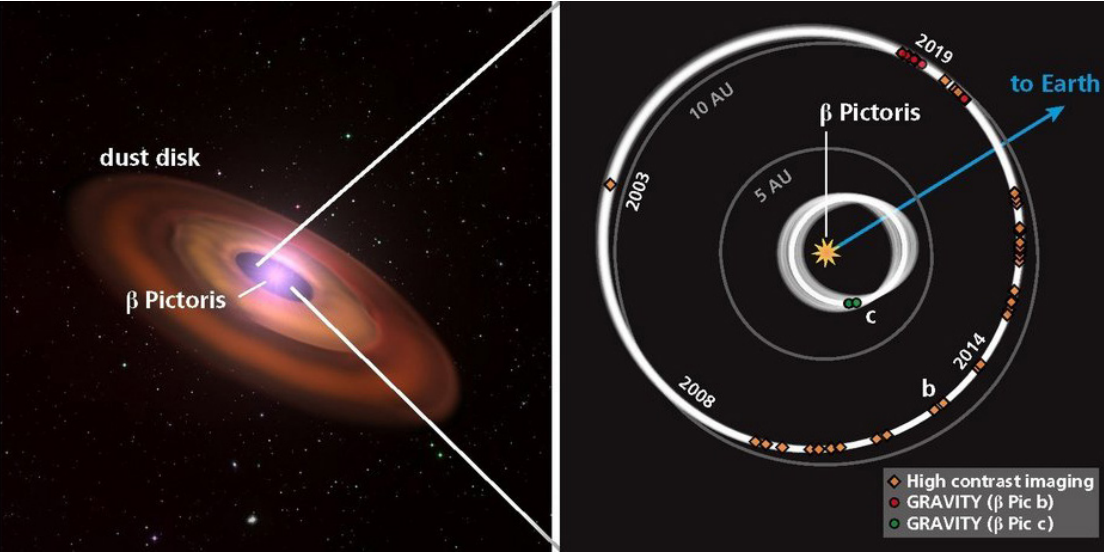
prédire avec précision la position de la planète afin que GRAVITY puisse la localiser.

En plus de la confirmation indépendante de l'exoplanète, les astronomes peuvent désormais combiner les connaissances issues de ces deux techniques auparavant distinctes. On peut maintenant obtenir à la fois la luminosité et la masse de cette exoplanète. En règle générale, plus la planète est massive, plus elle est lumineuse. Dans ce cas cependant, les données sont quelque peu déroutantes. L'éclat de Bêta Pictoris c est six fois plus faible que celui de sa grande sœur, Bêta Pictoris b. Sa masse est huit fois celle de Jupiter. Quelle est donc la masse de b ? Les données sur la vitesse radiale répondront finalement à cette question, mais il faudra beaucoup de temps pour obtenir suffisamment de données : une orbite complète de la planète b autour de son étoile prend 28 ans.

Jusqu'à présent GRAVITY avait obtenu des spectres d'exoplanètes directement imagedes, qui contenaient déjà des indices sur leur processus de formation. La mesure de la luminosité de Bêta Pictoris c, combinée à sa masse, est une étape particulièrement importante pour contraindre les modèles de formation de planètes. Des données supplémentaires seront apportées par GRAVITY+, l'instrument de prochaine génération, qui est en cours de développement.

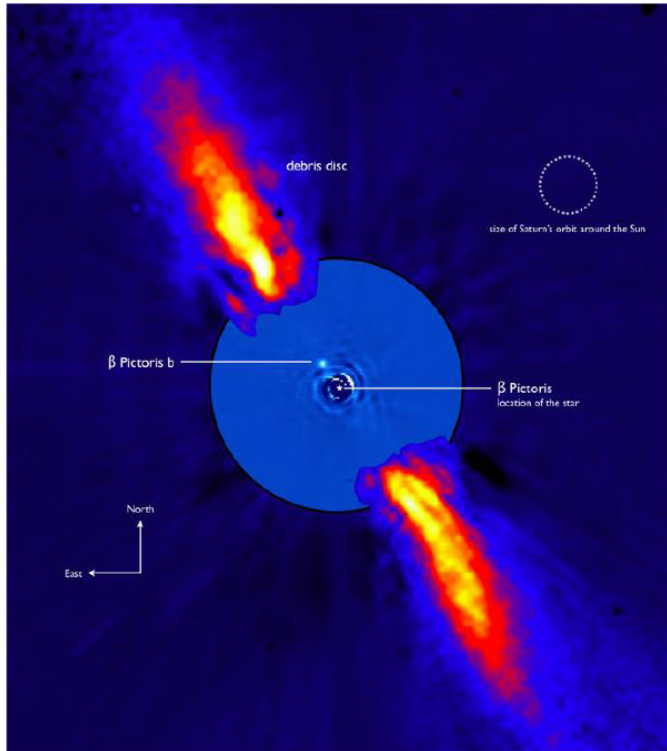


*Image de Bêta Pictoris construite à partir d'observations réelles et montrant l'étoile et les deux planètes noyées dans le disque de poussières presque vu par la tranche. (Axel Quetz / MPIA Graphics Department)*



▲ *Vue d'artiste du système disque-planètes de Bêta Pictoris. L'image de droite montre les dimensions du système vu du dessus. Les observations précédentes de Bêta Pictoris b sont représentées par des carrés orange et des cercles rouges. Son orbite est le grand cercle blanc. Les nouvelles observations directes de Bêta Pictoris c sont marquées par des cercles verts. L'orbite réelle de la planète c est encore très incertaine et est représentée par l'anneau central blanc et gris. (Axel Quetz / MPIA Graphics Department)*

► *La première image de Bêta Pictoris b avait été obtenue avec NACO sur le VLT en 2003 (partie centrale de l'image). La partie extérieure de l'image montre le disque de poussières observé en 1996 avec ADONIS sur le télescope de 3,6 m de l'ESO. (ESO/A.-M. Lagrange et al.)*



## ***Astronomie multi-messagère***

*Basé sur un communiqué DOE/  
Los Alamos National Laboratory*

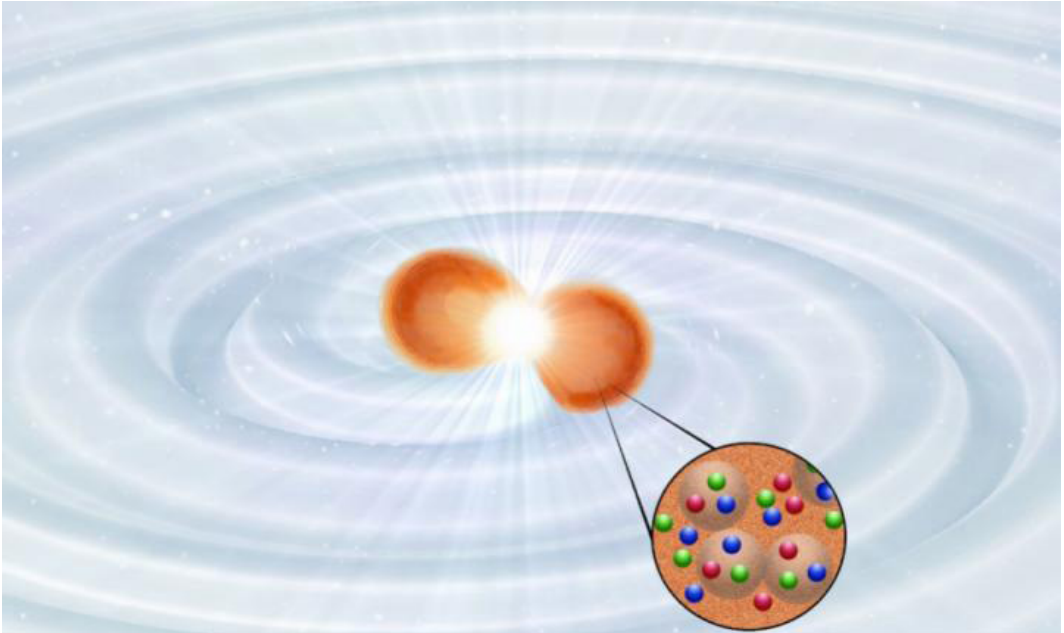
La combinaison de mesures astrophysiques a permis aux chercheurs d'imposer de nouvelles contraintes sur le rayon d'une étoile à neutrons typique et de fournir un nouveau calcul de la constante de Hubble qui indique la vitesse d'expansion de l'Univers.

Les astronomes ont combiné les observations d'ondes gravitationnelles et les émissions électromagnétiques provenant de fusions d'étoiles à neutrons avec les mesures antérieures de la masse de pulsars, ainsi que de récents résultats de NICER (Neutron Star Interior Composition Explorer). Ils ont découvert que le rayon d'une étoile à neutrons typique est d'environ 11,75 kilomètres et que la constante de Hubble est d'environ 66,2 kilomètres par seconde par mégaparsec.

L'incertitude sur les dimensions des étoiles à neutron est ainsi réduite à 800 mètres.

La nouvelle approche de la mesure de la constante de Hubble alimente le débat issu du désaccord entre d'autres déterminations. Les mesures basées sur l'observation de supernovæ sont en contradiction avec celles qui proviennent de l'examen du fond cosmologique des micro-ondes (CMB), qui est essentiellement le reste de l'énergie du Big Bang. Les incertitudes du nouveau calcul multi-messager sont trop importantes pour résoudre définitivement le désaccord, mais la nouvelle estimation favorise l'approche CMB.

***Collision de deux étoiles à neutrons montrant les émissions d'ondes électromagnétiques et gravitationnelles pendant le processus de fusion. L'interprétation multi-messagère permet aux astrophysiciens de comprendre la composition interne des étoiles à neutrons et de révéler les propriétés de la matière dans les conditions les plus extrêmes de l'Univers.***  
*(Tim Dietrich)*



## **NGC 2525 et SN2018gv**

*Basé sur un communiqué ESA*

Le télescope spatial Hubble de la NASA/ESA a suivi l'affaiblissement de la lumière de la supernova SN2018gv dans NGC 2525, une galaxie spirale située à 70 millions d'années-lumière. SN2018gv a été détectée à la mi-janvier 2018. Le télescope spatial Hubble a commencé à l'observer en février 2018 et l'a suivie avec assiduité. Il en est résulté un time-lapse couvrant une année entière (page suivante).

Les supernovæ comme celle-ci proviennent d'une naine blanche dans un système binaire serré accrétant de la matière d'une étoile compagne. Si la naine blanche atteint une masse critique (1,44 fois la masse du Soleil), son noyau devient suffisamment chaud pour déclencher la fusion du carbone, un processus d'emballement thermonucléaire qui fusionne de grandes quantités d'oxygène et de carbone en quelques secondes. L'énergie libérée déchire l'étoile dans une violente explosion, éjectant de la matière à une vitesse pouvant atteindre 6 % de celle de la lumière et émettant d'énormes quantités de rayonnement. Les supernovæ de type Ia atteignent une luminosité maximale de 5 milliards de fois celle du Soleil avant de s'éteindre graduellement.

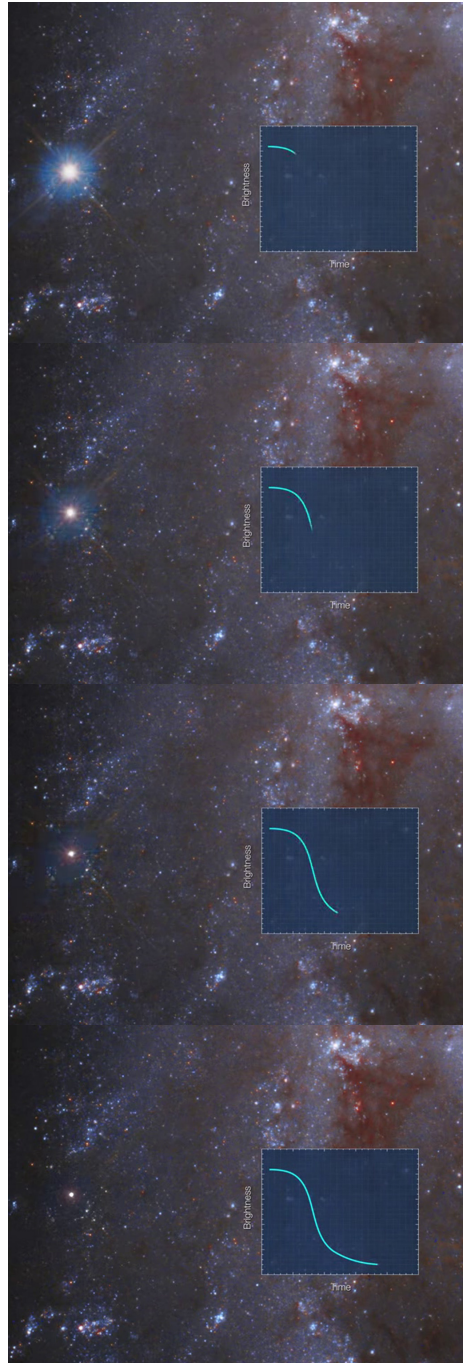
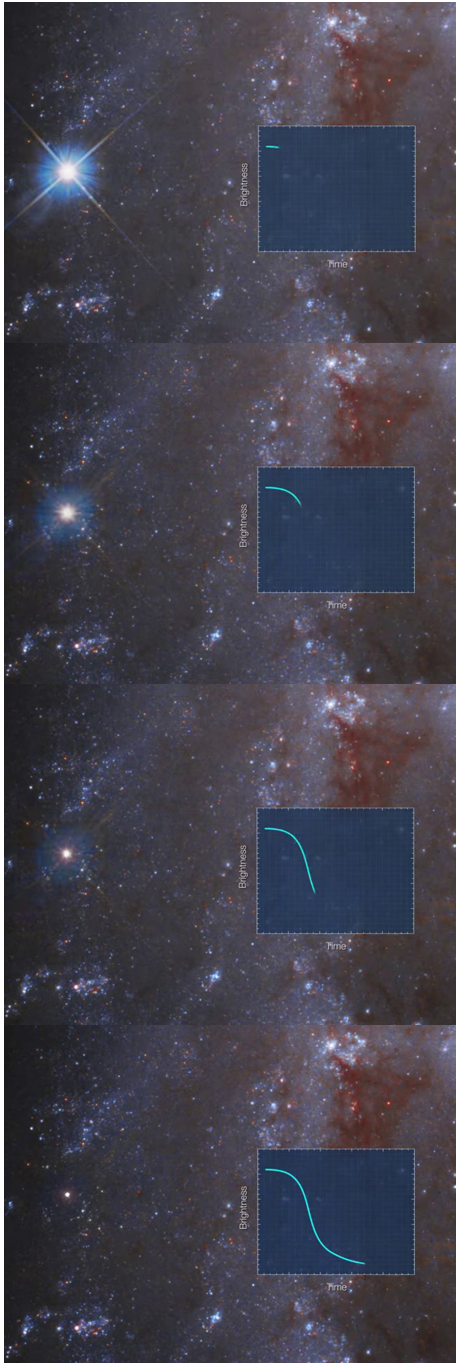
Parce que les supernovæ de ce type produisent cette luminosité fixe, elles sont devenues des étalons de luminosité qui servent à estimer les distances cosmiques. En connaissant la luminosité réelle de la supernova et en observant son éclat apparent dans le ciel, les astronomes peuvent en calculer la distance. Pour ajuster ces étalons, il suffit d'en observer dans des galaxies dont on connaît la distance par le biais des étoiles variables Céphéides. Les Céphéides varient périodiquement de taille, provoquant des changements réguliers de luminosité. Cette période est directement liée à la luminosité de l'étoile, une relation relativement bien connue et qui permet de mesurer la distance des galaxies proches.

Les supernovæ sont observables de très loin. On peut ainsi mesurer avec précision leur distance et évaluer le taux d'expansion de l'Univers, la constante de Hubble.

Depuis son lancement, le télescope spatial Hubble a contribué à améliorer considérablement la précision de la constante de Hubble. Les résultats du programme d'observation dont fait partie NGC 2525 ont réduit l'incertitude sur cette mesure à moins de 2%. D'autres mesures de NGC 2525 devraient contribuer à réduire l'incertitude au niveau de 1%, en précisant la vitesse d'expansion de l'Univers. Cela pourrait conduire à découvrir des indices sur les mystérieuses matière et énergie noires.



*La supernova SN2018gv avait été photographiée le 12 février 2018 par Pierre Ponsard avec le T305 de l'observatoire de Lafosse. Voir *Le Ciel* d'avril 2018, p. 247*





*Photographie par le télescope spatial Hubble de la galaxie australe NGC 2525  
située dans la Poupe à une distance de 70 millions d'années-lumière.  
Sur la page précédente on peut voir des images extraites d'une séquence faite  
par Hubble.  
(ESA/Hubble & NASA, A. Riess, SH0ES team ; Mahdi Zamani)*

## Galaxies piégées

*Basé sur un communiqué ESO*

Grâce au Very Large Telescope (VLT) de l'ESO, des astronomes ont découvert six galaxies très près d'un trou noir supermassif, alors que l'Univers était âgé de moins d'un milliard d'années. C'est la première fois qu'un tel regroupement, formé si tôt après le Big Bang, est observé. Cette détection permet de mieux comprendre la formation et la croissance rapide des trous noirs supermassifs, dont un représentant siège au cœur de notre galaxie.

Les premiers trous noirs, probablement issus de l'effondrement gravitationnel des premières étoiles, ont grandi très rapidement pour atteindre des masses voisines du milliard de masses solaires au cours des 900 premiers millions d'années de l'Univers. Les astronomes se sont efforcés d'expliquer la croissance si rapide de ces objets en mettant en avant la disponibilité, à l'époque considérée, de vastes quantités de carburant. La structure que l'on vient de découvrir offre un scénario plausible. Elle renferme assez de gaz pour alimenter le trou noir central et le transformer rapidement en un géant supermassif.

Mais comment se sont formées les toutes premières structures géantes ? Aux dires des astronomes, la présence de vastes halos de matière noire offrirait un début de réponse

à cette question. Ces régions étendues de matière invisible devaient attirer à elles d'énormes quantités de gaz dans l'Univers primitif. Conjointement, le gaz et la matière noire invisible composeraient des ensembles où des galaxies et des trous noirs pourraient évoluer.

L'absence de détection antérieure de telles structures résulte probablement de limites observationnelles. Cette découverte a requis des heures d'observation au moyen des plus grands télescopes optiques disponibles, parmi lesquels le VLT de l'ESO. Grâce aux instruments MUSE et FORS2 installés sur le VLT à l'observatoire Paranal, l'équipe a confirmé l'existence d'un lien entre quatre des six galaxies observées et le trou noir. Sans doute n'est-ce que la partie émergée de l'iceberg – en d'autres termes, les quelques galaxies détectées à proximité de ce trou noir supermassif ne seraient que les plus brillantes.

Ces résultats viennent enrichir notre compréhension de la formation et de l'évolution des trous noirs supermassifs ainsi que des vastes structures cosmiques.

L'Extremely Large Telescope de l'ESO en cours de construction au Chili, pourra s'appuyer sur les résultats de cette étude et observer de nombreuses autres galaxies de moindre luminosité en périphérie des trous noirs massifs de l'Univers jeune.



*Vue d'artiste du trou noir du quasar SDSS J103027.09+052455.0 entouré de galaxies piégées dans sa toile de gaz.  
(ESO/L. Calçada)*

## ***Collision d'amas de galaxies***

*Basé sur un communiqué NOVA*

Une équipe internationale de chercheurs a cartographié neuf gigantesques collisions d'amas de galaxies. Ces collisions ont eu lieu il y a sept milliards d'années et ont pu être observées car elles accélèrent les particules à des vitesses élevées. C'est la première fois que des collisions d'amas aussi éloignés ont été étudiées.

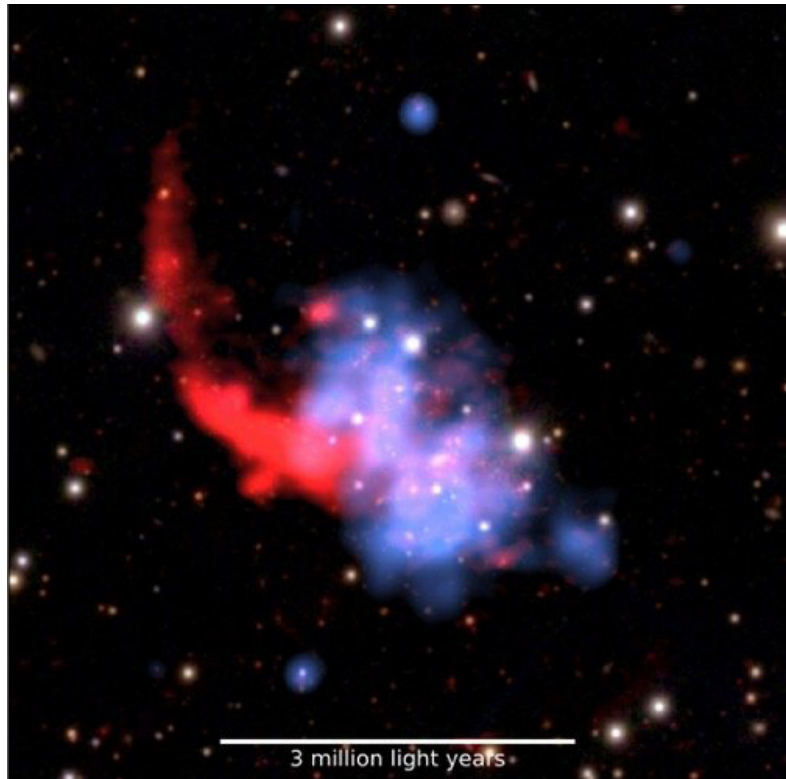
Les amas de galaxies sont les plus grandes structures de l'Univers. Ils peuvent se composer de milliers de galaxies, chacune comportant des milliards d'étoiles. Lorsque ces amas fusionnent, la turbulence accélère les électrons jusqu'à des vitesses proches de celle

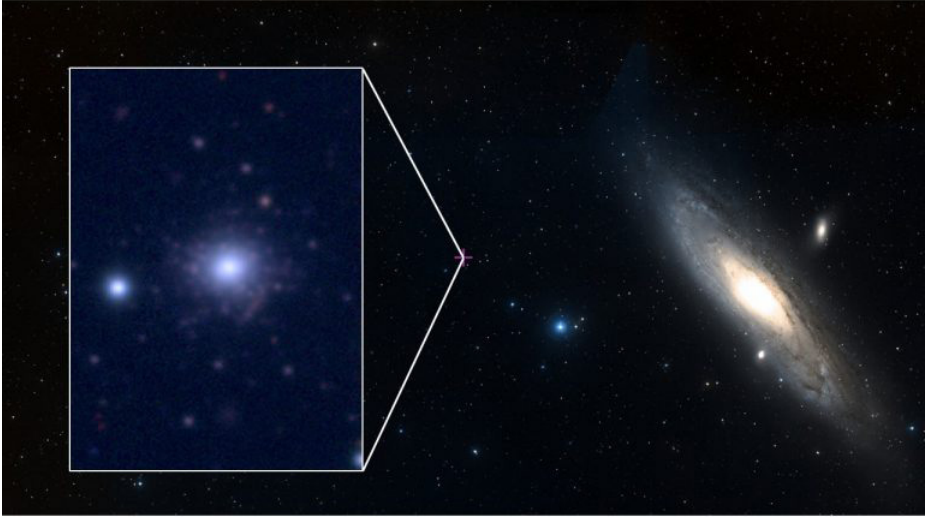
de la lumière. L'interaction des ces électrons avec le champ magnétique des amas conduit à l'émission d'ondes radio.

Jusqu'à présent, les télescopes n'étaient pas assez puissants pour recevoir ces ondes radio d'amas lointains mais, grâce au réseau européen LOFAR et en consacrant huit heures par amas, les chercheurs ont pu pour la première fois recueillir des données détaillées.

L'émission radio des amas en collision est plus intense que prévu. En outre, les champs magnétiques dans les amas lointains se sont révélés aussi puissants que dans les amas proches observés antérieurement. Cela était inattendu dans un Univers encore jeune. Cette étude devrait aider à comprendre leur origine.

*L'amas de galaxies PSZ2 G091.83+26.11 distant de 7 milliards d'années-lumière. Les taches blanchâtres sont des galaxies ou des étoiles d'avant-plan. Les rayons X (en bleu) proviennent d'un gaz chaud de 10 millions à 100 millions de degrés. Les ondes radio (en rouge) proviennent de particules qui ont été accélérées à une vitesse proche de celle de la lumière.  
(PanSTARRS/NASA/Chandra/LOFAR)*





## ***L'amas globulaire RBC EXT8***

*Basé sur un communiqué Keck Observatory*

Les télescopes Keck et CFHT (Canada-France-Hawaii) ont permis de trouver qu'un amas globulaire de la galaxie d'Andromède bat le record de la plus faible quantité de métaux, c'est-à-dire, dans le jargon des astronomes, des éléments plus lourds que l'hydrogène et l'hélium. Les étoiles de l'amas RBC EXT8 contiennent en moyenne 800 fois moins de fer que le Soleil et sont trois fois plus pauvres en fer que celles de l'amas globulaire qui détenait le précédent record. RBC EXT8 est également extrêmement déficient en magnésium.

Il s'agit de l'un des amas les plus brillants de la galaxie d'Andromède, connu depuis des décennies, et pourtant personne ne l'avait examiné en détail. Cette découverte prouve que l'Univers a encore beaucoup de surprises à nous faire découvrir.

L'hydrogène et l'hélium sont les deux principaux éléments créés après le Big Bang. Les éléments plus lourds tels que le fer et le magnésium se sont formés plus tard. La découverte d'un amas globulaire massif comme RBC EXT8, extrêmement pauvre en métaux, défie les modèles de formation actuels, remettant en question certaines de nos idées sur la

***L'amas globulaire RBC EXT8 est en orbite autour de la galaxie d'Andromède, M31, une proche compagne de notre galaxie à 2,5 millions d'années-lumière. (ESASky/CFHT)***

naissance des étoiles et des galaxies. Des amas globulaires massifs pourraient se former dans l'Univers primitif à partir de gaz avec seulement un petit saupoudrage d'éléments autres que l'hydrogène et l'hélium. C'est surprenant car on pensait qu'un tel gaz primordial ne se trouvait que dans des nuages trop petits pour former des amas massifs.

Les chercheurs ont observé RBC EXT8 en utilisant le spectromètre à haute résolution HIRES (High-Resolution Echelle Spectrometer) de l'observatoire Keck en octobre 2019. L'amas globulaire n'était pas au programme originel mais, comme l'équipe disposait encore de quelques heures d'observation, elle a décidé de pointer le télescope Keck I sur cet amas dont le contenu stellaire n'avait pas encore été étudié en détail. Les astronomes ont utilisé des images d'archives du CFHT pour compléter leur étude en déterminant la taille et la masse de l'amas.

## ***Une naine brune découverte en radio***

*Basé sur un communiqué University of Hawaii*

Pour la première fois, les astronomes ont utilisé les observations d'un radiotélescope pour découvrir une naine brune froide. BDR J1750+3809 est ainsi le premier objet substellaire détecté en ondes radio, les naines brunes étant principalement trouvées à partir de surveys infrarouges.

BDR J1750+3809 (surnommée « *Elegast* » par les astronomes) a d'abord été identifiée à l'aide du réseau d'antennes LOFAR (Low-Frequency Array) en Europe, puis confirmée à l'aide de télescopes au sommet du Mauna Kea, à savoir l'observatoire international Gemini et le télescope IRTF (InfraRed Telescope Facility) de la NASA exploité par l'université de Hawaii. La découverte directe de ces objets avec des radiotélescopes sensibles tels que LOFAR constitue une avancée significative, car elle démontre que les astronomes peuvent détecter des objets trop froids et trop faibles pour être trouvés dans les relevés infrarouges, et peut-être même détecter des exoplanètes géantes gazeuses isolées.

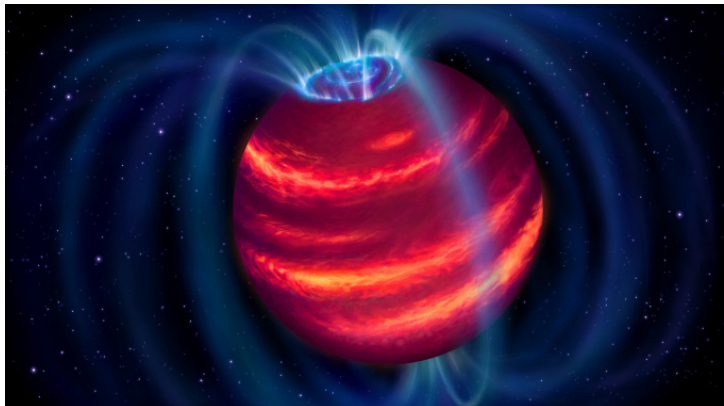
Les naines brunes chevauchent la frontière entre les grosses planètes et les petites étoiles. Parfois qualifiées d'étoiles ratées, les naines brunes n'ont pas la masse suffisante pour déclencher la fusion de l'hydrogène dans leur noyau, et brillent plutôt dans les longueurs d'onde infrarouges avec les restes de chaleur de leur formation. Également appelées superplanètes, les naines brunes possèdent des atmosphères gazeuses qui ressemblent plus aux planètes géantes gazeuses du Système solaire qu'à une étoile.

*Vue d'artiste d'Elegast et de son champ magnétique.*  
(ASTRON/Danielle Futselaar)

Bien que les naines brunes ne soient pas le siège des réactions de fusion qui permettent au Soleil de briller, elles peuvent émettre de la lumière à des longueurs d'onde radio. Le processus sous-jacent qui alimente cette émission radio est familier, car il se produit également sur la plus grosse planète du Système solaire. Le puissant champ magnétique de Jupiter accélère les électrons qui produisent des ondes radio et des aurores.

Le fait que les naines brunes soient des émetteurs radio a permis aux astronomes de développer une nouvelle stratégie d'observation. Les émissions radio n'avaient encore été détectées que pour une poignée de naines brunes froides, qui avaient été découvertes et cataloguées à la suite d'études infrarouges avant d'être observées avec des radiotélescopes. Ici, cette stratégie a été inversée.

En plus de constituer un résultat passionnant, la découverte du BDR J1750+3809 laisse entrevoir un avenir où les astronomes pourront mesurer les propriétés des champs magnétiques des exoplanètes. Les naines brunes froides sont ce qui se rapproche le plus des exoplanètes que les astronomes peuvent actuellement détecter avec des radiotélescopes, et cette découverte pourrait être utilisée pour tester les théories prédisant l'intensité du champ magnétique des exoplanètes. Les champs magnétiques sont un facteur important pour déterminer les propriétés atmosphériques et l'évolution à long terme des exoplanètes.



## La galaxie lointaine GN-z11

Basé sur un communiqué UTokyo

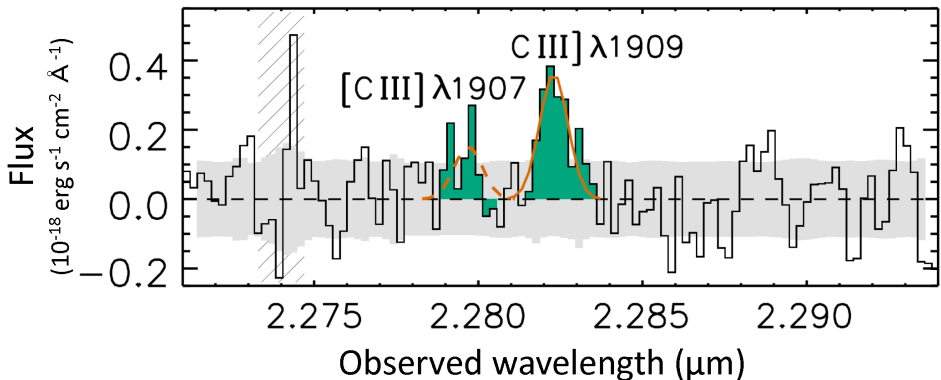
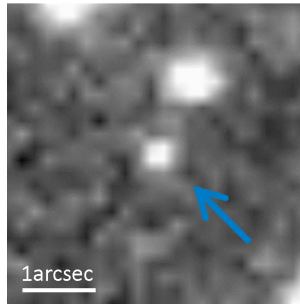
Les observations faites avec le télescope Keck I à Hawaii ont montré que la galaxie GN-z11 est non seulement la plus ancienne connue mais aussi la plus éloignée. Elle marque la limite même de l'Univers observable. Des études précédentes avec le télescope spatial Hubble indiquaient que GN-z11 se trouve à 13,4 milliards d'années-lumière  $\approx 1,268 \cdot 10^{23}$  km, soit 1268 suivi de 20 zéros, mais mesurer et vérifier une telle distance n'est pas une tâche facile. Pour cela les astronomes mesurent le décalage vers le rouge, le « redshift » de GN-z11.

Cependant, les observations de Hubble ne permettaient pas de résoudre les raies d'émission avec une précision suffisante. Les astronomes se sont alors tournés vers un spectrographe au sol plus moderne, l'instrument MOSFIRE du télescope Keck I. Ils ont ainsi pu améliorer la précision de la mesure du redshift de la galaxie par un facteur 100.

Une des dernières candidates au titre de galaxie la plus éloignée était MACS0647-JD avec un redshift estimé à environ 10,7 d'après des observations de couleur non spectroscopiques. La précision était donc assez faible.

*Dans l'image du haut, la flèche pointe vers GN-z11, la galaxie la plus lointaine de l'Univers.*

*En bas, on voit des raies d'émission du carbone deux fois ionisé, observées dans l'infrarouge, alors qu'elles avaient été émises dans l'ultraviolet aux alentours de 200 nanomètres.*  
(Kashikawa et al.)



## ***Troisième catalogue Gaia***

*Basé sur des communiqués ESA et RAS*

Les astronomes de la mission Gaia ont publié le catalogue le plus détaillé jamais réalisé des étoiles d'une immense partie de la Voie lactée. Cette troisième publication de données de l'observatoire spatial astrométrique de l'Agence spatiale européenne contient les mesures de la position, du mouvement, de la luminosité et des couleurs des étoiles. Parmi les premières conclusions figure la première mesure optique de l'accélération du Système solaire.

Lancé en 2013, le satellite Gaia est stationné sur une orbite autour du point L2 de Lagrange, à 1,5 million de kilomètres de la Terre dans la direction opposée au Soleil. En ce point les forces gravitationnelles entre la Terre et le Soleil sont équilibrées, de sorte que le vaisseau spatial reste en position stable, ce

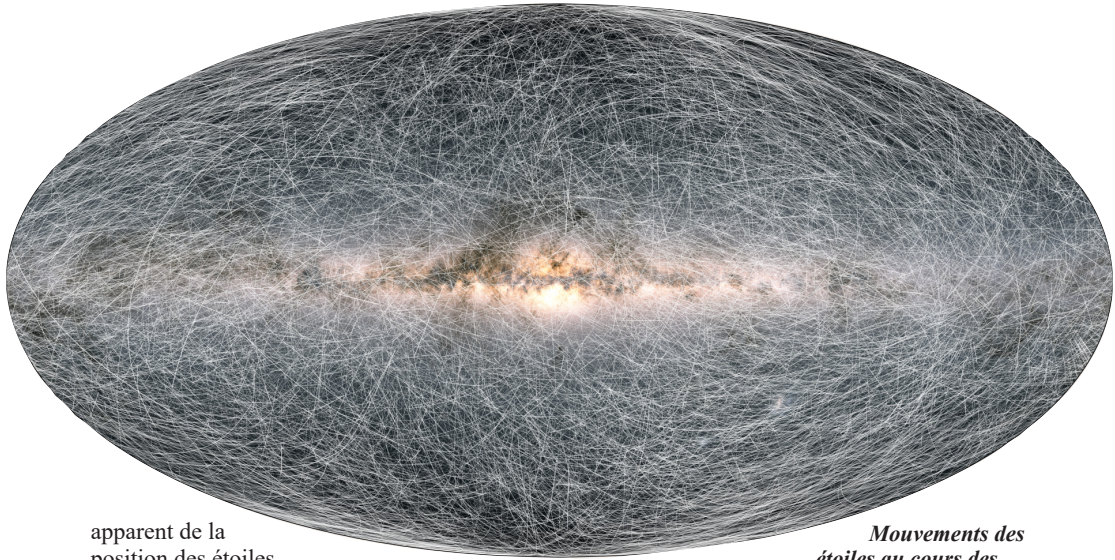
qui permet d'avoir en permanence une vue presque entière de la voûte céleste.

Gaia mesure les distances de centaines de millions d'objets qui se trouvent à plusieurs milliers d'années-lumière, avec une précision équivalente à la mesure de l'épaisseur d'un cheveu à une distance de plus de 2 000 kilomètres. Ces données sont l'une des pierres angulaires de l'astrophysique, permettant d'analyser notre voisinage stellaire et d'aborder des questions cruciales sur l'origine et l'avenir de notre Galaxie.

L'objectif principal de Gaia est de mesurer la distance des étoiles en utilisant la méthode de la parallaxe. L'observatoire balaie le ciel en continu et mesure le changement

***Les Nuages de Magellan vus au travers des données Gaia. Les deux galaxies sont unies par un pont d'étoiles de 75 000 années-lumière, dont on voit l'ancrage dans le Petit Nuage.***  
*(ESA/Gaia/DPAC)*





apparent de la position des étoiles au fil du temps, résultant à la fois de leur mouvement propre dans l'espace et du mouvement orbital de la Terre autour du Soleil. Réaliser ces observations depuis la Terre est beaucoup moins précis, en grande partie à cause de l'influence néfaste de l'atmosphère. Dans l'espace, les mesures ne sont limitées que par l'optique du télescope.

Les deux premières versions du catalogue donnaient la positions de 1,6 milliard d'étoiles. La nouvelle publication porte le total à un peu moins de 2 milliards d'étoiles, dont les positions sont nettement plus précises que dans les données précédentes. Gaia suit également les changements de luminosité et de couleur des étoiles au fil du temps. Des mesures spectrographiques donnent en outre la vitesse radiale grâce à l'effet Doppler et permettent d'évaluer leur composition chimique.

Les nouvelles données comprennent des mesures exceptionnellement précises des 300 000 étoiles situées à moins de 100 parsecs (326 années-lumière) de nous. Les chercheurs peuvent utiliser ces données pour prédire comment le panorama stellaire va se modifier dans les 1,6 million d'années à venir.

Les données confirment également que le Système solaire subit l'accélération centripète traduisant son mouvement orbital dans la

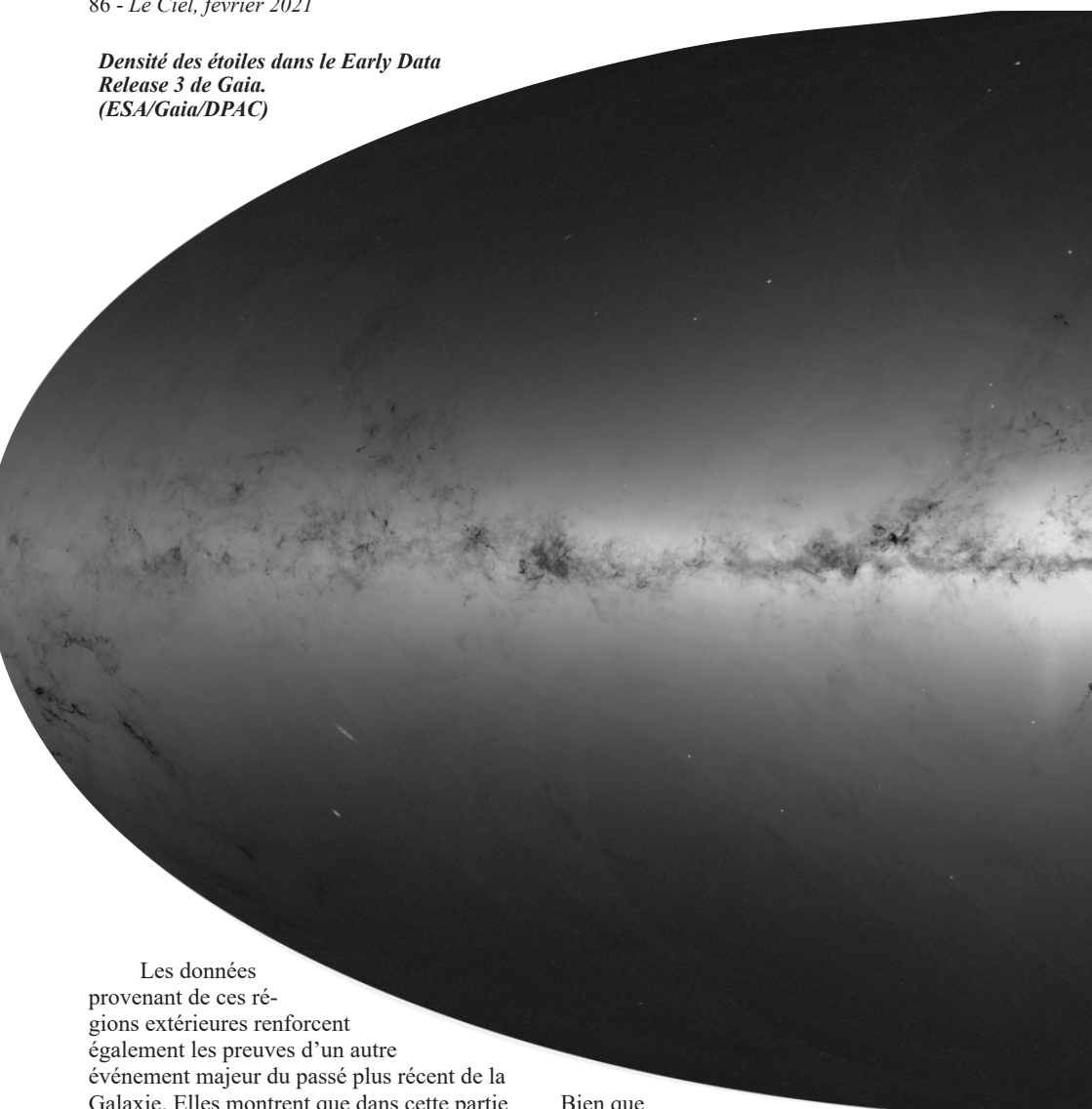
*Mouvements des étoiles au cours des 400 000 prochaines années.*  
(ESA/Gaia/DPAC; A. Brown, S. Jordan, T. Roegiers, X. Luria, E. Masana, T. Prusti et A. Moitinho)

Galaxie. Cette accélération est douce, et c'est ce que l'on attend d'un système en orbite circulaire. En utilisant les mouvements observés de galaxies extrêmement éloignées, on a mesuré que la vitesse du Système solaire change de 0,23 nm/s chaque seconde. En raison de cette minuscule accélération, la trajectoire du Système solaire est déviée du diamètre d'un atome chaque seconde, ce qui représente environ 115 km en un an.

L'accélération mesurée par Gaia montre un bon accord avec les attentes théoriques et fournit la première mesure de la courbure de l'orbite du Système solaire dans la Galaxie dans l'histoire de l'astronomie optique.

On voit également les preuves du passé de la Voie lactée en observant les étoiles qui se trouvent dans la direction de l'« anticentre » de la Galaxie. Les modèles informatiques prédisent que le disque de la Voie lactée s'agrandit avec le temps, à mesure que de nouvelles étoiles voient le jour. Les nouvelles données dévoilent les reliques de l'ancien disque vieux de 10 milliards d'années ; plus petit que le disque actuel de la Voie lactée.

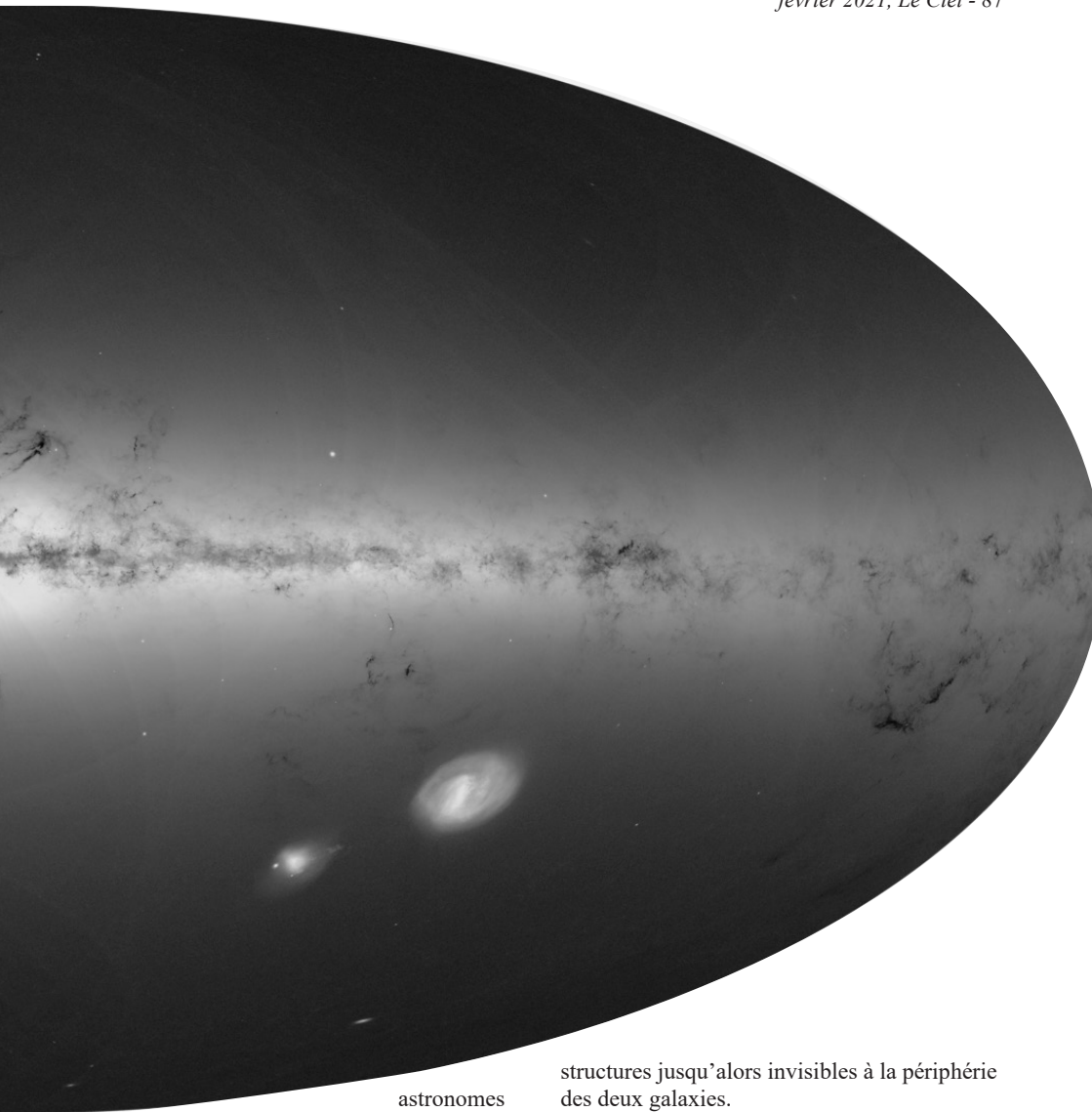
*Densité des étoiles dans le Early Data  
Release 3 de Gaia.  
(ESA/Gaia/DPAC)*



Les données provenant de ces régions extérieures renforcent également les preuves d'un autre événement majeur du passé plus récent de la Galaxie. Elles montrent que dans cette partie du disque, il y a une composante d'étoiles lentes au-dessus du plan de la Galaxie qui se déplacent vers le bas en direction du plan, et une composante d'étoiles rapides en dessous du plan qui se déplacent vers le haut. Ce schéma extraordinaire n'avait pas été prévu auparavant. Il pourrait être le résultat de la quasi-collision entre la Voie lactée et la galaxie naine du Sagittaire qui a eu lieu récemment.

Bien que le rôle de la galaxie naine du Sagittaire soit encore débattu, elle pourrait être une bonne candidate pour toutes ces perturbations, comme le montrent certaines simulations.

Les nouvelles données de Gaia déconstruisent en outre les deux plus grandes galaxies compagnes de la Voie lactée, les Petit et Grand Nuages de Magellan, permettant aux



astronomes de voir leurs différentes populations stellaires. Ayant mesuré le mouvement des étoiles du Grand Nuage de Magellan avec une plus grande précision qu'auparavant, on voit clairement que cette galaxie a une structure en spirale.

Les données résolvent également un flux d'étoiles qui est en train d'être extrait du Petit Nuage de Magellan, et laissent entrevoir des

structures jusqu'alors invisibles à la périphérie des deux galaxies.

Gaia continuera à recueillir des données au moins jusqu'en 2022, avec une possible prolongation de la mission jusqu'en 2025. Les données finales devraient permettre d'obtenir des positions stellaires 1,9 fois plus précises que celles publiées jusqu'à présent, et des mouvements propres plus de 7 fois plus précis, dans un catalogue de plus de 2 milliards d'objets.

## **Hayabusa2**

Les échantillons de sol astéroïdal ramenés par la sonde Hayabusa2 ressemblent à s'y méprendre à des bouts de charbon de bois. Ils ont été prélevés en deux phases à deux endroits différents. Le prélèvement effectué lors du premier atterrissage sur Ryugu en avril 2019 a fourni des granules de sable relativement petits.

Pour obtenir la deuxième série d'échantillons en juillet de l'année dernière, Hayabusa2 avait lancé un impacteur. Les débris provenant de sous la surface n'avaient donc pas été affectés par les radiations spatiales au cours des âges. Ces fragments sont plus gros, jusqu'à un centimètre, et très durs.

Les deux échantillons avaient été placés dans des compartiments différents et la capsule qui les a ramenés depuis Ryugu a été larguée au-dessus de l'Australie.

Les différences de taille des débris suggèrent une dureté différente de la roche de surface de l'astéroïde. L'endroit du second atterrissage était peut-être rocheux et dur, de sorte que des particules plus grosses se sont brisées.

L'agence spatiale japonaise JAXA poursuit l'examen initial des échantillons d'astéroïdes en vue d'études plus complètes. Les scientifiques espèrent que les échantillons permettront de mieux comprendre les origines du Système solaire et de la vie sur Terre.

Après les études menées au Japon, certains des échantillons seront partagés avec la NASA et d'autres agences spatiales internationales pour des recherches supplémentaires.

La sonde Hayabusa2 poursuit sa mission, et vise un autre petit astéroïde lointain, 1998KY26, qu'elle devrait atteindre dans une dizaine d'années.



*Échantillons de sol de Ryugu provenant du second contact, vus à l'intérieur du compartiment de la capsule rapportée par Hayabusa2. (JAXA)*

## ***L'atmosphère primitive de la Terre, un enfer vénusien***

*Basé sur un communiqué CNRS/INSU*

On pense généralement que l'atmosphère primitive de la Terre était composée de gaz tels que l'ammoniac et le méthane. L'action de la foudre aurait facilité le développement de la vie en produisant des acides aminés (la célèbre expérience « Miller-Urey ») qui font partie des principaux éléments constitutifs de la vie complexe. Mais l'existence réelle d'une telle atmosphère n'a encore jamais été vérifiée, la reproduction en laboratoire des conditions extrêmes des prémices de la Terre s'avérant particulièrement compliquée.

Pour répondre à cette énigme, des chercheurs ont créé, en laboratoire, des roches de composition chimique identique à celle de la partie rocheuse de notre planète (croûte et manteau). Puis, ils les ont soumises à des températures extrêmes (près de 2000 °C) dans un four chauffé au laser, dans le but de reconstituer des planètes miniatures en fusion, de seulement 2mm de diamètre. Ces mini-planètes ont été placées en état de lévitation au sein de courants gazeux aux compositions conformes aux différentes atmosphères qui auraient pu être présentes au moment de la formation de la Terre. L'effet de ces gaz, et donc de la composition atmosphérique, a été enregistré dans la roche en fusion à travers le rapport entre fer oxydé et fer réduit présent dans ces micro-planètes de silicate fondu.

Les chercheurs ont ensuite cherché une correspondance avec les ratios de fer oxydé / fer réduit que l'on mesure de nos jours dans les roches du manteau terrestre. À leur grand étonnement, ils ont découvert que la première atmosphère de notre planète ne pouvait pas contenir de gaz riches en hydrogène, essentiels à la vie (ammoniac et méthane), mais plutôt du monoxyde de carbone et du dioxyde de carbone. De plus, les proportions et les pressions de ces gaz dans l'atmosphère primitive de la Terre étaient probablement similaires à celles observées sur la planète Vénus aujourd'hui, cette dernière contenant environ 96,5% de

CO<sub>2</sub>, 3,5% de N<sub>2</sub> et une pression 92 fois supérieure à celle de la Terre.

Alors pourquoi ces deux planètes semblent-elles si différentes aujourd'hui ? Les chercheurs suggèrent que la position de la Terre dans la zone habitable du Système solaire, lui a probablement permis de retenir de l'eau liquide à sa surface sous la forme des premiers océans, lesquels ont absorbé une grande partie de son atmosphère initiale riche en CO<sub>2</sub>. En effet, la situation tempérée de la Terre, ainsi que sa grande taille, ont contribué à l'instauration de conditions clémentes à sa surface pendant de longues périodes géologiques. Tandis que Vénus, qui reçoit presque deux fois plus de rayonnement solaire que notre planète, n'a pas pu conserver sa dotation initiale en eau en raison des températures constamment élevées à sa surface. Des acides aminés, ingrédients essentiels à la vie, peuvent-ils se développer dans de telles atmosphères ? Le mystère reste entier.

## ***Grêle dans Jupiter***

*Basé sur un communiqué NASA/JPL*

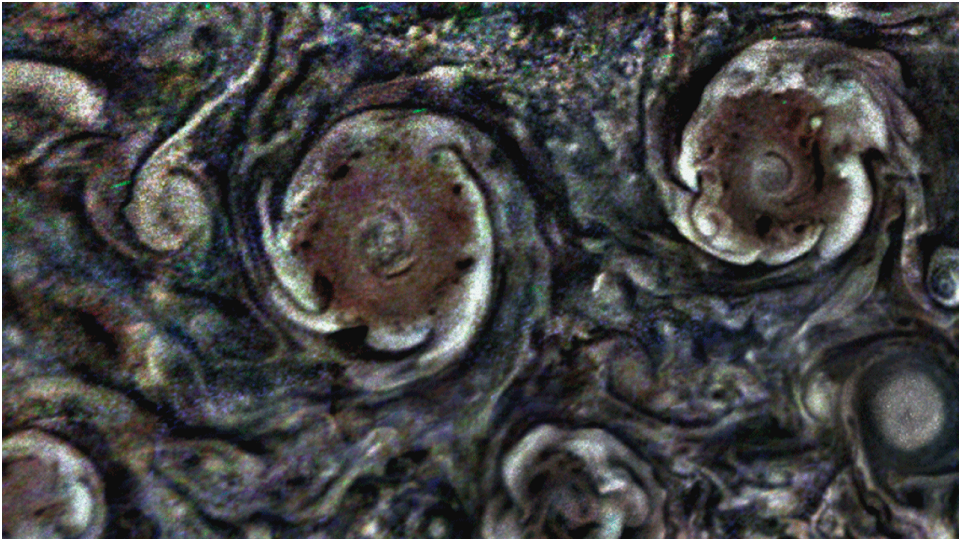
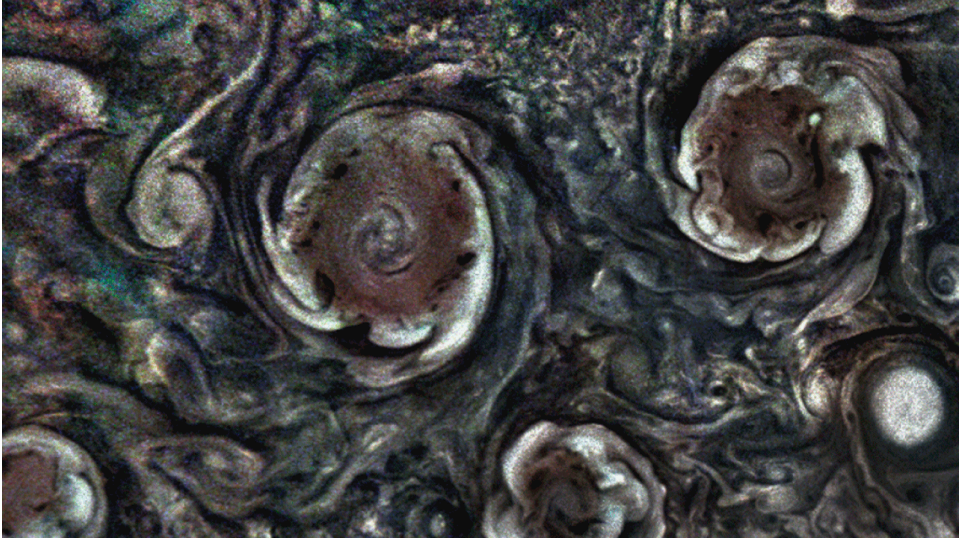
Il y a vingt-cinq ans, la NASA envoyait la première sonde dans l'atmosphère de la plus grande planète du Système solaire. Les informations recueillies par Galileo lors de sa descente avaient surpris les scientifiques : l'atmosphère dans laquelle elle plongeait était beaucoup plus dense et plus chaude qu'ils ne le pensaient. Les nouvelles données de la sonde Juno de la NASA suggèrent que ces « points chauds » sont bien plus larges et profonds que prévu.

Les planètes géantes ont des atmosphères très profondes, sans base solide ou liquide comme la Terre. Pour mieux comprendre ce qui se passe dans les profondeurs de ces mondes, il faut regarder sous la couche nuageuse. Juno, qui a effectué une trentaine de passages rapprochés de Jupiter, fait exactement cela. Les observations du vaisseau spatial font la lumière sur d'anciennes énigmes et posent

de nouvelles questions ; non seulement sur Jupiter, mais sur toutes les géantes gazeuses.

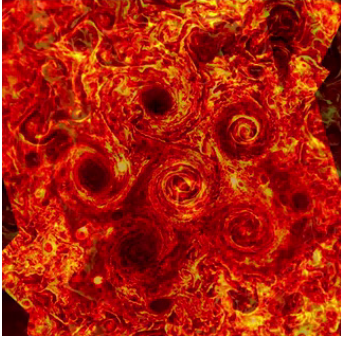
Le dernier mystère de longue date auquel Juno s'est attaquée provient d'un segment d'une heure de données transmises par Galileo lors de sa descente le 7 décembre 1995. Lorsque la sonde avait signalé que les environs étaient secs et venteux, des scientifiques surpris ont attribué cette découverte au fait que la sonde de 34 kg était rentrée dans l'atmosphère dans l'un des points chauds relativement rares de Jupiter – des « déserts » atmosphériques isolés qui parsèment la BEN (Bande Équatoriale Nord) de la géante gazeuse. La BEN est une large bande brune et cyclonique, bien connue des astronomes amateurs, qui s'enroule autour de la planète juste au-dessus de l'équateur de la géante gazeuse.

Les nouveaux résultats de l'instrument à micro-ondes de Juno indiquent que toute la BEN est en réalité très sèche.

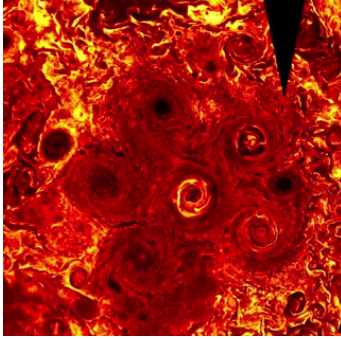


*Les nuages à la périphérie de certains des cyclones polaires tournent dans le sens des aiguilles d'une montre alors que le cœur de ces cyclones tourne en sens inverse. Ces images ont été prises par Juno d'une altitude de 28 000 kilomètres.  
(NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS, Gerald Eichstädt)*

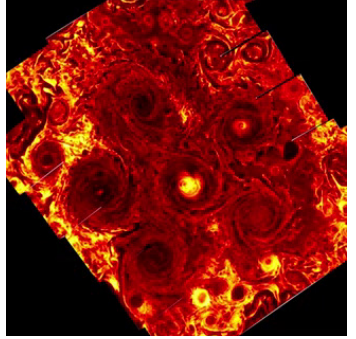
South - JM0041 - 2017-02-02



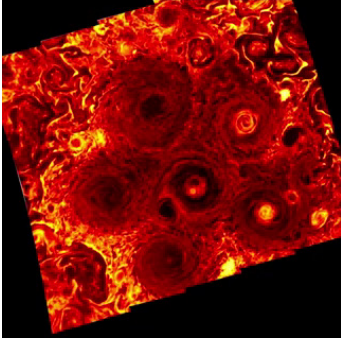
South - JM0061 - 2017-05-19



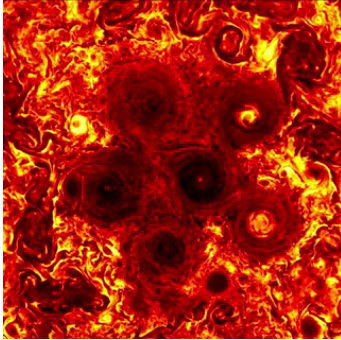
South - JM0111 - 2018-02-07



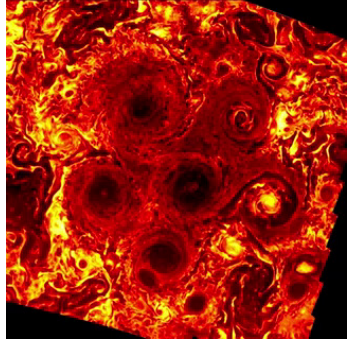
South - JM0141 - 2018-07-16



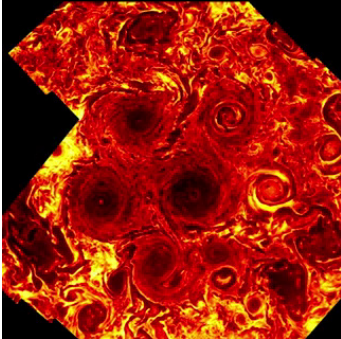
South - JM0151 - 2018-09-07



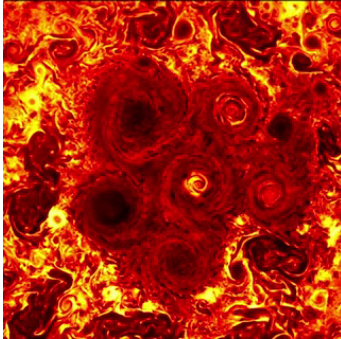
South - JM0171 - 2018-12-21



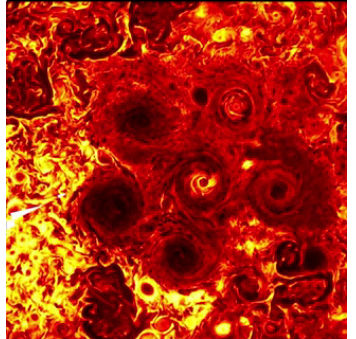
South - JM0181 - 2019-02-12

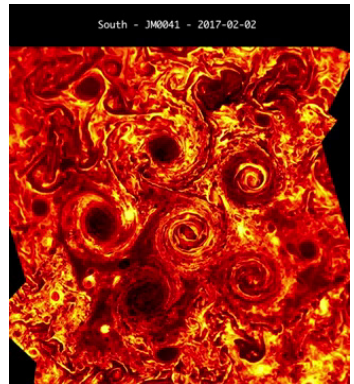
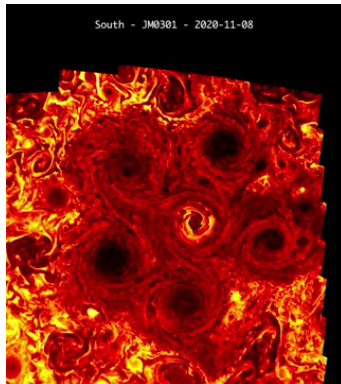
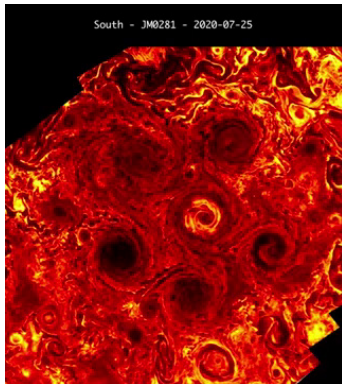
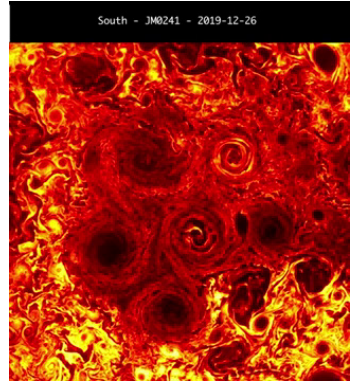
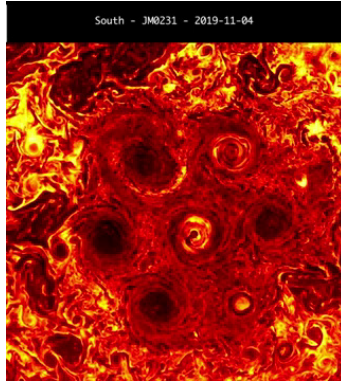
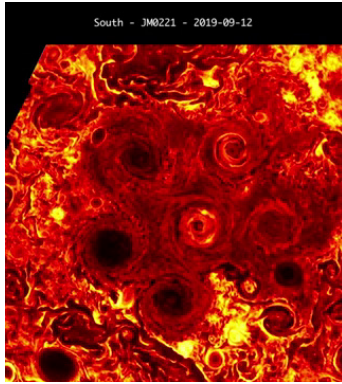


South - JM0201 - 2019-05-29



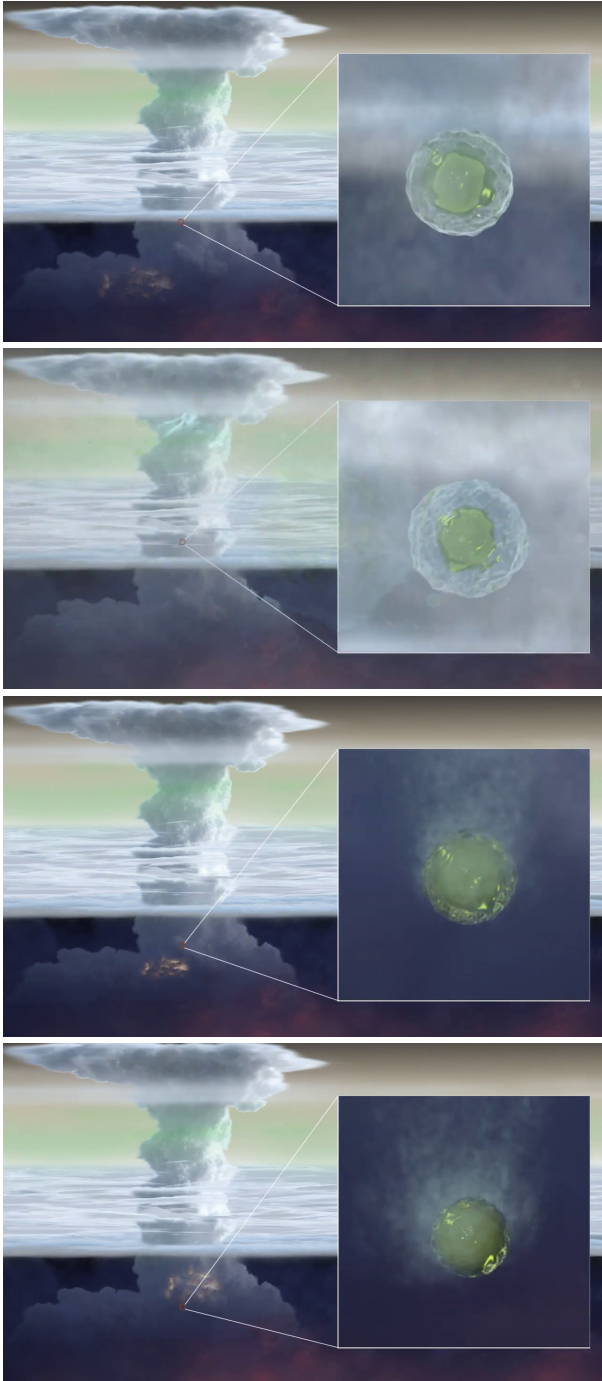
South - JM0211 - 2019-07-21



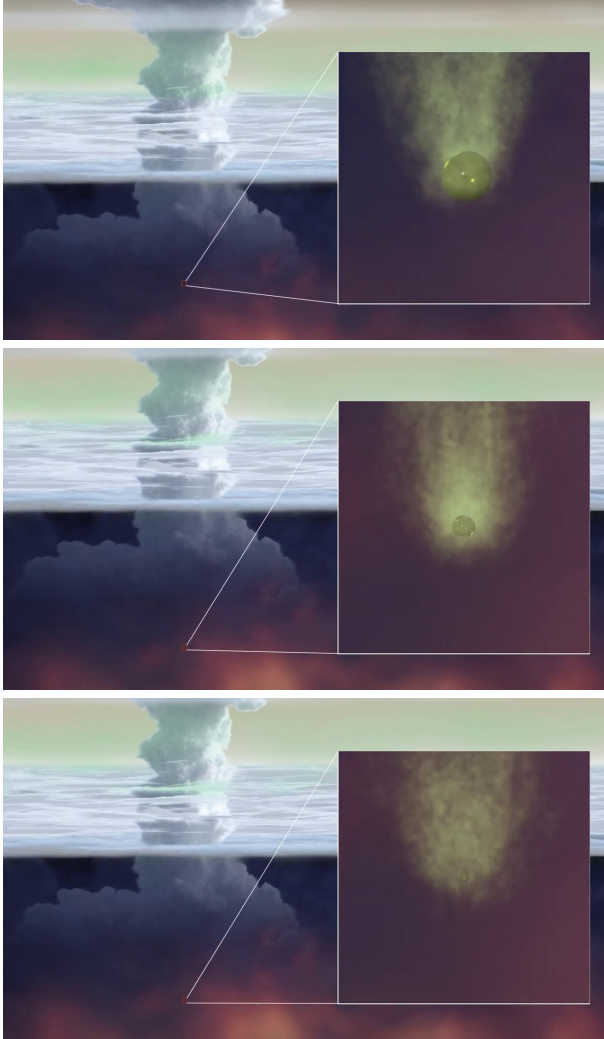


***Illustration du mouvement des cyclones au pôle sud de Jupiter, entre février 2017 et novembre 2020. Données provenant de l'instrument JIRAM (Jovian Infrared Auroral Mapper) à bord de Juno. (NASA/JPL-Caltech/SwRI/ASI/INAF/JIRAM)***

Cela implique que les points chauds ne sont pas des déserts isolés, mais plutôt des fenêtres sur une vaste région de l'atmosphère de Jupiter plus chaude et plus sèche que les zones environnantes. Les données à haute résolution de Juno montrent que ces points chauds joviens sont associés à des ruptures dans la couche nuageuse de la planète, ce qui laisse entrevoir l'atmosphère profonde de Jupiter. Elles montrent également que les points chauds, flanqués de nuages et de tempêtes actives, alimentent les décharges électriques en haute altitude récemment découvertes par Juno et connues sous le nom de « shallow lightings » (éclairs peu profonds).



*Illustration du parcours d'un grêlon « mushball » d'eau-ammoniac (représenté en vert) au cœur d'une tempête de Jupiter. En 10 à 60 minutes environ (selon leur taille), ces grêlons atteignent les couches profondes de Jupiter, sous les nuages d'eau. Ils fondent et s'évaporent rapidement. Les modèles théoriques prédisent que les mushballs pourraient atteindre un diamètre de 10 centimètres, peser jusqu'à 1 kilogramme et accélérer jusqu'à une vitesse de 700 km/h pendant leur descente. (NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS/CNRS)*



qui s'alourdissent progressivement et descendent dans l'atmosphère, créant une grande région appauvrie à la fois en ammoniac et en eau. Dès que les mushballs fondent et s'évaporent, l'ammoniac et l'eau redeviennent gazeux et sont à nouveau visibles par les instruments Juno.

En 2019, l'instrument Jovian Infrared Auroral Mapper de Juno a capturé des images d'un nouveau cyclone qui semblait vouloir rejoindre les cinq cyclones établis qui tournaient autour de l'énorme cyclone central du pôle sud.

Ce sixième cyclone, le bébé du groupe, semblait changer la configuration géométrique du pôle – passant d'un pentagone à un hexagone. La tentative a échoué : le bébé cyclone a été expulsé, s'est éloigné, et a fini par disparaître.

Les travaux se poursuivent sur les modèles atmosphériques mais, à l'heure actuelle, les chercheurs n'ont pas encore de théorie convaincante concernant la formation de ces tourbillons polaires géants. Pourquoi certains semblent-ils stables alors que d'autres naissent, grandissent et meurent relativement vite. Connaître la façon dont les nouvelles tempêtes évoluent est essentielle pour comprendre les cyclones circumpolaires, ce qui pourrait aider à expliquer comment les atmosphères de ces planètes géantes fonctionnent en général.

Ces décharges, qui se produisent dans les parties supérieures froides de l'atmosphère de Jupiter lorsque l'ammoniac se mélange à l'eau, sont une pièce de ce puzzle auquel sont confrontés les scientifiques. Dans les hautes couches de l'atmosphère, où l'on voit des shallow lightings, l'eau et l'ammoniac se combinent et deviennent invisibles pour l'instrument à micro-ondes de Juno. C'est là que se forme un type particulier de grêlon, des « mushballs » (« boules de grêle »)