L’astronomie dans le monde

Le Cerro Paranal surmonté du VLT de l’ESO vu depuis le Cerro Armazones, site du futur Extremely Large Telescope (ELT). (ESO/S. Lowery)

Super-éruptions stellaires

Basé sur un communiqué NASA/Chandra

En menant la plus grande étude jamais réalisée sur les régions de formation d’étoiles dans le domaine des rayons X, les astronomes ont contribué à établir le lien entre les éruptions violentes subies par des étoiles jeunes et l’impact qu’elles pourraient avoir sur les planètes qui les encerclent.

Ce travail indique comment le Soleil a pu se comporter et affecter la jeune Terre il y a des milliards d’années.

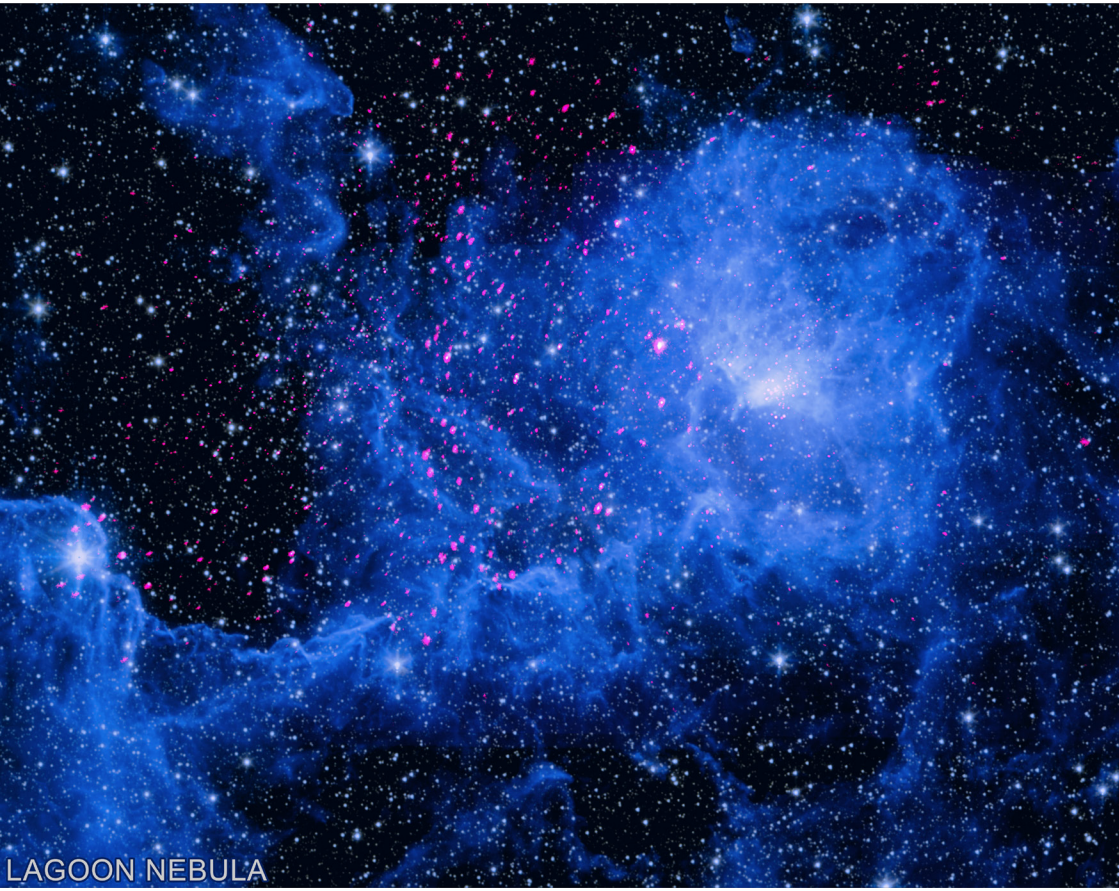
Les scientifiques ont examiné les données X de Chandra concernant plus de 24 000 étoiles dans 40 régions de formation. Ils ont ainsi pris en flagrant délit plus d’un millier d’étoiles émettant des éruptions beaucoup plus énergétiques que la plus puissante jamais constatée pour le Soleil, l’événement dit « de Carrington » qui eut lieu en 1859. Les « super-éruptions » sont au moins cent mille fois plus énergétiques que celle qui a provoqué cet événement, et les « méga-éruptions », jusqu’à 10 millions de fois.

Ces puissantes éruptions peuvent avoir lieu dans toute région de formation stellaire, et parmi les étoiles jeunes de toutes masses, y compris celles qui sont semblables au Soleil. On peut les observer à tous les stades de l’évolution des étoiles jeunes, depuis les premiers moments où l’étoile est profondément enfouie dans la poussière et entourée d’un disque d’accrétion où naissent les planètes, jusqu’aux stades ultérieurs où les planètes sont bien formées et où les disques ont disparu.

Les étoiles étudiées ont un âge estimé à moins de 5 millions d’années, à comparer aux 4,5 milliards d’années du Soleil.

L’équipe a constaté une moyenne de plusieurs super-éruptions par semaine et deux méga-éclairs par an par étoile jeune.

Au cours des deux dernières décennies, les scientifiques ont affirmé que ces éruptions géantes peuvent contribuer à donner des planètes aux étoiles encore en formation en éloignant le gaz des disques de matière qui les entourent. Cela peut déclencher l’agrégation de cailloux, une étape cruciale dans la formation des planètes. D’un autre côté, ces éruptions peuvent sonner le glas des planètes déjà formées en soumettant leurs atmosphères à de puissants rayonnements, ce qui pourrait entraîner leur évaporation et leur destruction complètes en moins de 5 millions d’années.



La nébuleuse de la Lagune (M8), située à environ 4 400 années-lumière, dans la Voie lactée, est une zone active de formation stellaire. Les données X de Chandra (en violet) ont été combinées aux données infrarouges (en bleu et blanc) du télescope spatial Spitzer dans cette image composite. (NASA/CXC/Penn State/K. Getman, et al ; NASA/JPL/ Spitzer)

Une modélisation détaillée de 55 super- et méga-éruptions lumineuses indique que la plupart d'entre elles ressemblent aux éruptions de longue durée observées sur le Soleil qui produisent des « éjections de masse coronale » – de puissantes éjections de particules chargées qui peuvent endommager les atmosphères planétaires. L'événement de Carrington a impliqué une telle éjection.

Ces travaux sont importants pour comprendre les éruptions elles-mêmes. L'équipe a découvert que les propriétés des éruptions, telles que leur luminosité et leur fréquence, sont les mêmes pour toutes les étoiles jeunes, qu'elles aient ou non un disque protoplanétaire. Cela implique que les éruptions sont probablement semblables à celles observées sur le Soleil, avec des boucles de champ magnétique ayant leurs deux empreintes à la surface de

l'étoile, plutôt qu'une ancrée au disque et l'autre à l'étoile.

Ces éruptions géantes ressemblent à celles du Soleil, mais considérablement amplifiées en termes d'énergie, de fréquence et de taille de leurs boucles magnétiques. La compréhension de ces explosions stellaires pourrait nous aider à comprendre les éruptions et les éjections de masse coronale les plus puissantes du Soleil.

La région de formation d'étoiles RCW 120 se trouve également dans la Voie lactée, mais un peu plus loin que M8, à une distance d'environ 5 500 années-lumière. Cette vue, qui présente les mêmes longueurs d'onde et couleurs que celles de M8, montre une bulle d'hydrogène en expansion, d'environ 13 années-lumière de diamètre. Cette structure pourrait être en train d'aspirer de la matière pour former une coquille dense et déclencher la formation d'étoiles. (NASA/CXC/Penn State/K. Getman, et al ; NASA/JPL/Spitzer)

Une nouvelle sorte de supernova

Basé sur un communiqué UC Santa Barbara

Une équipe internationale dirigée par des scientifiques de l'UC Santa Barbara à l'observatoire de Las Cumbres a découvert la première preuve convaincante d'un nouveau type d'explosion stellaire – une supernova à capture d'électrons. Bien que ces supernovae aient été théorisées depuis 40 ans, les exemples concrets sont restés insaisissables. On pense qu'elles proviennent d'explosions d'étoiles massives de la branche géante super-asymptotique (SAGB), pour lesquelles il existe également peu de preuves. La découverte jette également une nouvelle lumière sur le mystère millénaire de la supernova de 1054 après J.-C. qui fut visible dans le monde entier pendant la journée, avant de devenir la nébuleuse du Crabe.

La plupart des supernovæ naissent de deux sortes d'effondrement : l'effondrement thermonucléaire ou celui du noyau de fer. Une supernova thermonucléaire est l'explosion d'une étoile naine blanche après qu'elle a accrété suffisamment de matière d'une compagne stellaire. Ces naines blanches sont en quelque sorte des cendres, ce sont les noyaux denses qui subsistent après la mort d'une étoile de faible masse (jusqu'à environ 8 fois la masse du Soleil). L'effondrement d'un noyau de fer se produit lorsqu'une étoile massive (d'une masse supérieure à environ 10 fois celle du Soleil) n'a plus de combustible nucléaire et que son cœur, constitué alors de fer, s'effondre, créant un trou noir ou une étoile à neutrons. Entre ces deux principaux types de supernovæ se trouvent les supernovæ à capture d'électrons. Ces étoiles ne sont pas assez massives pour créer du fer. La fusion

Composite couleur d'images provenant de l'observatoire de Las Cumbres et du télescope spatial Hubble, et montrant la supernova 2018zd à capture d'électrons (le gros point blanc à droite) et la galaxie hôte NGC 2146. (NASA/STScI/J. DePasquale ; Observatoire de Las Cumbres)

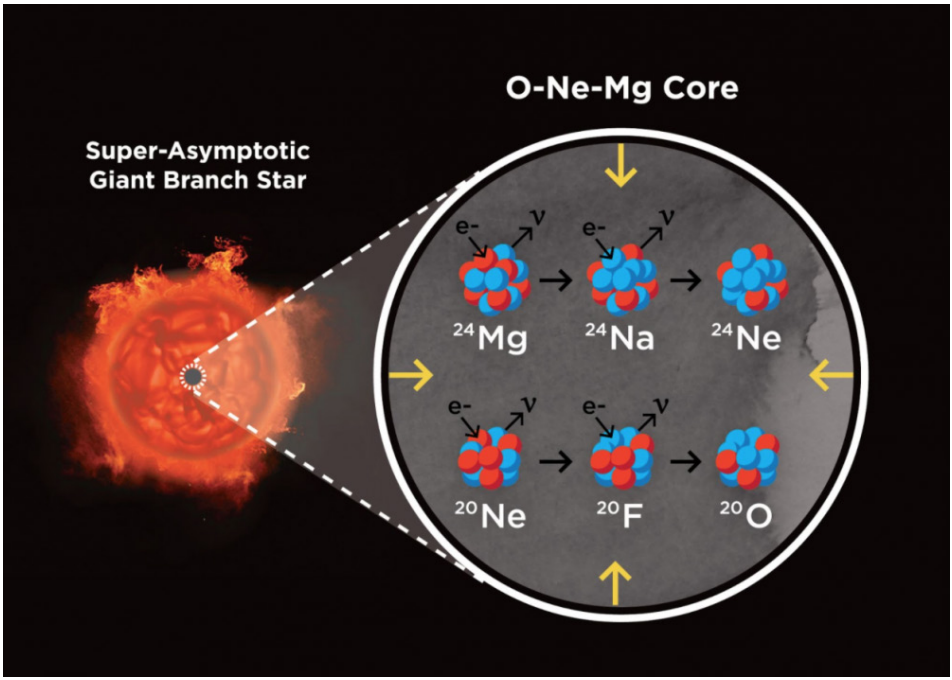


Schéma d'une étoile géante super-asymptotique et de son noyau composé d'oxygène, de néon et de magnésium. C'est l'état final des étoiles d'environ 8 à 10 masses solaires dont le noyau est soutenu par la pression des électrons. Lorsque le noyau devient suffisamment dense, le néon et le magnésium commencent à absorber des électrons, ce qui réduit la pression du noyau et provoque son effondrement en supernova. (S. Wilkinson/Observatoire de Las Cumbres)

nucléaire s'arrête lorsque leur noyau est composé d'oxygène, de néon et de magnésium.

Alors que la gravité tend à écraser une étoile, l'effondrement est empêché par la pression générée par la fusion ou, lorsque la fusion s'est arrêtée, par l'impossibilité de comprimer davantage les atomes. Dans une supernova à capture d'électrons, certains des électrons des noyaux d'oxygène, de néon et de magnésium sont écrasés dans leurs noyaux atomiques dans un processus appelé capture d'électrons. Ce retrait des électrons fait de la place et l'étoile peut se contracter sous son propre poids, ce qui donne lieu à une supernova « à capture d'électrons ».

Si l'étoile avait été légèrement plus massive, les éléments du noyau auraient pu fusionner pour créer des éléments plus lourds, prolongeant ainsi sa vie. L'étoile n'est pas assez légère pour échapper à l'effondrement de son noyau, ni assez lourde pour prolonger sa vie et mourir plus tard d'une autre façon.

Cette théorie avait été formulée dès 1980. Au fil des décennies, les théoriciens ont prédit les caractéristiques observables des supernovæ à capture d'électrons et décrit celles de leurs productrices, les étoiles SAGB. Ces étoiles doivent avoir une masse importante, en perdre une grande partie avant d'exploser, et cette matière dispersée à proximité de l'étoile mourante doit avoir une composition chimique inhabituelle. Une supernova à

Image de la nébuleuse du Crabe obtenue en combinant les données de cinq télescopes couvrant presque toute la gamme du spectre électromagnétique. (NASA, ESA, NRAO/AUI/NSF ; G. Dubner Université de Buenos Aires)

capture d'électrons devrait être relativement peu brillante, produire peu de radioactivité et contenir des éléments riches en neutrons dans son noyau.

Les astronomes ont découvert qu'une supernova récente, SN 2018zd, présentait de nombreuses caractéristiques inhabituelles, dont certaines étaient observées pour la première fois. Cette supernova était relativement proche – à seulement 31 millions d'années-lumière – dans la galaxie NGC 2146, ce qui a permis d'examiner les images d'archives prises par le télescope spatial Hubble avant l'explosion et de détecter l'étoile progénitrice probable avant qu'elle n'explose. Les observations correspondaient à celles d'une autre étoile SAGB récemment identifiée dans la Voie lactée, mais ne s'accordaient pas avec les modèles de supergéantes rouges, à l'origine des supernovæ normales à effondrement du noyau de fer.

Les astronomes ont examiné toutes les données publiées sur les supernovæ et ont constaté que si certaines d'entre elles présentaient quelques-uns des indicateurs prévus pour les supernovæ à capture d'électrons, seule SN 2018zd présentait les six indicateurs suivants : une progénitrice SAGB apparente, une forte perte de masse avant la supernova, une composition chimique stellaire inhabituelle, une faible explosion, une faible radioactivité et un noyau riche en neutrons.

Cette découverte éclaire certains mystères de la supernova la plus célèbre du passé. En l'an 1054, une supernova a explosé dans la Voie lactée. Selon les archives chinoises et japonaises, elle était si brillante qu'elle a pu être vue de jour pendant 23 jours, et de nuit pendant près de deux ans. Le vestige qui en résulte, la nébuleuse du Crabe, a fait l'objet de nombreuses études.

La nébuleuse du Crabe était jusqu'à maintenant la meilleure candidate pour une supernova à capture d'électrons, mais son statut était incertain. Le nouveau résultat favorise l'hypothèse que SN 1054 fût une supernova à capture d'électrons en expliquant également pourquoi cette supernova était relativement brillante par rapport aux modèles : sa luminosité a probablement été augmentée artificiellement par la collision des éjectas de la supernova avec la matière rejetée par l'étoile progénitrice, comme ce fut le cas pour SN 2018zd.

VVV-WIT-08

Basé sur un communiqué University of Cambridge

L'étoile VVV-WIT-08, située à plus de 25 000 années-lumière a montré pendant plusieurs mois une chute de luminosité d'un facteur 30. De nombreuses étoiles faiblissent brièvement parce qu'elles pulsent ou sont éclipsées par une autre étoile dans un système binaire, mais il est rare qu'une étoile baisse aussi fortement, aussi longtemps avant de revenir à son éclat antérieur.

VVV-WIT-08 pourrait appartenir à une nouvelle catégorie de binaires géantes « clignotantes », où une étoile 100 fois plus grande que le Soleil est éclipsée une fois toutes les quelques décennies par un compagnon orbital invisible. Celui-ci, étoile ou planète, est entouré d'un disque opaque gigantesque, qui peut masquer entièrement l'étoile géante, la faisant disparaître et réapparaître dans le ciel.

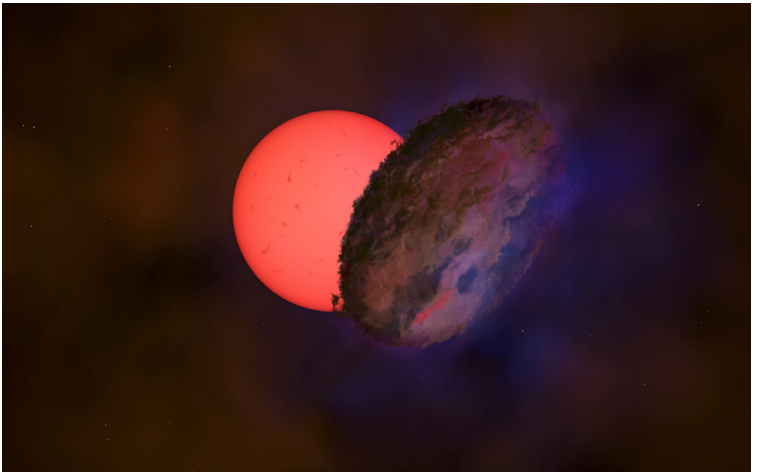
L'étoile étant située dans une région dense de la Voie lactée, les chercheurs se sont d'abord demandé si un objet sombre interstellaire n'avait pas pu simplement dériver par hasard devant l'étoile géante. Il faudrait cependant un nombre incroyablement élevé de tels corps sombres flottant dans la Galaxie pour que ce scénario soit probable.

L'étoile géante Epsilon Aurigae montre un comportement similaire. Elle est partiellement éclipsée par un énorme disque de poussière tous les 27 ans, mais son éclat ne s'atténue que d'environ 50 %. Un deuxième exemple, TYC 2505-672-1, a été découvert il y a quelques années et détient le record des binaires à éclipses ayant la plus longue période orbitale – 69 ans – un record que pourrait lui ravir VVV-WIT-08.

Cette dernière a été découverte dans le cadre de l'étude VVV (VISTA Variables in the Via Lactea), un projet utilisant depuis dix ans le télescope britannique VISTA à l'ESO Paranal pour observer inlassablement le même milliard d'étoiles afin de rechercher des variations de luminosité dans l'infrarouge.

L'affaiblissement de l'étoile a également été observé lors de la campagne OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment), qui effectue des observations plus fréquentes, mais dans un domaine spectral plus proche du visible. Ces observations fréquentes ont été essentielles pour la modélisation de VVV-WIT-08 et ont montré que l'étoile géante s'est affaiblie de la même manière dans le visible et l'infrarouge.

Ce travail a révélé deux autres de ces étoiles géantes particulières. On connaîtrait ainsi une demi-douzaine de systèmes stellaires de ce type, contenant des étoiles géantes et de grands disques opaques. Sans doute y en a-t-il d'autres et le défi consiste maintenant à découvrir ce que sont les compagnons et comment ils ont pu être entourés de disques, malgré leur éloignement de l'étoile géante.



Vue d'artiste du système VVV-WIT-08, dont la luminosité a diminué d'un facteur 30, au point qu'elle a presque disparu du ciel. (Amanda Smith, University of Cambridge)

FRBs dans les bras de spirales

Basé sur un communiqué NASA

Les FRBs (Fast Radio Bursts) sont de mystérieux flashs radio qui disparaissent aussi vite qu'ils n'apparaissent. Ils génèrent autant d'énergie en un millième de seconde que le Soleil en un an. Depuis la découverte du premier FRB dans des données d'archive de l'observatoire radio de Parkes datant du 24 juillet 2001 on en a découvert un millier. Jusqu'à présent on a pu associer une quinzaine d'entre eux à des galaxies, toutes massives et très lointaines.

Il est important de localiser l'origine de ces explosions, et en particulier de savoir de quelles galaxies elles proviennent, pour déterminer quels types d'événements astronomiques peuvent les déclencher.

Une nouvelle étude Hubble de huit FRBs a permis aux chercheurs de réduire la liste des sources possibles de FRBs. Il s'agit des premières images à haute résolution d'une série de FRBs. Il apparaît que cinq d'entre eux sont situés près des – ou sur les – bras spiraux de galaxies. La plupart de ces galaxies sont massives, relativement jeunes et encore en train de former des étoiles.

L'imagerie nous permet d'avoir une meilleure idée des propriétés globales des galaxies hôtes, telles que la masse et le taux de formation d'étoiles, ainsi que d'examiner les sites de FRBs.

Dans l'étude de Hubble, les astronomes ont non seulement associé tous les FRBs à des galaxies, mais ils ont également identifié les types d'endroits d'où ils provenaient. Hubble a observé l'un des sites de FRBs en 2017 et les sept autres en 2019 et 2020.

Les observations ont été réalisées dans l'ultraviolet et le proche infrarouge avec la caméra WFC 3 de Hubble.

La lumière ultraviolette trace les étoiles jeunes qui jalonnent les bras des galaxies spirales. Les chercheurs ont utilisé les images dans le proche infrarouge pour calculer la masse des galaxies et identifier les populations d'étoiles plus anciennes.

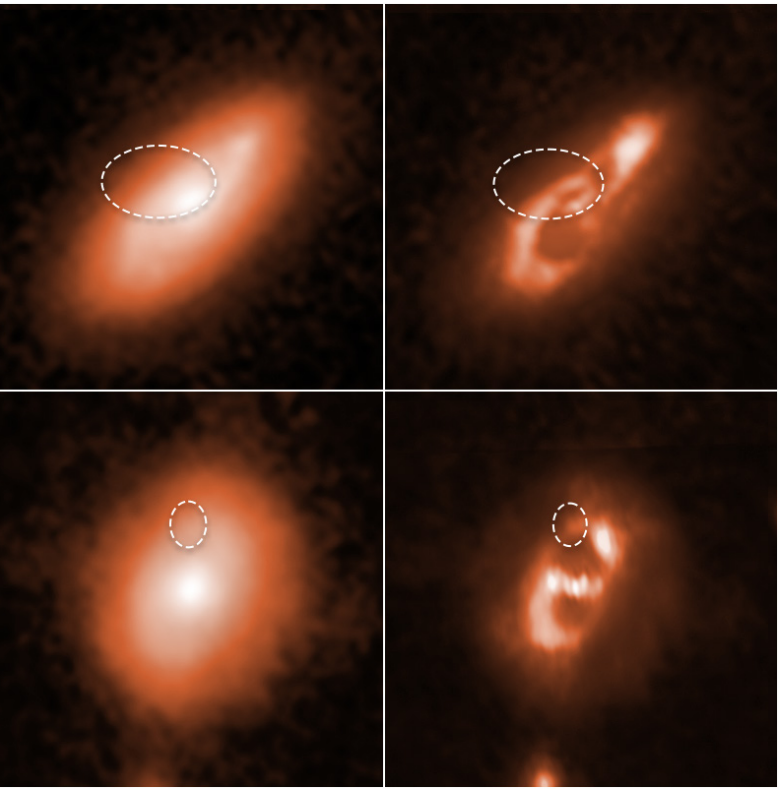
Les images montrent une diversité de structures des bras spiraux, depuis les plus serrés jusqu'aux plus lâches, révélant comment les étoiles s'y égrènent. Les bras spiraux d'une galaxie retracent la distribution des étoiles jeunes et massives. Cependant, les images de Hubble révèlent que les FRBs trouvés près des bras spiraux ne proviennent pas des régions les plus brillantes, illuminées par les étoiles les plus massives. Elles semblent plutôt confirmer l'idée que les FRBs ne proviennent probablement pas de ce genre d'étoiles.

Ces indices ont donc conduit les chercheurs à écarter certains des déclencheurs possibles de ces éruptions, notamment la mort explosive des étoiles les plus jeunes et les plus massives, qui génèrent des sursauts gamma et certains types de supernovæ.

Une autre source peu probable est la fusion d'étoiles à neutrons, les noyaux effondrés d'étoiles ayant succombé en supernovæ. Ces fusions prennent des milliards d'années pour se produire et se trouvent généralement loin des bras spiraux des vieilles galaxies qui ne forment plus d'étoiles.

Les résultats obtenus par l'équipe de Hubble sont toutefois cohérents avec le modèle principal selon lequel les FRBs proviennent d'explosions de magnétars. L'année dernière, des astronomes avaient établi un lien entre les observations d'un FRB repéré dans la Voie lactée et une région où réside un magnétar connu. Les magnétars sont un type d'étoiles à neutrons dotées de puissants champs magnétiques. Ils sont considérés comme les aimants les plus puissants de l'Univers, possédant un champ magnétique 10 billions de fois plus puissant qu'un aimant de porte de réfrigérateur.

En raison de leur puissant champ magnétique, les magnétars sont assez imprévisibles. Dans ce cas, on pense que les FRBs proviennent d'éruptions d'un jeune magnétar. Les étoiles massives évoluent rapidement et deviennent des étoiles à neutrons, dont certaines peuvent être fortement magnétisées, ce qui entraîne des éruptions et des processus



Le télescope spatial Hubble a permis de localiser deux sursauts FRB dans les bras des galaxies présentées ici. Les images du haut correspondent au sursaut FRB 190714, celles du bas à FRB 180924. Les images de gauche montrent les galaxies telles que photographiées par Hubble. Dans celles de droite, un modèle de chaque galaxie a été soustrait pour mieux révéler les bras spiraux. Les ellipses donnent la position des FRBs. Les observations ont été faites en ultraviolet et dans le proche infrarouge en 2019 et 2020 avec la caméra Wide Field 3. (NASA, ESA, Alexandra Mannings (UC Santa Cruz), Wen-fai Fong (Northwestern), Alyssa Pagan (STScI))

magnétiques à leur surface, susceptibles d'émettre des ondes radio. La nouvelle étude s'inscrit dans cette perspective et exclut les progéniteurs très jeunes ou très vieux des FRBs.

Les observations ont également permis aux chercheurs de renforcer l'association entre les FRBs et les galaxies massives à formation d'étoiles. Les précédentes observations au sol de certaines galaxies hôtes possibles des FRBs n'avaient pas permis de détecter aussi clairement la structure sous-jacente, comme les bras spiraux, dans nombre d'entre elles. Les astronomes ne pouvaient donc pas exclure la possibilité que les FRBs proviennent d'une galaxie naine cachée sous une galaxie massive. Dans la nouvelle étude Hubble, le traitement et l'analyse minutieux des images ont permis aux chercheurs d'exclure les galaxies naines sous-jacentes.

Bien que les résultats de l'étude Hubble soient passionnants, les chercheurs affirment qu'ils ont besoin de plus d'observations pour développer un scénario définitif de ces flashs énigmatiques et mieux localiser leur source. La découverte de ces événements localisés est une pièce majeure du puzzle, et une pièce unique par rapport à ce qui a été fait auparavant.

Elias 2-27

Basé sur un communiqué NRAO

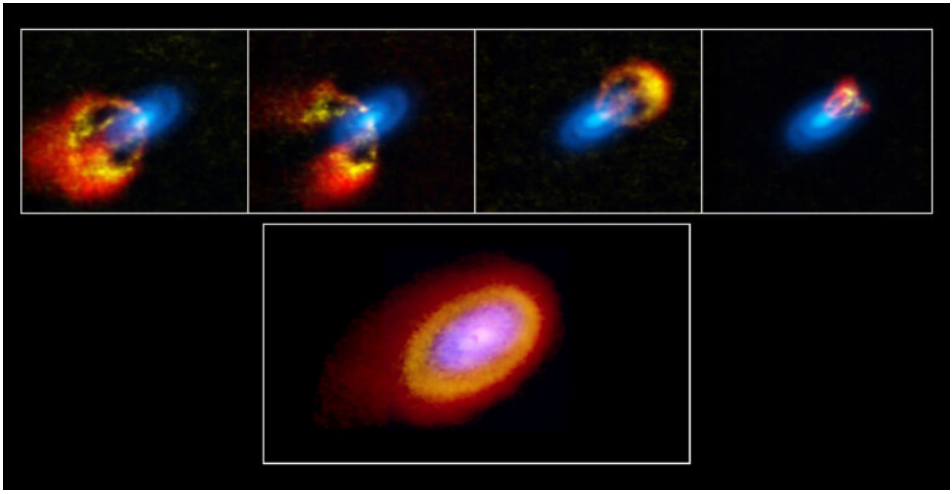
L'étude avec le réseau ALMA de l'étoile jeune Elias 2-27 a confirmé que les instabilités gravitationnelles jouent un rôle clé dans la formation des planètes. On a pu, pour la première fois, mesurer directement la masse des disques protoplanétaires à l'aide de données sur la vitesse du gaz, ce qui pourrait permettre de percer l'un des mystères de la formation des planètes.

Le système stellaire Elias 2-27, situé à moins de 400 années-lumière dans la constellation d'Ophiuchus, présente des signes d'instabilités gravitationnelles qui se produisent lorsque les disques de formation de planètes renferment une grande partie de la masse totale du système. Ces instabilités peuvent accélérer le processus de formation des planètes. En trouver dans Elias 2-27 est très excitant car c'est la première fois que l'on a des preuves cinématiques d'un système instable gravitationnellement.

Les caractéristiques uniques d'Elias 2-27 en ont fait une cible privilégiée d'ALMA. Dès 2016, des scientifiques utilisant ALMA avaient découvert une spirale de poussière tourbillonnant autour de l'étoile. On pensait que ces spirales étaient le résultat d'ondes de densité comme pour les bras spiraux des galaxies, mais à l'époque elles n'avaient encore jamais été observées autour d'étoiles individuelles. Les deux bras spiraux d'Elias 2-27 suggéraient des instabilités gravitationnelles, mais l'origine de ces structures restait un mystère qui demandait des observations supplémentaires.

En plus de confirmer les instabilités gravitationnelles, les scientifiques ont trouvé des perturbations inattendues dans le système stellaire. Il se peut qu'il y ait encore de la matière qui tombe sur le disque en provenance du nuage moléculaire environnant, ce qui rend tout plus chaotique. Le système stellaire Elias 2-27 présente une structure gazeuse très asymétrique par rapport à son plan, une caractéristique que l'on observe pour la première fois dans un disque protoplanétaire.

En mesurant la vitesse du gaz autour d'Elias 2-27, les astronomes ont pu estimer directement la masse du disque protoplanétaire et tracer les perturbations dynamiques. Cette image composite montre l'émission continue des poussières à 0,87mm (en bleu) et celles des isotopologues du monoxyde de carbone $C^{18}O$ (en jaune) et ^{13}CO (en rouge). (ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/T. Paneque-Carreño (Universidad de Chile), B. Saxton (NRAO))

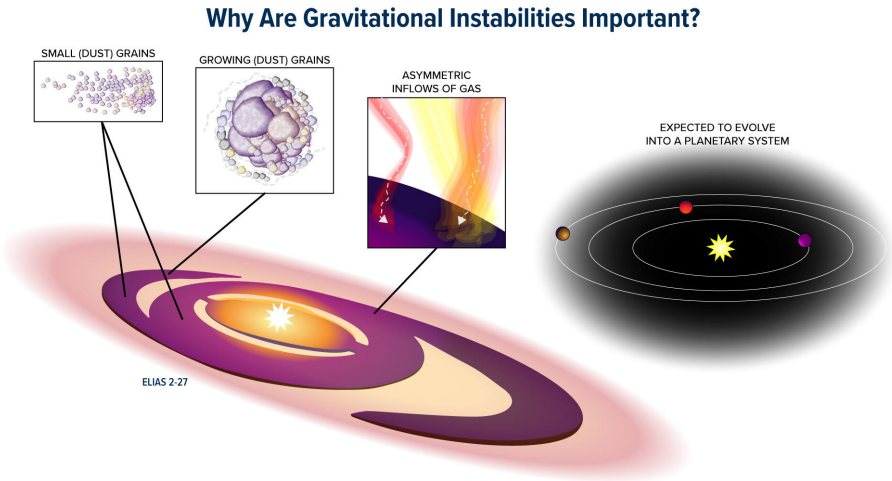


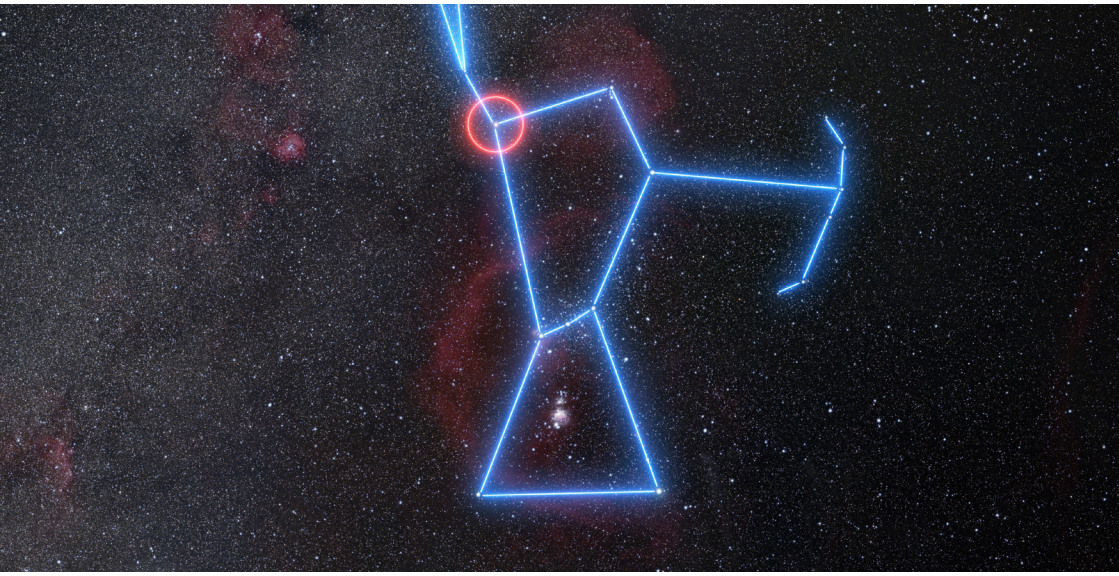
La confirmation de cette asymétrie verticale et des perturbations de vitesse pourrait avoir des implications importantes pour la théorie de la formation des planètes. L'instabilité gravitationnelle que cela suggère pourrait accélérer les premières étapes de la formation des planètes.

Alors que les instabilités gravitationnelles peuvent expliquer les structures en spirale dans le disque circumstellaire de poussière, il n'y a pas encore d'explication claire pour le creux que l'on observe au milieu du disque.

L'un des obstacles à la compréhension de la formation des planètes était l'absence de mesure directe de la masse des disques protoplanétaires, un problème abordé dans la nouvelle recherche. La haute sensibilité d'ALMA a permis à l'équipe d'étudier de plus près les processus dynamiques, la densité et même la masse du disque. Les mesures précédentes de la masse des disques protoplanétaires étaient indirectes et basées uniquement sur la poussière ou sur des rapports isotopiques. La nouvelle étude jette les bases du développement d'une méthode de mesure de la masse du disque qui permettra de lever l'un des obstacles les plus importants et les plus pressants dans le domaine de la formation des planètes. Connaître la quantité de masse présente dans les disques de formation de planètes permet de déterminer la quantité de matière disponible pour la formation des systèmes planétaires et de mieux comprendre le processus par lequel ils se forment.

Elias 2-27 abrite un disque protoplanétaire massif de gaz et de poussière, l'un des éléments clés de la formation des planètes. Dans cette illustration, la poussière montre une forme en spirale découverte pour la première fois dans Elias 2-27 en 2016. Les plus gros grains de poussière se trouvent le long des bras de la spirale tandis que les plus petits grains de poussière sont répartis tout autour du disque protoplanétaire. Des flux asymétriques de gaz ont également été détectés au cours de l'étude, ce qui indique qu'il peut encore y avoir de la matière tombant sur le disque. Les scientifiques pensent qu'Elias 2-27 pourrait finalement évoluer vers un système planétaire, les instabilités gravitationnelles entraînant la formation de planètes géantes. Ce processus prenant des millions d'années, les scientifiques ne peuvent en observer que les premiers stades.
(B. Saxton NRAO/AUI/NSF)





Bételgeuse est l'étoile rouge située à l'épaule d'Orion.
(ESO/N. Risinger/skysurvey.org)

Bételgeuse

Basé sur un communiqué ESO

De nouvelles images de la surface de Bételgeuse, prises à l'aide du VLT de l'ESO, montrent clairement comment sa luminosité a changé et confirment que l'étoile était partiellement cachée par un nuage de poussière, une découverte qui résout le mystère de son important déclin (voir *Le Ciel*, avril 2021, p. 229).

Cette baisse de luminosité de Bételgeuse – un changement perceptible même à l'œil nu – avait conduit les astronomes à pointer le VLT vers l'étoile en décembre 2019. La comparaison de l'image obtenue avec une image prise en janvier de la même année (cf. *Le Ciel*, cité plus haut), a montré que la surface stellaire était nettement plus sombre, notamment dans la région sud. Mais les astronomes n'étaient pas sûrs d'en comprendre la raison.

L'équipe a continué à observer l'étoile pendant son important déclin, capturant deux autres images en janvier 2020 et mars 2020. En avril 2020, l'étoile avait retrouvé sa luminosité normale. Ces images sont les seules qui montrent la surface de Bételgeuse changeant de luminosité au fil du temps.

Elles confirment que le déclin était dû à un voile de poussière qui cachait l'étoile et qui, pour sa part, était le résultat d'une baisse de température de la surface de Bételgeuse.

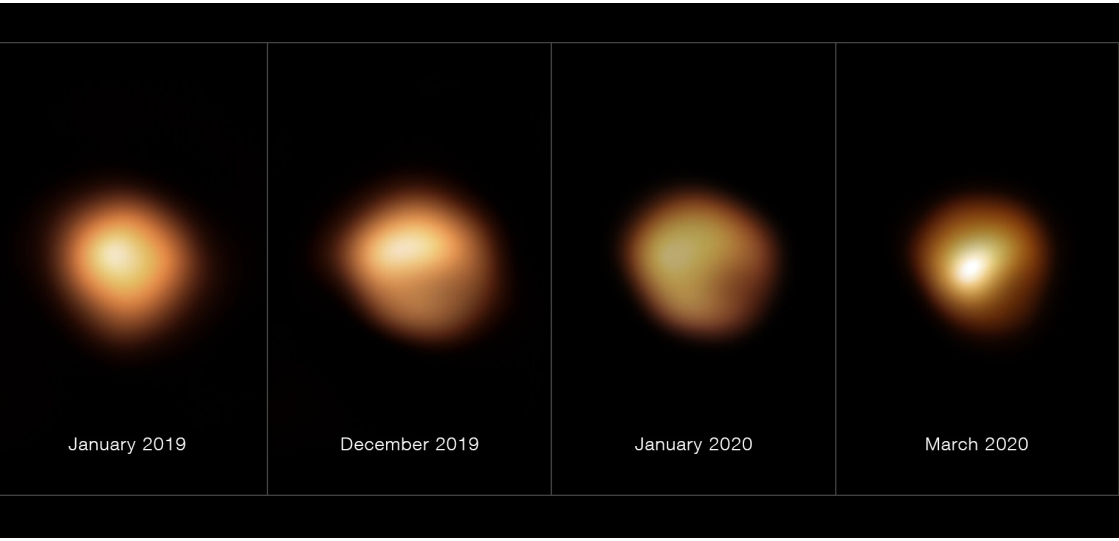
La surface de Bételgeuse change régulièrement lorsque des bulles de gaz géantes se déplacent, rétrécissent et gonflent au sein de l'étoile. Quelque temps avant l'affaiblissement de luminosité, l'étoile a éjecté une de ces grosses bulles de gaz. Lorsqu'une partie de la surface s'est refroidie peu après, la baisse de température a été suffisante pour que le gaz se condense en poussière. L'étude apporte la preuve que la formation de poussière peut se produire très rapidement et à proximité de la surface d'une étoile. La poussière expulsée

par des étoiles froides en fin de vie, comme celle dont nous venons d'être témoins, pourrait former les briques élémentaires des planètes telluriques et de la vie.

Certains spéculaient sur la mort imminente de Bételgeuse dans une spectaculaire explosion de supernova. Aucune supernova n'a été observée dans notre galaxie depuis le XVIIe siècle, si bien que les astronomes ne savent pas exactement ce qu'ils doivent s'attendre à observer d'une étoile avant un tel événement. La nouvelle recherche confirme que la grande diminution de luminosité de Bételgeuse n'était pas un signe précoce que l'étoile se dirigeait vers son ultime explosion.

Les astronomes ont utilisé l'instrument SPHERE (Spectro-Polarimetric High-contrast Exoplanet REsearch) du VLT pour obtenir une image directe de la surface de Bételgeuse, ainsi que l'instrument GRAVITY de l'interféromètre VLTI de l'ESO, afin de surveiller l'étoile tout au long de la diminution de sa luminosité. Ils attendent avec impatience ce que l'avenir de l'astronomie – en particulier l'Extremely Large Telescope (ELT) de l'ESO – apportera à leur étude de Bételgeuse, une étoile supergéante rouge. Grâce à sa capacité à atteindre des résolutions spatiales inédites, l'ELT permettra d'imager directement Bételgeuse avec des détails remarquables. Il élargira également de manière significative l'échantillon de supergéantes rouges dont on peut étudier la surface par imagerie directe, ce qui aidera à percer les mystères qui se cachent derrière les vents de ces étoiles massives.

Ces images, prises avec l'instrument SPHERE du Very Large Telescope de l'ESO, montrent la surface de l'étoile supergéante rouge Bételgeuse pendant la diminution de son intensité lumineuse qui s'est produite fin 2019 et début 2020. L'image à l'extrême gauche, prise en janvier 2019, montre l'étoile à sa luminosité normale, tandis que les autres images, de décembre 2019, janvier 2020 et mars 2020, ont toutes été prises lorsque l'éclat de l'étoile avait sensiblement diminué, en particulier dans sa région sud. La luminosité est revenue à la normale en avril 2020.
(ESO/M. Montargès et al)



Vue d'artiste d'une fusion trou noir-étoile à neutrons. (Carl Knox, OzGrav -Swinburne University)

Fusion trou noir et étoile à neutrons

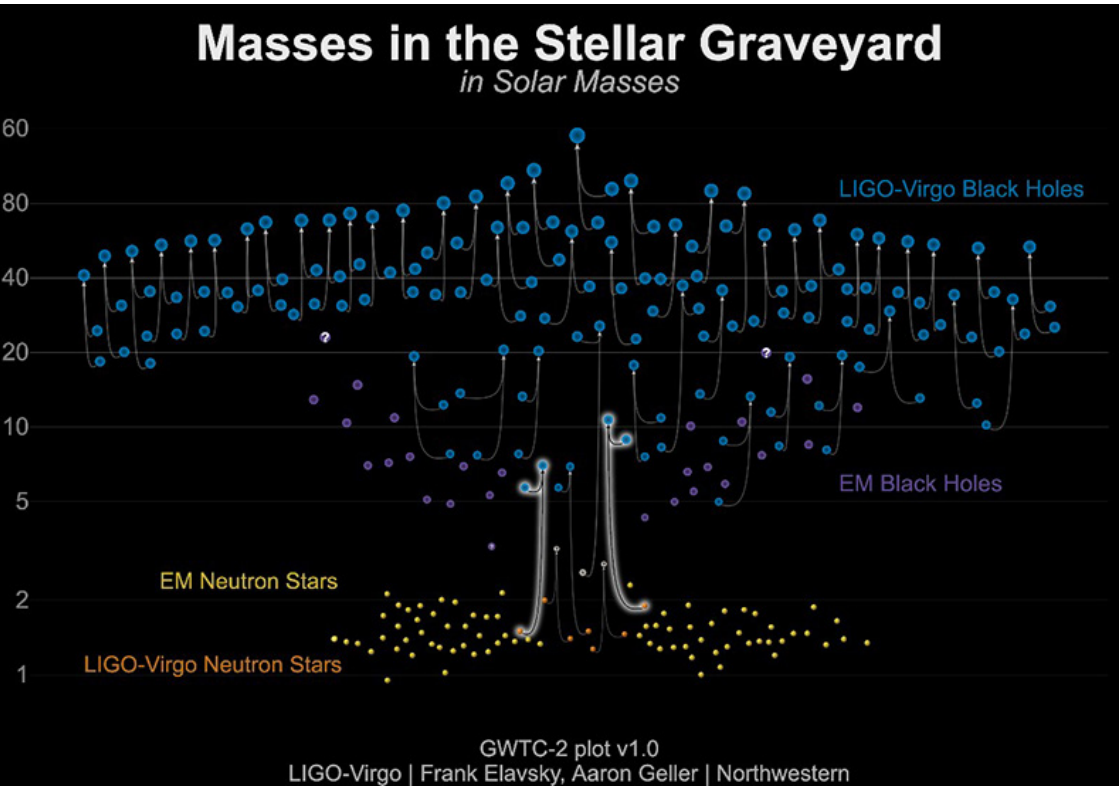
Basé sur un communiqué CNRS

Une nouvelle pièce vient d'être ajoutée au catalogue des phénomènes cosmiques. Annoncée par les collaborations Ligo, Virgo et Kagra, il s'agit de la première détection d'ondes gravitationnelles provenant de la fusion « mixte » entre un trou noir et une étoile à neutrons.

Quelques années ont suffi pour que l'observation des ondes gravitationnelles fournisse un répertoire considérable de phénomènes issus d'objets cosmiques massifs. Les détecteurs Ligo et Virgo ont ainsi permis d'étudier des fusions de couples de trous noirs, pour la plupart, et parfois d'étoiles à neutrons. Mais des ondes gravitationnelles, mesurées en janvier 2020 (les événements GW200105 et GW200115 nommés selon leurs dates de détection) témoignent de l'existence de nouveaux types de systèmes. Ces signaux proviennent en effet d'un phénomène déjà théorisé, mais jusqu'alors jamais observé : la coalescence de couples mixtes composés chacun d'un trou noir et d'une étoile à neutrons.

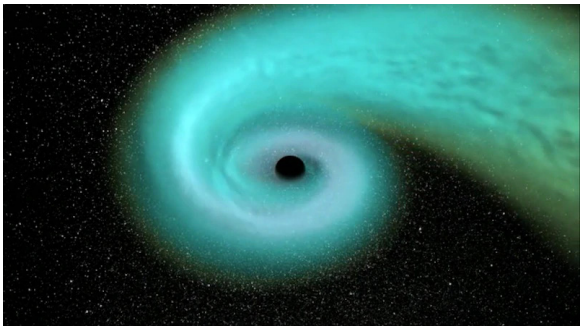
Les ondes gravitationnelles contiennent des informations précieuses sur leurs origines, comme la masse des éléments de la binaire. Leurs analyses ont donc permis de révéler que GW200105 provenait d'un trou noir et d'une étoile à neutrons respectivement 8,9 fois et 1,9 fois plus massifs que le Soleil et dont la fusion a eu lieu il y a 900 millions d'années. Le signal GW200115, quant à lui, est issu d'objets 5,7 et 1,5 fois plus massifs que notre étoile et sa coalescence remonte à 1 milliard d'années. La différence de masse entre les éléments du système indique qu'il s'agit bien de binaires mixtes : la masse de l'objet le plus lourd correspond effectivement à celle d'un trou noir et la masse du plus léger à celle d'une étoile à neutrons. L'écart entre ces deux masses pourrait aussi expliquer l'absence d'observation de signaux lumineux par des télescopes. En effet, une étoile à neutrons s'approchant d'un trou noir peut théoriquement se déchirer sous l'effet de forces de marée, provoquant alors une éruption de rayonnements lumineux. Mais dans les deux cas observés, le trou noir, bien plus massif, pourrait avoir avalé l'étoile à neutrons en une seule bouchée, sans laisser de traces.

Plusieurs hypothèses pourraient expliquer la formation de ces binaires mixtes. La première est celle de l'évolution d'un couple d'étoiles en orbite l'une autour de l'autre, qui deviendraient à la fin de leur vie un trou noir et une étoile à neutrons encore liés. Selon une autre hypothèse, celle de l'interaction dynamique, les deux éléments se formeraient séparément dans un milieu stellaire très dense avant de se rejoindre. Ces résultats ouvrent la voie à la détection d'autres binaires de ce type et à l'observation de phénomènes extrêmes similaires.



▲ ***Représentation de la masse des trous noirs et des étoiles à neutrons détectés via les ondes gravitationnelles (bleu et orange) et via les observations électromagnétiques (violet et bleu). Les fusions trous noirs-étoiles à neutrons correspondant aux signaux GW200105 et GW200115 sont représentées au centre. (LIGO-Virgo / Frank Elavsky, Aaron Geller / Northwestern)***

▼ ***Simulation de la fusion entre une étoile à neutrons et un trou noir. (Deborah Ferguson (UT Austin), Bhavesh Khamesra (Georgia Tech), Karan Jani (Vanderbilt))***



MUSE et ALMA

Basé sur un communiqué ESO

On sait que les étoiles naissent dans des nuages de gaz, mais ce qui déclenche la formation des étoiles et comment les galaxies dans leur ensemble y participent, reste un mystère. De nouvelles images obtenues avec le VLT de l'ESO ont été combinées avec les données du réseau ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) afin d'apporter un nouvel éclairage sur ce qui suscite la formation des étoiles dans les galaxies. Les observations VLT ont été menées dans le cadre du projet Physics at High Angular resolution in Nearby GalaxieS (PHANGS)

Pour la première fois, les astronomes ont pu résoudre des groupes d'étoiles qui se forment dans des environnements divers avec un échantillon qui représente bien les différents types de galaxies. Ils ont pu observer directement le gaz donnant naissance aux étoiles et les jeunes étoiles elles-mêmes, et assister à leur évolution sur différentes phases.

C'est l'instrument MUSE qui a été utilisé sur le VLT pour suivre ces objets en formation et le gaz chaud, lumineux, qui les entoure.

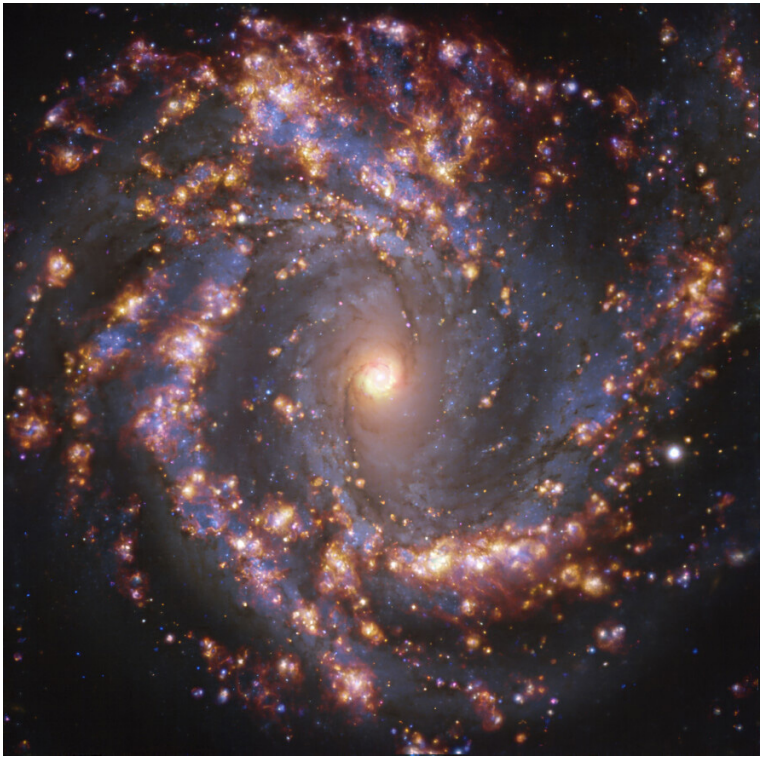
Les images MUSE ont été combinées aux observations des mêmes galaxies réalisées avec ALMA. Le réseau ALMA est particulièrement bien adapté à la cartographie des nuages de gaz froid qui fournissent la matière première à partir de laquelle les étoiles se forment.

Restent de nombreux mystères à élucider déclarent les astronomes : « Les étoiles naissent-elles plus souvent dans des régions spécifiques de leurs galaxies hôtes – et, si oui, pourquoi ? Et après la naissance des étoiles, comment leur évolution influence-t-elle la formation de nouvelles générations d'étoiles ? »

Les astronomes vont maintenant pouvoir répondre à ces questions grâce à la richesse des données MUSE et ALMA. MUSE recueille des spectres – les « codes-barres » que les astronomes scannent pour dévoiler les propriétés et la nature des objets cosmiques – en chaque point de son champ de vision, fournissant ainsi des informations beaucoup plus riches que les instruments traditionnels. Dans le cadre du projet PHANGS, MUSE a observé 30 000 nébuleuses chaudes et recueilli environ 15 millions de spectres de différentes régions galactiques. Les observations ALMA, quant à elles, ont permis aux astronomes de cartographier environ 100 000 nuages froids dans 90 galaxies proches, produisant un atlas d'une précision sans précédent des pouponnières stellaires de l'Univers proche.

En plus d'ALMA et MUSE, le projet PHANGS comprend également des observations du télescope spatial Hubble. Les différents observatoires ont été sélectionnés pour permettre à l'équipe de balayer nos voisins galactiques dans différentes longueurs d'onde (visible, proche infrarouge et radio), chaque gamme de longueur d'onde dévoilant des parties distinctes des galaxies observées. Leur combinaison permet de sonder les différentes étapes de la naissance des étoiles – de la formation des pouponnières stellaires au début de la formation des étoiles proprement dite et à la destruction finale des pouponnières par les nouvelles étoiles.

Aussi remarquable que soit PHANGS, la résolution des nouvelles images est tout juste suffisante pour identifier les nuages individuels, mais pas assez bonne pour voir en détail ce qui se passe à l'intérieur. Les travaux menés dans le cadre du projet PHANGS seront affinés par les télescopes et instruments à venir, tels que le télescope spatial James Webb de la NASA. Ces travaux seront complétés par les observations avec le futur ELT (Extremely Large Telescope) de l'ESO, qui commencera à fonctionner dans le courant de la décennie et permettra d'examiner encore plus en détail les structures des régions de formation stellaire.



La galaxie NGC 4303 vue par MUSE (en haut) et par ALMA et Muse (en bas). NGC 4303 est une spirale située à environ 55 millions d'années-lumière dans la constellation de la Vierge. Les observations d'ALMA sont représentées dans des tons brun-orange et mettent en évidence les nuages de gaz moléculaire froid qui fournissent la matière première à partir de laquelle les étoiles se forment. Les données de MUSE apparaissent principalement en jaune et en bleu. Les zones dorées brillantes montrent les nuages chauds d'hydrogène ainsi que d'oxygène et de soufre ionisés, marquant la présence d'étoiles nouvellement nées, tandis que les régions bleutées révèlent la distribution d'étoiles plus anciennes. (ESO/ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/PHANGS)

La spirale barrée NGC 1300 observée par MUSE (en haut) et par ALMA et MUSE (en bas). NGC 1300, dans Eridan, est distante de 61 millions d'années-lumière. (ESO/ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/PHANGS)

La galaxie NGC 3627 observée par MUSE (en haut) et par ALMA et MUSE (en bas).
NGC 3627 est une spirale située à environ 31 millions d'années-lumière dans le Lion.
(ESO/ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/PHANGS)

HD265435, future supernova

Basé sur un communiqué University of Warwick

Une étude confirme que le système HD265435 évolue probablement vers une supernova de type Ia, le genre d'explosion qui aide les astronomes à déterminer la vitesse d'expansion de l'Univers.

HD265435 est situé à environ 1 500 années-lumière et comprend une étoile sous-naine chaude et une étoile naine blanche qui orbitent l'une autour de l'autre en une centaine de minutes. Les naines blanches sont des étoiles mortes qui ont brûlé tout leur combustible et se sont considérablement ratatinées, devenant ainsi extrêmement denses.

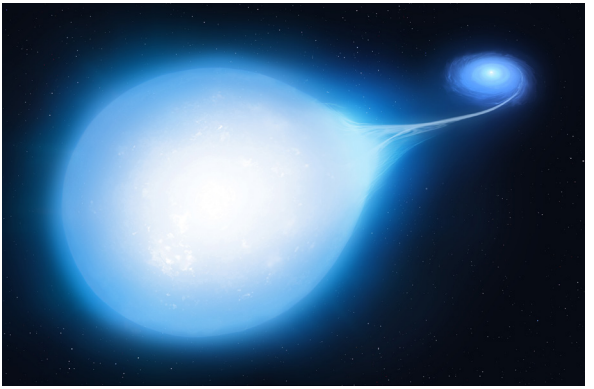
Une supernova de type Ia se produit lorsque le noyau d'une naine blanche se réveille, entraînant une explosion thermonucléaire. Il existe deux scénarios dans lesquels cela peut se produire. Dans le premier, la naine blanche gagne suffisamment de masse pour atteindre 1,4 fois la masse de notre Soleil, ce que l'on appelle la limite de Chandrasekhar. HD265435 s'inscrit dans le second scénario, dans lequel la masse totale d'un système stellaire serré est proche de ou supérieure à cette limite. Seule une poignée d'autres systèmes stellaires ont été découverts qui atteignent ce seuil et donnent lieu à une supernova de type Ia.

L'un des moyens pour agréger suffisamment de masse est de la pomper depuis la sous-naine chaude. Lorsque les deux astres se rapprochent, la matière commence à s'échapper de la sous-naine et tombe sur la naine blanche. Autre possibilité : comme ils perdent de l'énergie à cause des émissions d'ondes gravitationnelles, ils vont se rapprocher jusqu'à fusionner. Une fois que la naine blanche a gagné suffisamment de masse par l'une ou l'autre de ces méthodes, elle devient une supernova.

Grâce aux données du satellite TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) de la NASA, les astronomes ont pu observer la sous-naine chaude du système HD265435, mais pas la naine blanche, beaucoup plus petite et moins brillante. Les variations de luminosité au cours du temps montrent que l'étoile est déformée en forme de goutte ou de poire, certainement sous l'influence d'un objet massif proche. En utilisant les mesures de vitesse radiale et de vitesse de rotation effectuées aux observatoires Palomar et W. M. Keck, et en modélisant l'effet de l'objet massif sur la sous-naine, les astronomes ont pu confirmer que l'astre massif est une naine blanche de 0,6 masse solaire et d'un diamètre un peu inférieur au rayon de la Terre.

Ensemble, les deux étoiles ont la masse suffisante pour provoquer une supernova de type Ia. Comme les deux étoiles sont déjà suffisamment proches pour commencer à se rapprocher en spirale, la naine blanche va inévitablement se transformer en supernova dans environ 70 millions d'années. Les modèles théoriques élaborés spécifiquement pour cette étude prévoient que la sous-naine chaude se contractera pour devenir elle aussi une naine blanche avant de fusionner avec son compagnon.

Les supernovæ de type Ia sont importantes pour la cosmologie en tant que « bougies standard ». Leur luminosité est constante et peut donc servir d'étalon pour déterminer leur distance avec un bon degré de précision. En observant ces supernovæ dans des galaxies lointaines, les astronomes combinent les mesures de distance et de vitesse pour estimer l'expansion de l'Univers.



(University of Warwick/Mark Garlick),

Tectonique vénusienne

Basé sur un communiqué NC State University

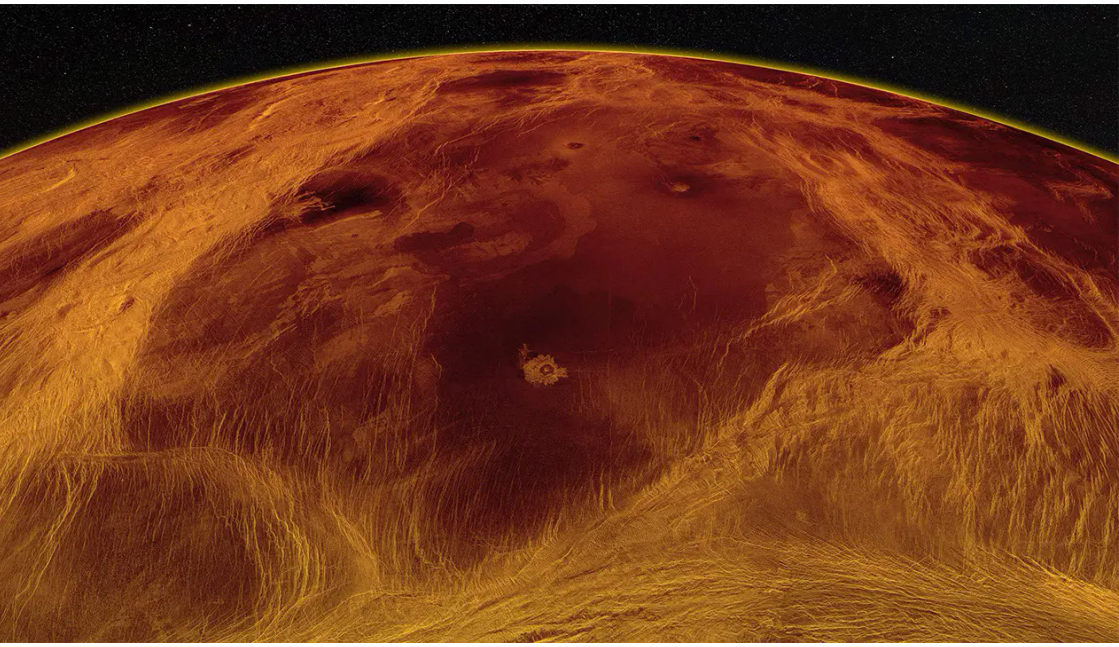
Une nouvelle analyse de la surface de Vénus montre des signes de mouvement tectonique sous la forme de blocs crustaux qui se bousculent entre eux comme les glaces détachées de la banquise (« le pack polaire »). Les mouvements de ces blocs suggèrent que Vénus est géologiquement active, ce qui donne peut-être un aperçu de la tectonique des exoplanètes et de la Terre primitive.

Bien que différente de la tectonique que nous observons actuellement sur Terre, c'est le signe de mouvements intérieurs s'exprimant à la surface de la planète. Cette découverte est importante car on a longtemps supposé que Vénus avait une enveloppe extérieure solide et immobile, la lithosphère, tout comme Mars ou la Lune. En revanche, la lithosphère de la Terre est divisée en plaques tectoniques, qui glissent les unes par rapport aux autres au-dessus du manteau.

Pour arriver à ce résultat, les chercheurs ont cartographié la surface de Vénus grâce aux images radar de la mission Magellan. Les vastes plaines vénusiennes qui constituent la plus grande partie de la surface de la planète ont révélé des zones où de grands blocs de lithosphère s'étaient déplacés, s'étaient séparés ou rapprochés, avaient tourné ou glissé les uns sur les autres.

Une modélisation de ces déformations montre que les mouvements lents de l'intérieur de la planète peuvent expliquer le style de tectonique observé à sa surface.

Vue radar oblique du plus grand bloc mouvant identifié sur Vénus. Il est entouré d'une ceinture de structures tectoniques complexes mais l'intérieur est beaucoup moins déformé, abritant des coulées de lave et quelques cratères d'impact. (P. Byrne, NASA/JPL)



Sur Terre, la tectonique des plaques est alimentée par la convection dans le manteau. Le manteau est chaud ou froid à différents endroits ; il bouge et une partie de ce mouvement est transférée à la surface sous la forme de mouvements de plaques. Une variation sur ce thème semble également se produire sur Vénus. Il ne s'agit pas de tectonique des plaques comme sur Terre – il n'y a pas d'énormes chaînes de montagnes qui se créent ici, ni de systèmes de subduction géants – mais il y a des preuves de déformation due à l'écoulement du manteau intérieur.

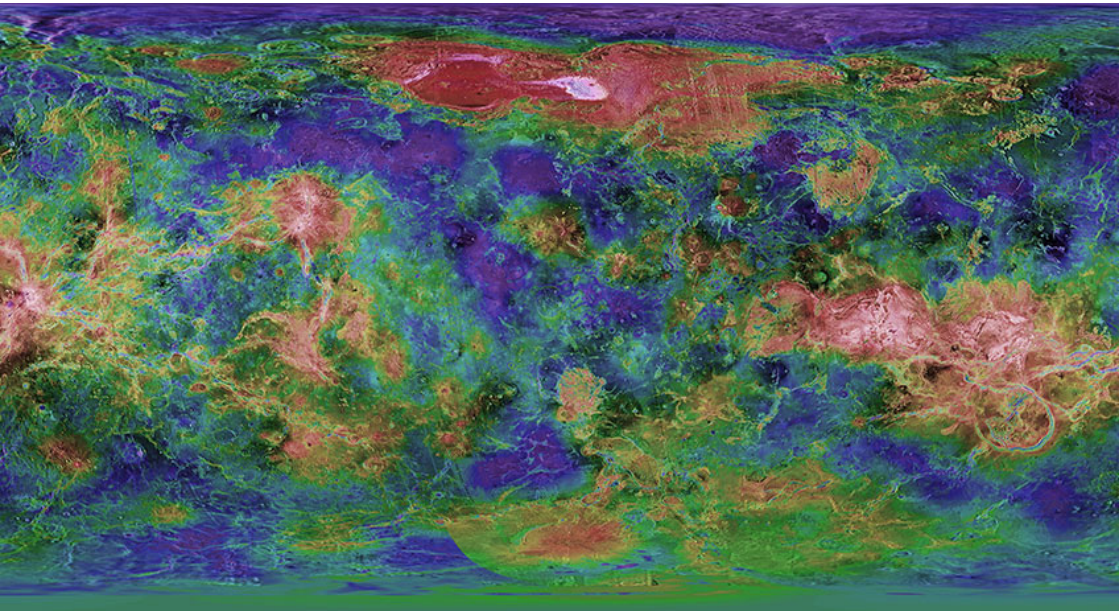
La déformation associée à ces blocs crustaux pourrait également indiquer que Vénus est encore géologiquement active. On sait que Vénus a fait l'objet de résurgences volcaniques au fil du temps, donc certaines parties de la planète pourraient être vraiment jeunes, géologiquement parlant. La fragmentation de la lithosphère après la mise en place de ces plaines suggère que certains des blocs observés ont pu se déplacer très récemment – peut-être même jusqu'à aujourd'hui.

Les chercheurs sont optimistes : le modèle de banquise pourrait offrir des indices pour comprendre la déformation tectonique d'exoplanètes ou de la Terre ancienne.

L'épaisseur de la lithosphère d'une planète dépend principalement de sa température, tant à l'intérieur qu'à la surface. Le flux de chaleur provenant de l'intérieur de la jeune Terre était jusqu'à trois fois supérieur à ce qu'il est aujourd'hui, de sorte que sa lithosphère a pu être semblable à ce que nous voyons aujourd'hui sur Vénus : pas assez épaisse pour former des plaques qui se déforment, mais assez épaisse pour s'être fragmentée en blocs.

La NASA et l'Agence spatiale européenne ont récemment approuvé trois nouvelles missions de vaisseaux spatiaux vers Vénus qui permettront d'acquérir des observations de la surface de la planète à une résolution bien supérieure à celle de Magellan et, peut-être, de vérifier si les plaines de Vénus se sont fragmentées en un pack mouvant de blocs crustaux.

La surface de Vénus vue par la sonde Magellan. (USGS Astrogeology Science Center)



Méthane martien

Basé sur un communiqué JPL

Pourquoi certains instruments détectent-ils du méthane sur la Planète rouge et d'autres pas ? Les rapports discordants sur la détection de cette molécule sur Mars ont captivé les scientifiques et les non-scientifiques. Sur Terre, une quantité importante de méthane est produite par les microbes qui aident la majorité du bétail à digérer les plantes. À la fin de ce processus de digestion, le bétail élimine le gaz dans l'air.

Bien qu'il n'y ait pas de bétail, de moutons ou de chèvres sur Mars, la découverte de méthane est passionnante, car elle pourrait signifier la présence de microbes. Le méthane pourrait toutefois ne pas être d'origine biologique ; des processus géologiques impliquant l'interaction de roches, d'eau et de chaleur peuvent également le produire.

Avant d'identifier les sources de méthane sur Mars, les scientifiques doivent répondre à une question qui les taraude : « Pourquoi certains instruments détectent-ils le gaz alors que d'autres ne le font pas ? » Le rover Curiosity de la NASA, par exemple, a détecté à plusieurs reprises du méthane juste au-dessus de la surface du cratère Gale. Mais le TGO (Trace Gas Orbiter) du satellite ExoMars de l'ESA n'a pas détecté de méthane plus haut dans l'atmosphère martienne.

Le TLS (Tunable Laser Spectrometer) de Curiosity a mesuré moins de 0,5 ppb (partie par milliard)[1] en volume de méthane en moyenne dans le cratère Gale. C'est l'équivalent d'une pincée de sel diluée dans une piscine olympique. Ces mesures ont été ponctuées de pics surprenants allant jusqu'à 20 ppb en volume.

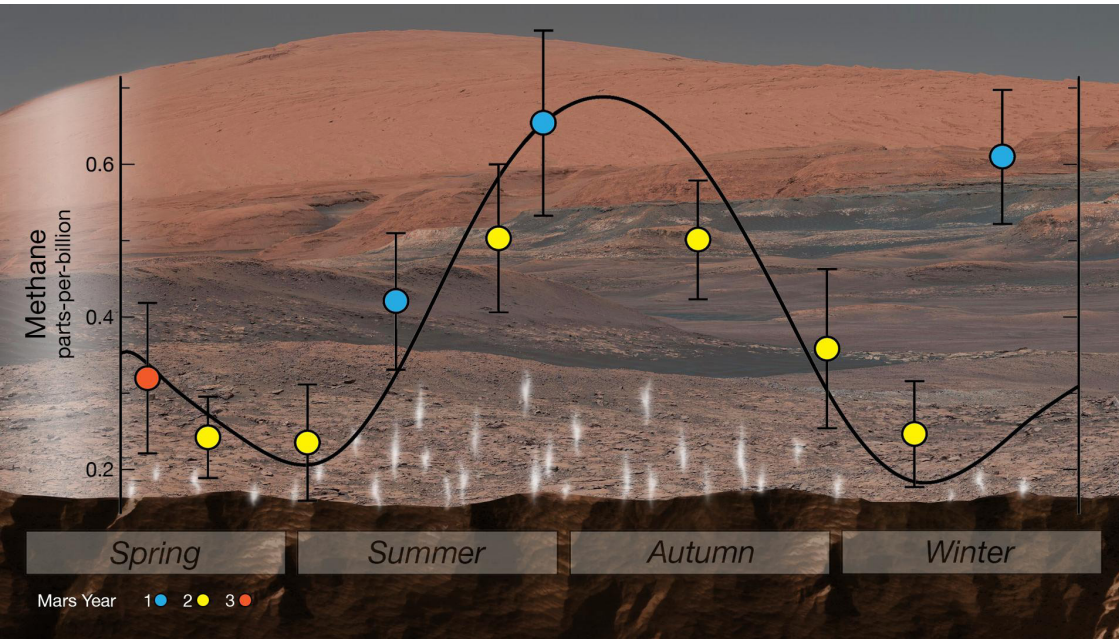
L'orbiteur européen a été conçu pour être la référence en matière de mesure du méthane et d'autres gaz sur l'ensemble de la planète. En même temps, les TLS sont des instruments si précis qu'on les utilisera pour la détection précoce des incendies sur la Station spatiale internationale et pour le suivi des niveaux d'oxygène dans les combinaisons des astronautes. Ils sont également employés dans les centrales électriques, les oléoducs et dans les avions de chasse pour que les pilotes puissent surveiller les niveaux d'oxygène et de dioxyde de carbone .

Certains experts ont suggéré que le rover lui-même était à l'origine de la libération du méthane. On a cherché en vain des corrélations avec le pointage du rover, le sol, l'écrasement des roches, la dégradation des roues...

Finalement, John E. Moores, un scientifique canadien, s'est posé la question « Et si Curiosity et le Trace Gas Orbiter avaient tous deux raison ? ». Comme il a besoin de beaucoup d'énergie, le TLS fonctionne surtout la nuit, lorsqu'aucun autre instrument de Curiosity ne fonctionne. L'atmosphère martienne est alors très calme, de sorte que le méthane qui s'échappe du sol s'accumule près de la surface où Curiosity peut le détecter. Au contraire, le Trace Gas Orbiter d'ExoMars a besoin de la lumière du Soleil pour détecter le méthane à environ 5 kilomètres au-dessus de la surface. La chaleur solaire brasse l'atmosphère. Le méthane qui est confiné près de la surface la nuit se dilue dans l'atmosphère pendant la journée jusqu'à des valeurs indétectables par tout instrument, en particulier un instrument en orbite.

L'équipe de Curiosity a décidé de tester la prédiction de Moores en recueillant les premières mesures diurnes de haute précision. TLS a mesuré le méthane successivement au cours d'une journée martienne, en mettant entre parenthèses une mesure nocturne et deux mesures diurnes. Pour chaque expérience, SAM a aspiré l'air martien pendant deux heures, éliminant continuellement le dioxyde de carbone, qui constitue 95 % de l'atmosphère de la planète. Il en est résulté un échantillon concentré de méthane que le TLS a pu facilement mesurer en le faisant passer plusieurs fois dans un faisceau laser infrarouge, réglé pour utiliser une longueur d'onde précise de la lumière absorbée par le méthane.

1 Comme million et milliard partagent la même initiale, on utilise couramment la notation anglaise pour ces abréviations : parts-per-million (ppm, 10^{-6}), parts-per-billion (ppb, 10^{-9}), parts-per-trillion (ppt, 10^{-12})



Le rover Curiosity de la NASA avait pu détecter des changements saisonniers du méthane atmosphérique dans le cratère Gale au long de trois années martiennes, avec un pic chaque été. Une nouvelle étude montre une variation diurne qui explique pourquoi le satellite ExoMars n'avait jamais trouvé trace de cette molécule dans l'atmosphère de la Planète rouge. (NASA/JPL-Caltech)

Selon les prédictions, le méthane devait donc tomber à zéro pendant la journée, et cela a bien été confirmé par les deux mesures diurnes. Quant à la mesure nocturne de TLS, elle s'inscrit parfaitement dans la moyenne que l'équipe avait déjà établie. Cela met fin à cette grande divergence.

Si cette étude suggère que les concentrations de méthane augmentent et diminuent tout au long de la journée à la surface du cratère Gale, les scientifiques n'ont pas encore résolu l'énigme globale du méthane sur Mars. Le méthane est une molécule stable qui devrait durer environ 300 ans sur Mars avant d'être détruite par le rayonnement solaire. Si le méthane s'écoule constamment de tous les cratères similaires, ce que les scientifiques pensent probable étant donné que le cratère Gale ne semble pas être unique d'un point de vue géologique, il devrait s'être accumulé en quantité suffisante dans l'atmosphère pour être détecté par le Trace Gas Orbiter. Les scientifiques soupçonnent que quelque chose détruit le méthane en moins de 300 ans.

Des expériences sont en cours pour vérifier si des décharges électriques de très faible intensité induites par la poussière dans l'atmosphère martienne peuvent détruire le méthane, ou si l'oxygène abondant à la surface martienne peut dissocier les molécules de méthane avant qu'elles n'atteignent la haute atmosphère.

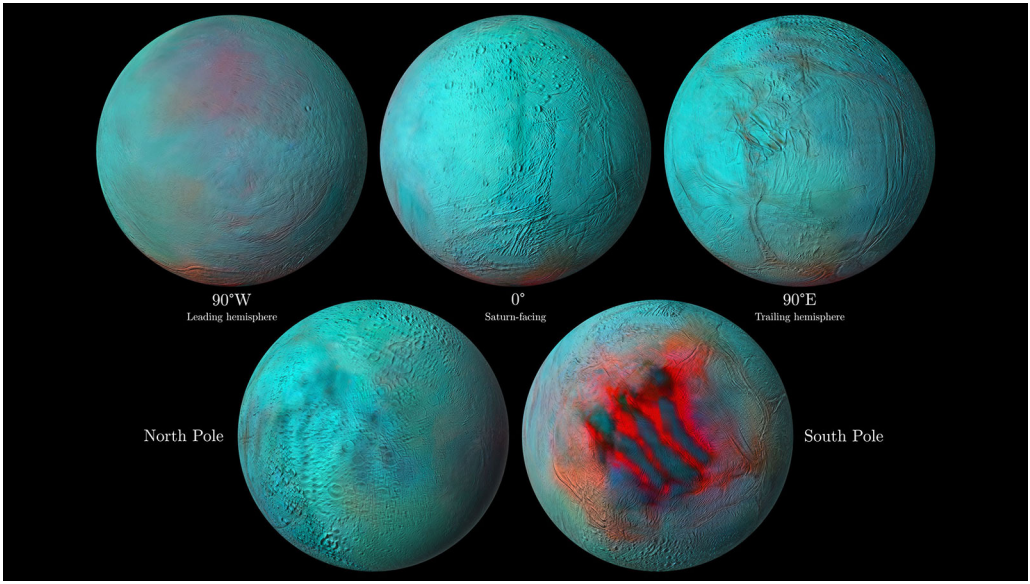
Méthane d'Encelade

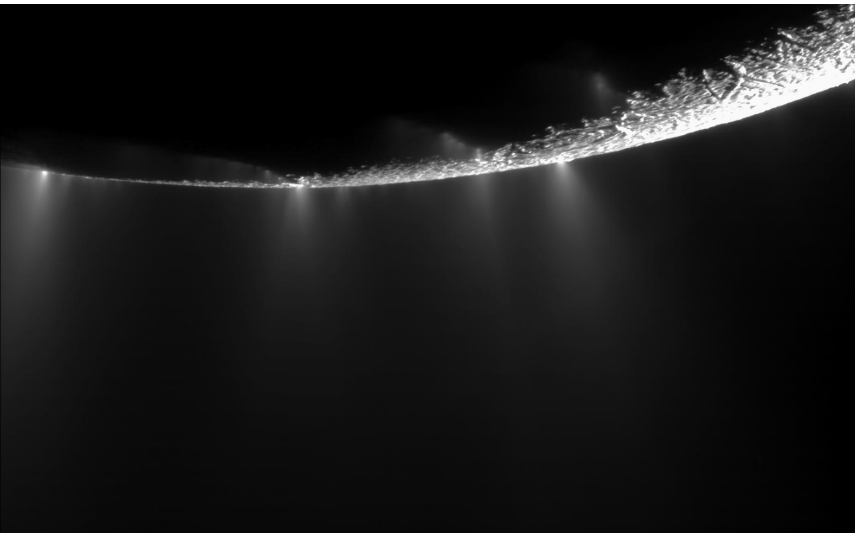
Basé sur un communiqué Univ. of Arizona

Un processus inconnu de production de méthane est probablement à l'œuvre dans l'océan caché sous la croûte glacée d'Encelade, une des lunes de Saturne. Les panaches d'eau géants qui s'échappent d'Encelade suscitent la curiosité des scientifiques et du public, inspirant des recherches et des spéculations sur le vaste océan souterrain. En passant au travers de ces panaches, la sonde Cassini a pu mesurer leur composition chimique. Elle a ainsi détecté une concentration relativement élevée de certaines molécules qui, sur Terre, sont associées aux évents hydrothermaux du fond des océans, notamment de l'hydrogène, du méthane et du dioxyde de carbone. La quantité de méthane trouvée dans les panaches est particulièrement élevée.

Les microbes terrestres qui consomment l'hydrogène et rejettent du méthane pourraient-ils expliquer la quantité étonnamment importante de méthane détectée par Cassini ? La recherche de tels microbes méthanogènes sur le plancher océanique d'Encelade nécessiterait des missions extrêmement complexes impliquant des plongées profondes, et ne sont pas envisagées avant plusieurs décennies. Les scientifiques ont donc abordé le problème par une autre voie, plus facile : des modèles mathématiques qui calculent la probabilité des différents processus, dont la méthanogénèse biologique, qui pourraient expliquer les observations. Ces modèles combinent géochimie et écologie microbienne pour analyser les données du panache de Cassini et modéliser les processus. Il ressort de ce travail que les données de Cassini sont compatibles soit avec une activité hydrothermale microbienne, soit avec des processus qui n'impliquent pas de formes de vie mais qui sont différents de ceux connus sur Terre.

Dépôts de glace fraîche (en rouge) sur Encelade. En haut : vues équatoriales, dont l'une suggère la présence de dépôts. En bas : pôle nord (gauche) et pôle sud (droite), siège d'une intense activité. (NASA/JPL-Caltech/University of Arizona/LPG/CNRS/University of Nantes/Space Science Institute)





Des geysers émergent de fractures au pôle sud d'Encelade et sont responsables des dépôts vus sur l'image précédente. (NASA / JPL-Caltech / Space Science Institute)

Sur Terre, l'activité hydrothermale se produit lorsque de l'eau de mer froide s'infiltre au fond de l'océan, circule dans la roche sous-jacente et passe à proximité d'une chambre magmatique chaude, avant d'être rejetée dans l'océan par des cheminées hydrothermales. Sur Terre, le méthane peut être produit par l'activité hydrothermale, mais à un rythme lent. La majeure partie de la production est due à des micro-organismes qui exploitent le déséquilibre chimique du dihydrogène produit par l'activité hydrothermale comme source d'énergie, et produisent du méthane à partir du dioxyde de carbone.

Les modèles relatifs à Encelade suggèrent que même l'estimation la plus élevée possible de la production abiotique de méthane (c'est-à-dire sans aide biologique) basée sur la chimie hydrothermale connue est loin d'être suffisante pour expliquer la concentration de méthane mesurée dans les panaches. En revanche, l'ajout de la méthanogénèse biologique au mélange pourrait produire suffisamment de méthane pour correspondre aux observations de Cassini.

On ne peut encore conclure que la vie existe dans l'océan d'Encelade, mais les modèles suggèrent qu'il est probable que les cheminées hydrothermales d'Encelade soient habitables par des micro-organismes de type terrestre. Pour pouvoir rejeter l'hypothèse de la vie, il faudra plus de données provenant de missions futures.

Les scientifiques espèrent que ce résultat guidera les études visant à mieux comprendre les observations faites par Cassini et qu'il encouragera les recherches visant à élucider les processus abiotiques qui pourraient produire suffisamment de méthane pour expliquer les données. Par exemple, le méthane pourrait provenir de la dégradation chimique de la matière organique primordiale qui pourrait être présente dans le noyau d'Encelade et qui pourrait être partiellement transformée en dihydrogène, méthane et dioxyde de carbone par le processus hydrothermal. Cette hypothèse est très plausible s'il s'avère qu'Encelade s'est formée par accrétion de matière riche en matière organique fournie par des comètes.

Un intérêt de cette étude est qu'elle n'est pas limitée à des systèmes spécifiques tels que les océans intérieurs des lunes glacées et ouvre la voie au traitement des données chimiques des planètes hors du Système solaire lorsqu'elles seront disponibles dans les prochaines décennies.

Aurores X de Jupiter

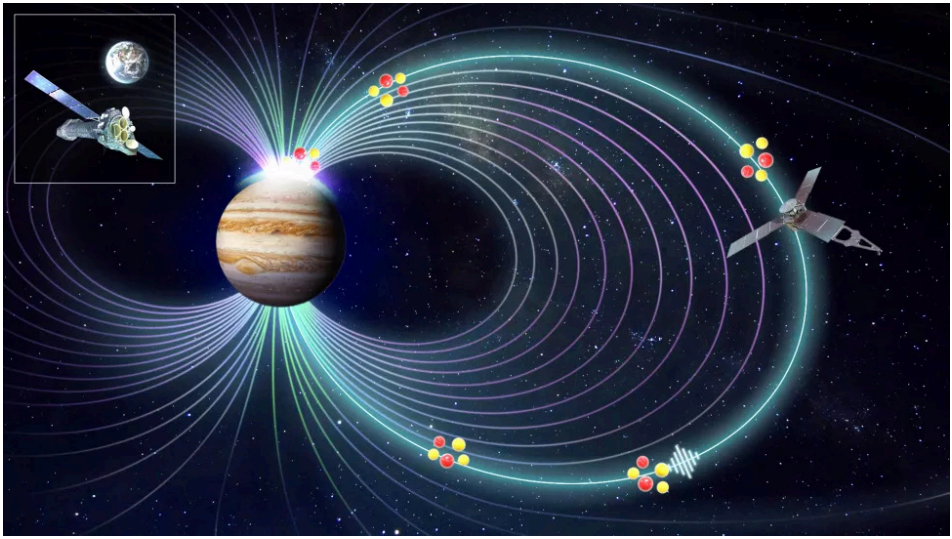
Basé sur un communiqué ESA

Des aurores ont été observées sur de nombreux astres, planètes, lunes, étoiles, en passant par les naines brunes. Elles sont provoquées par des courants de particules atomiques chargées électriquement – électrons et ions – qui entrent en collision avec les couches atmosphériques.

Une caractéristique des aurores terrestres est qu'elles ont tendance à la symétrie nord-sud : lorsqu'elles s'illuminent au pôle Nord, elles s'illuminent généralement aussi au pôle Sud. On s'attendait à ce qu'il en soit de même pour les aurores ailleurs, mais une nouvelle étude portant sur Jupiter, révèle que celles de la géante gazeuse sont beaucoup moins coordonnées.

Cette étude, à laquelle Liège a participé, a utilisé les observatoires spatiaux XMM-Newton de l'ESA et Chandra de la NASA pour observer les rayons X à haute énergie produits par les aurores aux pôles de Jupiter. Alors que les aurores australes pulsent toutes les 11 minutes, celles du pôle Nord de la planète sont chaotiques.

Images superposées du pôle de Jupiter, provenant de l'orbiteur Juno de la NASA et du télescope spatial X Chandra de la NASA. À gauche, une projection de l'aurore radio du nord de Jupiter (en violet) est superposée à une image en lumière visible du pôle nord obtenue par la caméra Junocam de Juno. À droite, on voit la contrepartie sud. (NASA Chandra/Juno Wolk/Dunn)



Les mystérieuses aurores à rayons X de Jupiter ont été expliquées, mettant fin à une quête de 40 ans. Les astronomes ont pu observer la façon dont le champ magnétique de Jupiter est comprimé, ce qui réchauffe les particules et les dirige le long des lignes de champ.
Le lien a été établi en combinant les données in situ de la mission Juno avec les observations de rayons X de XMM-Newton.
(ESA/NASA/Yao/Dunn)

Les astronomes pensaient que l'activité serait coordonnée par le champ magnétique de Jupiter, mais le comportement observé est assez déroutant. C'est d'autant plus étrange que Saturne, quant à elle, ne produit pas d'aurores à rayons X détectables.

Les observations de XMM-Newton et Chandra ont permis d'identifier et de cartographier les points chauds de rayons X aux pôles de Jupiter. Chaque point chaud couvre une surface équivalente à la moitié de la surface de la Terre.

L'influence magnétique de Jupiter est colossale ; la région de l'espace sur laquelle le champ magnétique domine – la magnétosphère – est environ 40 fois plus grande que celle de la Terre, et remplie de plasma à haute énergie. Aux confins de cette région, les particules chargées provenant des éruptions volcaniques de la lune de Jupiter, Io, interagissent avec la frontière magnétique entre la magnétosphère et l'espace interplanétaire. Ces interactions créent des phénomènes intenses, dont les aurores.

Les particules chargées doivent frapper l'atmosphère de Jupiter à des vitesses exceptionnellement élevées pour générer les impulsions de rayons X observées. Celles qui se dirigent vers les pôles de Jupiter ne semblent pas avoir assez d'énergie pour générer des aurores de rayons X. Elles doivent donc subir une accélération supplémentaire en chemin, sans doute liée au puissant champ régnant dans la haute atmosphère.

L'asymétrie des lumières du nord et du sud de Jupiter suggère que de nombreux corps cosmiques connus pour leurs aurores – exoplanètes, étoiles à neutrons, naines brunes et autres corps en rotation rapide – pourraient produire des aurores très différentes à chaque pôle.

Oscillations solaires lentes

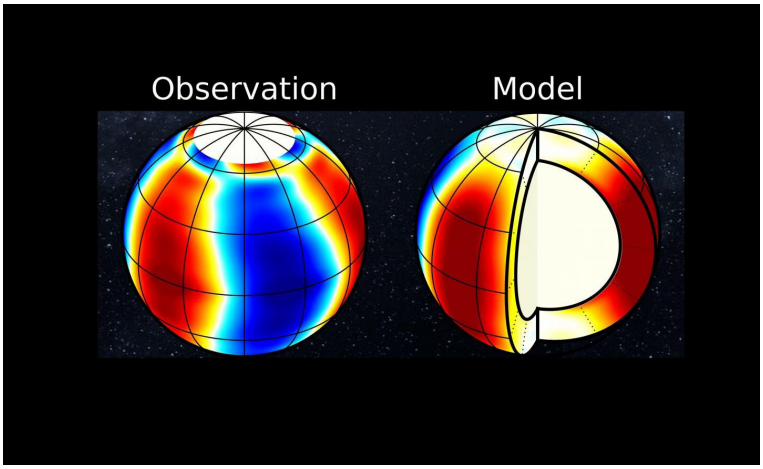
Basé sur un communiqué MPS

Le Soleil est le siège d'oscillations globales de périodes très longues, comparables à la période de rotation solaire de 27 jours. Ces oscillations se manifestent sur la photosphère par des mouvements tourbillonnants dont la vitesse est de l'ordre de 5 kilomètres par heure. Ces mouvements ont été mesurés en analysant dix années d'observations du SDO (Solar Dynamics Observatory). À l'aide de modèles informatiques, les scientifiques ont montré qu'il s'agit de modes résonnants qui doivent leur existence à la rotation différentielle du Soleil. Ces oscillations permettront de trouver de nouveaux moyens de sonder l'intérieur du Soleil et d'obtenir des informations sur la structure et la dynamique internes de notre étoile.

Les vibrations rapides du Soleil ont été découvertes dans les années 1960. Le Soleil sonne comme une cloche. Des millions de modes d'oscillations acoustiques de courtes périodes (de l'ordre de 5 minutes), sont excités par la turbulence près de la surface et sont piégés à l'intérieur du Soleil. Ces oscillations de 5 minutes ont été observées en continu par des télescopes terrestres et des observatoires spatiaux depuis le milieu des années 1990 et ont été utilisées avec succès pour connaître la structure interne et la dynamique de notre étoile, de la même façon que les sismologues connaissent l'intérieur de la Terre en étudiant les tremblements de terre. L'un des triomphes de l'héliosismologie est d'avoir cartographié la rotation différentielle du Soleil en fonction de la profondeur et de la latitude.

En plus des oscillations de 5 minutes, des oscillations de périodes beaucoup plus longues ont été prédites dans les étoiles il y a plus de 40 ans, mais n'avaient pas encore été identifiées sur le Soleil. Elles dépendent de la rotation du Soleil et ne sont pas de nature acoustique. Leur détection nécessite la mesure des mouvements horizontaux à la surface du Soleil durant de nombreuses années. Les observations continues du SDO sont parfaites à cet effet.

L'équipe a observé plusieurs dizaines de modes d'oscillation, chacun ayant sa propre période et sa propre dépendance spatiale. Certains modes d'oscillation ont une vitesse maximale aux pôles, d'autres aux latitudes moyennes ou près de l'équateur. Les modes de vélocité maximale près de l'équateur sont des modes de Rossby, que l'équipe avait déjà identifiés en 2018. Les oscillations à longue période se manifestent par des mouvements tourbillonnants très lents à la surface du Soleil, avec des vitesses d'environ 5 kilomètres par heure. Ces résultats sont confirmés par les données de GONG (Global Oscillation Network Group), un réseau de six observatoires solaires

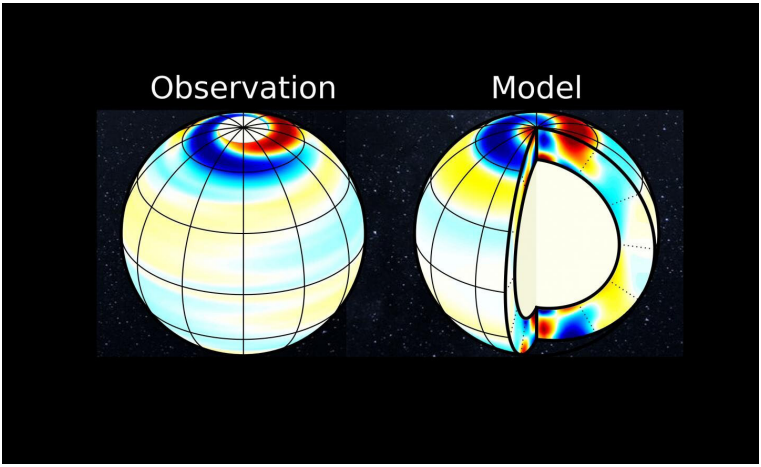


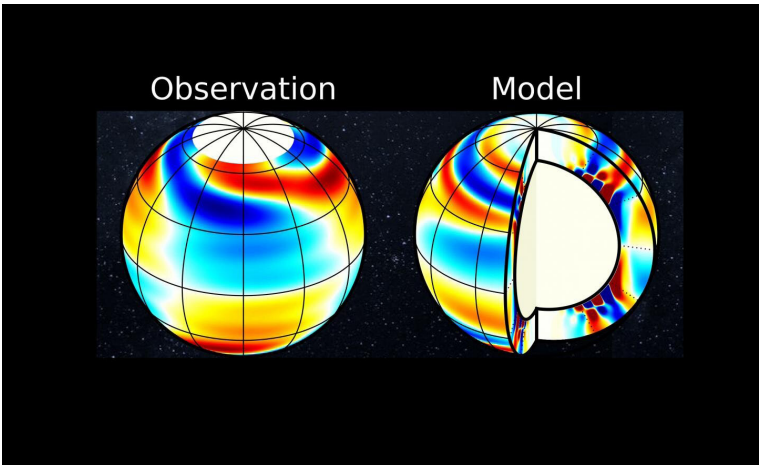
Champ de vitesse nord-sud associé au mode de propagation rétrograde de l'oscillation. Les observations du SDO sont à gauche, le modèle à droite. (MPS/Z-C Liang)

aux États-Unis, en Australie, en Inde, en Espagne et au Chili.

Pour identifier la nature de ces oscillations, l'équipe a comparé les données d'observation à des modèles informatiques qui permettent de regarder à l'intérieur du Soleil et de déterminer la structure tridimensionnelle complète des oscillations. Les oscillations libres du modèle sont trouvées en considérant des perturbations de faible amplitude du modèle solaire. Les vitesses correspondantes à la surface concordent bien avec les oscillations observées.

Toutes ces nouvelles oscillations que nous observons sur le Soleil sont fortement affectées par la rotation différentielle du Soleil. La dépendance de la rotation solaire avec la latitude détermine les régions où les modes ont l'amplitude maximale. Les oscillations sont également sensibles aux propriétés de l'intérieur du Soleil : en particulier à la force des mouvements turbulents et à la viscosité du milieu solaire qui y est associée, ainsi qu'à la force de la convection. Cette sensibilité est forte à la base de la zone de convection, à environ deux cent mille kilomètres sous la surface solaire. Tout comme les oscillations acoustiques permettent de connaître la vitesse du son à l'intérieur du Soleil, les oscillations à longue période nous renseignent sur les processus turbulents.





Champ de vitesse est-ouest associé au mode de propagation rétrograde de l'oscillation. Les observations du SDO sont à gauche, le modèle à droite. (MPS/Z-C Liang)