



Astronomie dans le monde

*Vue d'artiste de la fusion de deux étoiles à neutrons.
(Goddard Space Flight Center/NASA)*

Collision d'étoiles à neutrons

Les astronomes ont annoncé la détection des ondes gravitationnelles témoignant d'une seconde collision d'étoiles à neutrons. Cette fois, l'un des trois détecteurs étant à l'arrêt, et un autre étant trop peu sensible, l'événement n'a pu être localisé.

En 2017, les astronomes avaient annoncé qu'ils avaient observé les vibrations de l'espace-temps provenant de la fusion de deux étoiles à neutrons, les restes extraordinairement denses d'étoiles massives. Immédiatement avertis, les observatoires du monde entier et de l'espace avaient pu alors observer l'éclair correspondant et son affaiblissement progressif.

Contrairement à cette première détection, les chercheurs n'ont pas été en mesure de localiser le nouvel événement (GW 190425) qui a eu lieu le 25 avril 2019, lors de la troisième série d'observations des observatoires d'ondes gravitationnelles LIGO et Virgo. Un des deux détecteurs de LIGO a enregistré la collision, celui de Livingston, alors que celui de Hanford était à l'arrêt. Quant au détecteur européen Virgo, il n'était pas assez sensible pour bien enregistrer les vibrations gravitationnelles. À partir d'une seule mesure, la triangulation était

impossible, et la source pouvait être quasiment n'importe où dans le ciel. Plus précisément, en utilisant les données de Livingston, combinées aux informations dérivées des maigres données de Virgo, l'équipe a confiné le lieu de l'événement à une étendue totale de ciel de plus de 7 400 degrés carrés, soit environ 20 % de la sphère céleste (voir dessin page suivante). À titre de comparaison, l'événement d'août 2017 avait pu être situé dans une zone de seulement 16 degrés carrés, soit 0,04 pour cent du ciel.

L'équipe a pu conclure que la source la plus probable était la fusion de deux étoiles à neutrons ayant une masse combinée 3,4 fois plus grande que celle du Soleil. La collision s'est produite à une distance de 290 à 720 millions d'années-lumière.

Si l'absence d'une contrepartie électromagnétique est décevante, elle n'est pas surprenante. Le rayonnement émis lors d'une collision d'étoiles à neutrons provient de jets de matière collimatés si étroits qu'un alignement fortuit est nécessaire pour les voir.

Il a pu y avoir un flash lumineux que l'on a raté. Même si un télescope avait été pointé dans la bonne direction, rien ne dit qu'on aurait pu observer quelque chose. La masse élevée des étoiles à neutrons signifie que le produit final s'est probablement effondré immédiatement dans un trou noir et très peu de matière se serait échappée.

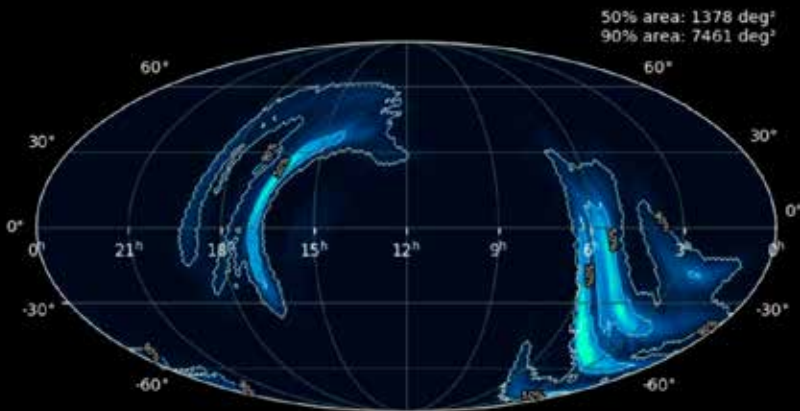
Grâce aux observations classiques dans le domaine électromagnétique, les astronomes avaient déjà répertorié 17 systèmes d'étoiles à neutrons binaires dans notre propre galaxie et ils avaient pu en estimer les masses. Ce qui est surprenant, c'est que la masse combinée de cette binaire-ci était bien plus élevée. Les systèmes binaires d'étoiles à neutrons connus dans notre galaxie ne dépassent pas 2,9 fois la masse du Soleil. Une possibilité pour cette masse exceptionnellement élevée est que la collision a eu lieu non pas entre deux étoiles à neutrons, mais entre une étoile à neutrons et un trou noir, puisque les trous noirs sont plus massifs que les étoiles à neutrons. Mais si c'était le cas, le trou noir devrait être excep-

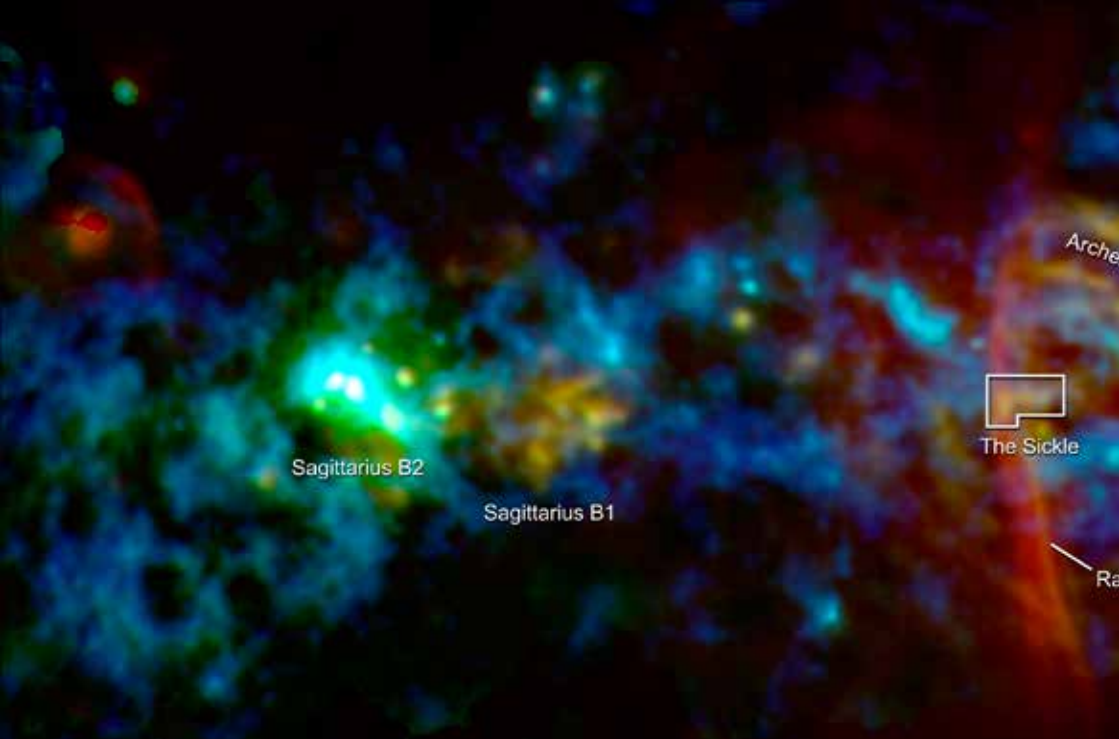
tionnellement petit pour sa classe. In fine, les scientifiques estiment qu'il est beaucoup plus probable que LIGO ait été témoin de la fusion de deux étoiles à neutrons.

Cette masse totale beaucoup plus élevée que celle de toutes les autres étoiles à neutrons binaires galactiques pourrait avoir des implications intéressantes sur la façon dont la paire s'est formée à l'origine. On pense que les paires d'étoiles à neutrons peuvent se former de deux façons. Elles pourraient être issues de systèmes doubles d'étoiles massives qui finissent chacune leur vie comme étoile à neutrons. La seconde possibilité est qu'elles se forment lorsque deux étoiles à neutrons isolées se rencontrent dans un environnement stellaire dense. Les données de LIGO pour l'événement du 25 avril n'indiquent malheureusement pas lequel de ces scénarios est le plus probable. Il est clair que davantage de données et de nouveaux modèles seront nécessaires pour expliquer la masse élevée.

**Localisation de GW190425.
(LIGO/Virgo Collaborations)**

GW190425





Bonbon galactique

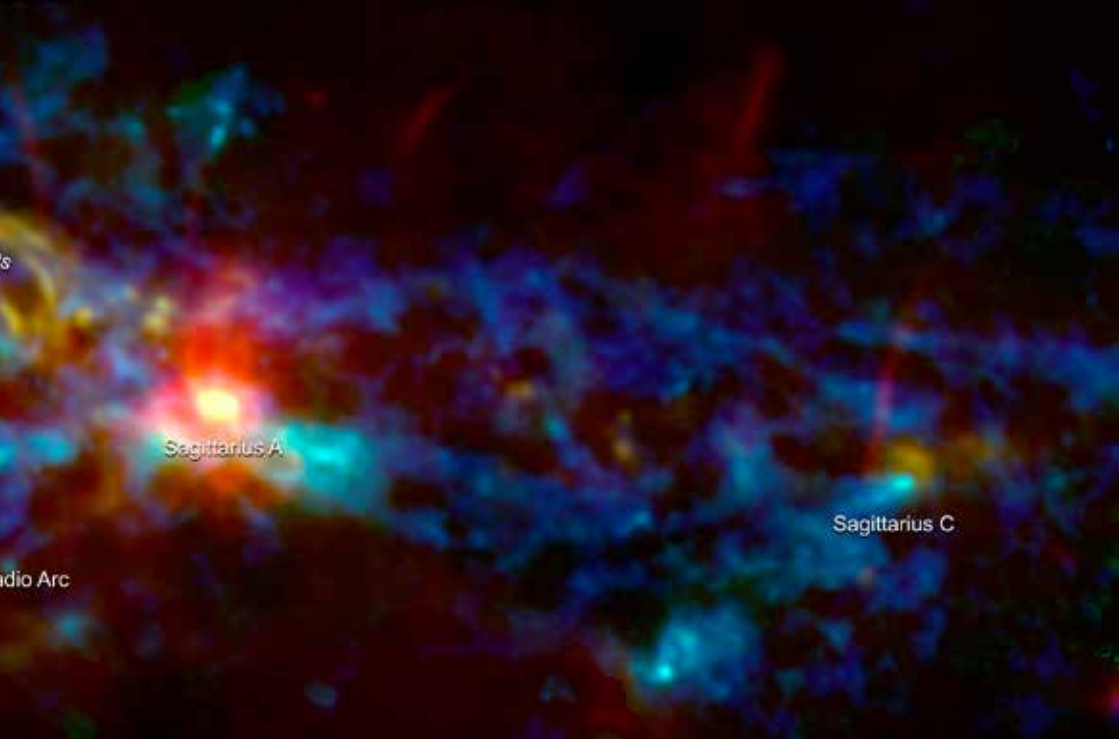
En cartographiant les régions centrales de la Voie lactée, l'instrument GISMO de la NASA dévoile une structure étirée en forme de canne, un sucre d'orge cosmique. Ce nuage s'étend sur 190 années-lumière et fait partie d'un ensemble de longs filaments ionisés.

L'image montre la partie intérieure de notre galaxie, celle qui abrite la plus grande et la plus dense collection de nuages moléculaires géants. Ces nuages vastes et froids contiennent suffisamment de gaz et de poussières pour engendrer des dizaines de millions d'étoiles comme le Soleil. La vue s'étend sur une partie du ciel d'environ 1,6 degré de diamètre – ce qui équivaut à peu près à trois fois la taille apparente de la Lune – ou sur une largeur d'environ 750 années-lumière. GISMO observe des micro-ondes d'une longueur d'onde de 2 millimètres, ce qui permet d'explorer la Galaxie dans le domaine intermédiaire entre l'infrarouge et les grandes longueurs d'onde radio. Chacun de ces domaines spectraux est dominé par différents types d'émissions, et le GISMO nous montre comment elles sont liées entre elles.

GISMO a détecté le filament radio le plus proéminent du centre galactique, connu sous le nom d'Arc Radio, qui forme la partie rectiligne du sucre d'orge. C'est la longueur d'onde la plus courte à laquelle ces curieuses structures ont été observées. Les scientifiques pensent que les filaments délimitent les bords d'une grande bulle produite par quelque événement énergétique dans le centre galactique, à environ 27 000 années-lumière. D'autres filaments apparaissent sur l'image comme des arcs rouges.

Les astronomes ont été surpris de voir l'arc radio dans les données GISMO. Son émission est produite par des électrons tournant à grande vitesse dans un champ magnétique, un processus appelé émission synchrotron. Une autre structure révélée par GISMO est la « faucille » (sickle) associée à la formation d'étoiles et qui pourrait bien être la source de ces électrons rapides.

L'image combine des données de plusieurs instruments. Celles de GISMO (codées en vert) ont été obtenues en 2012. Des observations d'archives du satellite Herschel de l'ESA ont été utilisées pour modéliser l'émission

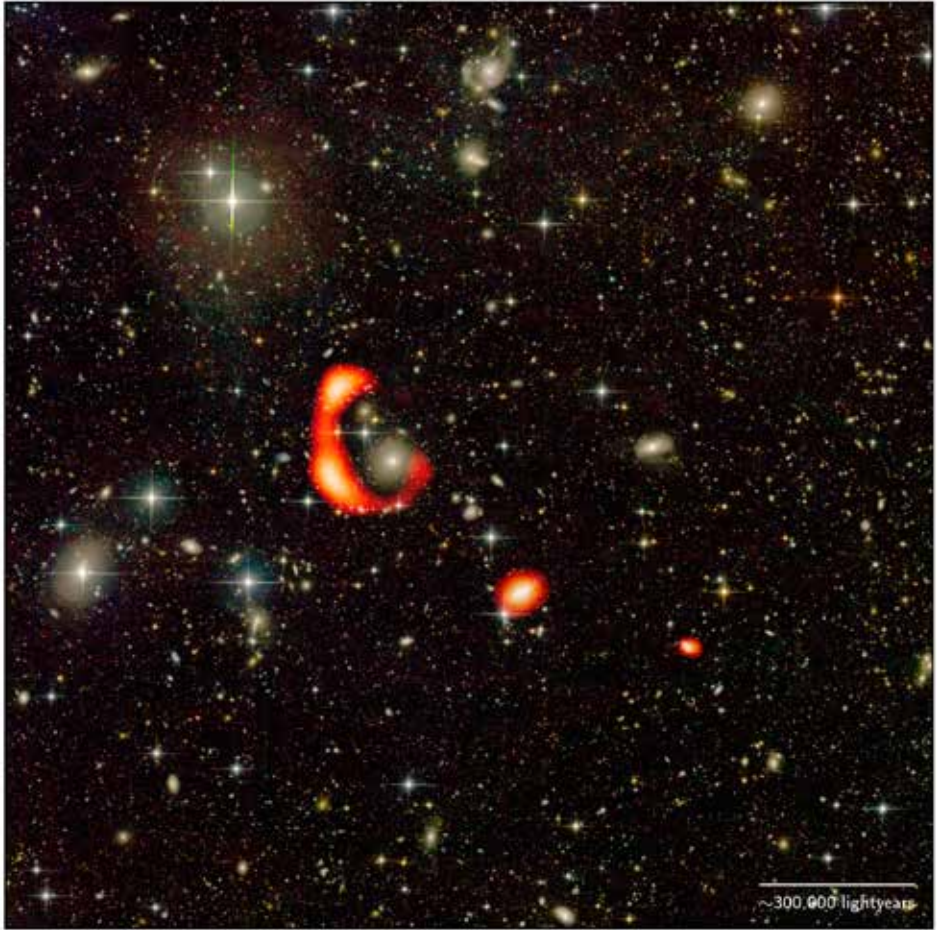


sion dans l'infrarouge lointain de la poussière froide – une luminosité qui a été soustraite des données GISMO. En bleu figurent les données infrarouges à la longueur d'onde de 850 microns de l'instrument SCUBA-2 du télescope James Clerk Maxwell de l'observatoire du Maunakea, à Hawaï. Finalement, en rouge, on a ajouté des observations radio à 19,5 centimètres de longueur d'onde provenant du Karl G. Jansky Very Large Array de Socorro, au Nouveau-Mexique. Les données infrarouges et radio à plus haute résolution ont été ramenées à la plus basse résolution des observations GISMO.

Les différentes couleurs traduisent essentiellement différents mécanismes d'émission. Les traits bleus et cyan révèlent la poussière froide des nuages moléculaires où la formation d'étoiles en est encore à ses débuts.

Les traits jaunes, tels que les filaments d'Arches constituant le manche de la canne à sucre et le nuage moléculaire du Sagittaire B1, révèlent la présence de gaz ionisé et montrent des fabriques d'étoiles bien actives. Cette lueur est l'émission dite « libre » d'électrons ralentis par le plasma. Les régions rouges et orange montrent les zones où se produit l'émission synchrotron, comme dans l'Arc et dans Sagittaire A, la source lumineuse du centre de la galaxie marquant l'emplacement du trou noir supermassif.

La zone centrale de notre galaxie abrite la plus grande et la plus dense collection de nuages moléculaires géants de la Voie lactée, matière première pour la fabrication de dizaines de millions d'étoiles. Cette image combine des observations d'archives infrarouge (en bleu) et radio (rouge), ainsi que de nouvelles données micro-ondes (en vert) provenant de l'instrument GISMO. L'image composite révèle l'émission de poussières froides, des zones de formation d'étoiles vigoureuses et des filaments formés aux bords d'une bulle soufflée par un événement puissant au centre de la galaxie. L'image a une largeur d'environ 750 années-lumière. (NASA Goddard Space Flight Center)



Anneau géant d'hydrogène

Basé sur un communiqué du Tata Institute of Fundamental Research

Le radiotélescope GMRT (Giant Metrewave Radio Telescope) a découvert un anneau géant d'hydrogène autour de la galaxie AGC 203001. Des observations optiques révèlent l'absence d'étoiles dans cet anneau, ce qui semble exclure qu'il soit la conséquence d'une collision galactique. L'anneau est beaucoup plus grand que la galaxie qu'il entoure et a un diamètre d'environ 380 000 années-lumière (environ 4 fois celui de la Voie lactée).

La galaxie AGC 203001 est située à environ 260 millions d'années-lumière. Il n'y a qu'un seul autre système connu de ce type avec un anneau d'hydrogène neutre



◀ **Une image prise avec le télescope CFHT est superposée à celle du GMRT montrant en rouge la distribution de l'hydrogène neutre autour de la galaxie AGC 203001. Deux autres taches rouges correspondent aussi à des halos d'hydrogène autour de galaxies.**
(O. Bait/NCRA-TIFR/GMRT), Duc/ObAS/CFHT)

aussi grand. L'origine et la formation de tels anneaux sont encore un sujet de débat parmi les astrophysiciens.

L'hydrogène neutre émet dans le domaine radio à la longueur d'onde de 21 cm. Ce rayonnement a permis aux radioastronomes de cartographier la distribution de cet atome dans la Voie lactée ainsi que dans d'autres galaxies. En général, on trouve de grands réservoirs de gaz d'hydrogène neutre dans les galaxies qui forment activement de nouvelles étoiles. Cependant, malgré qu'elle ne montre aucun signe de formation active d'étoiles, la galaxie AGC 203001 était connue pour contenir de grandes quantités d'hydrogène dont la distribution exacte n'était pas connue. La nature inhabituelle de cette galaxie a incité les astronomes du NCRA à utiliser le GMRT pour l'observer en radio à haute résolution afin de découvrir comment ce gaz est réparti.

Les observations du GMRT ont révélé que l'hydrogène neutre est distribué sous la forme d'un grand anneau excentré s'étendant bien au-delà des frontières optiques de la galaxie. Plus curieusement, les astronomes ont constaté que les images optiques de l'anneau

ne montraient aucune trace d'étoiles. Ils ont alors obtenu une image optique profonde avec le télescope Canada-France-Hawaii (TCFH) à Hawaii. Même ces images ne montrent aucun signe de lumière stellaire associée à l'anneau d'hydrogène.

Il n'y a pas de réponse claire aujourd'hui quant à ce qui pourrait mener à la formation de si grands anneaux d'hydrogène dépourvus d'étoiles. On pense que les collisions entre galaxies pourraient conduire à la formation de grands anneaux décentrés autour des galaxies. Cependant, de tels anneaux contiennent aussi généralement des étoiles. Ceci est contraire à ce que l'on trouve ici. Comprendre comment l'anneau de AGC 203001 s'est formé reste donc un défi pour les astronomes.

Encouragée par cette découverte, l'équipe effectue maintenant un vaste relevé pour cartographier l'hydrogène neutre autour de galaxies similaires. Si certaines d'entre elles présentent également des anneaux de ce type, cela devrait nous aider à mieux comprendre le mécanisme de formation de ces rares structures.

Le GMRT (Giant Metrewave Radio Telescope), situé près de Pune (Narayangaon) en Inde, est un réseau de 30 radiotélescopes orientables de 45 mètres de diamètre, observant dans le domaine métrique et pouvant offrir une base de 25 kilomètres au sol.
(National Centre for Radio Astrophysics – NCRA-TIFR)



49 Ceti

Les astronomes utilisant ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) ont trouvé une étoile jeune entourée d'un cocon de gaz étonnamment massif. L'étoile 49 Ceti est âgée de 40 millions d'années et les théories conventionnelles sur la formation des planètes prédisent qu'à cet âge l'étoile aurait dû se débarrasser de ce gaz depuis longtemps. Cette masse énigmatique demande une révision de nos idées sur la formation des planètes.

Les planètes naissent dans des disques de gaz et de poussière. Les grains de poussière s'agglutinent pour former des planètes semblables à la Terre ou des noyaux de planètes qui, en aspirant de grandes quantités de gaz du disque, deviendront des géantes gazeuses semblables à Jupiter. Selon les théories actuelles, au fil du temps, le gaz du disque est, soit incorporé aux planètes, soit soufflé par la pression

de radiation de l'étoile. In fine, il reste autour de l'étoile un cortège de planètes et un disque de poussière.

Les progrès de la radioastronomie ont créé une surprise. Certains disques de débris possèdent encore une importante quantité de gaz. Si le gaz subsiste assez longtemps dans les disques, les embryons planétaires pourraient avoir assez de temps et de matière pour devenir des géantes gazeuses comme Jupiter.

Après plus de cent heures d'observation avec le radiotélescope de 10 mètres ASTE au Chili, les astronomes ont mis en évidence du carbone gazeux dans le disque de 49 Ceti. Ils ont ensuite utilisé ALMA pour obtenir une vue plus détaillée, ce qui a montré que l'abondance de carbone autour de 49 Ceti était en réalité

*Impression d'artiste du disque de gaz et de débris entourant l'étoile 49 Ceti.
(NAOJ)*

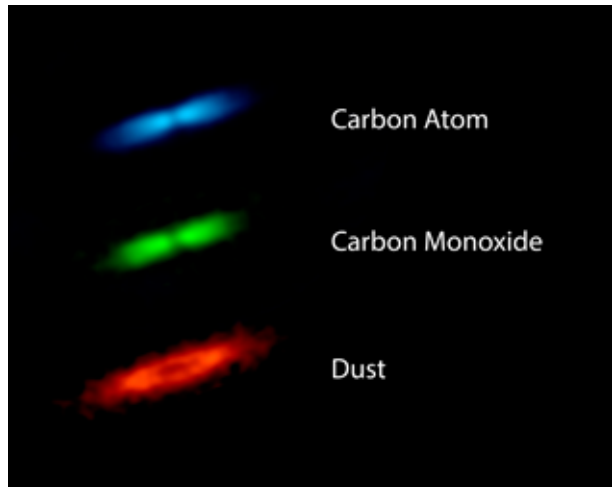
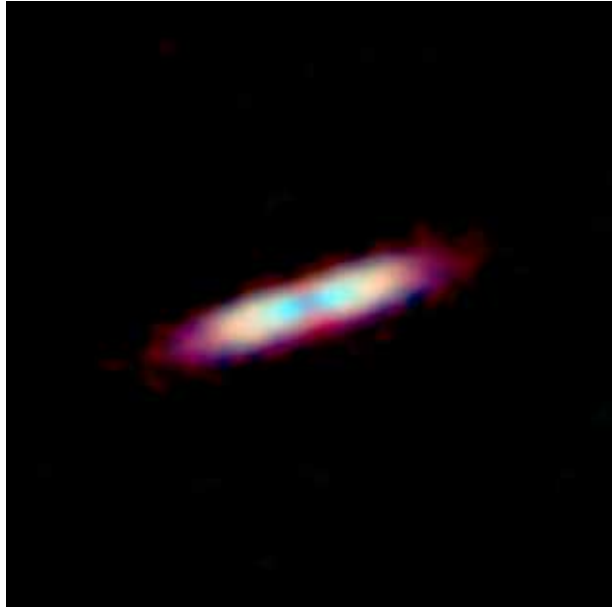


dix fois plus forte que les premières estimations.

La haute résolution d'ALMA a révélé pour la première fois la répartition spatiale du carbone dans un disque de débris. Le carbone atomique est réparti plus largement que le monoxyde de carbone, la deuxième molécule la plus abondante autour des jeunes étoiles après l'hydrogène. La quantité d'atomes de carbone est si importante que l'équipe a même détecté de faibles ondes radio provenant de l'isotope plus rare ^{13}C . C'est la première fois que l'on détecte l'émission de ^{13}C à la fréquence de 492 GHz dans un objet astronomique. Elle est habituellement masquée par l'émission de ^{12}C .

L'abondance de l'isotope lourd est cent fois moindre que celle du carbone normal et cette détection dans le disque de débris était totalement inattendue.

Quelle est l'origine de cette importante quantité de gaz? Les chercheurs ont suggéré deux possibilités. Il pourrait s'agir d'un résidu ayant survécu au processus de dissipation dans la phase finale de la formation des planètes. Mais la quantité de gaz autour de 49 Ceti est du même ordre que celle que l'on trouve autour d'étoiles beaucoup plus jeunes dans la phase active de formation des planètes. Il n'existe pas de modèle permettant d'expliquer comment une telle quantité de gaz a pu persister aussi longtemps. L'autre possibilité est que le gaz ait été libéré par les collisions de petits corps comme les comètes. Mais le nombre de collisions nécessaires pour rendre compte de la quantité de gaz autour de 49 Ceti serait beaucoup trop important. Les résultats actuels de l'ALMA invitent donc les théoriciens à revoir les modèles de formation des planètes.



En haut, image composite ALMA du disque de matière entourant 49 Ceti. Le rouge correspond à la poussière, le vert au monoxyde de carbone et le bleu au carbone. En bas, les composantes séparées. (ALMA/ESO/NAOJ/NRAO, Higuchi et al.)

Pôles vagabonds

Basé sur un communiqué NOAA

La dernière version du modèle magnétique mondial (WMM), un des principaux outils développés pour modéliser le changement du champ magnétique terrestre, a été publiée. C'est grâce à cette représentation du champ magnétique de la planète que les boussoles parviennent à donner une précision fiable.

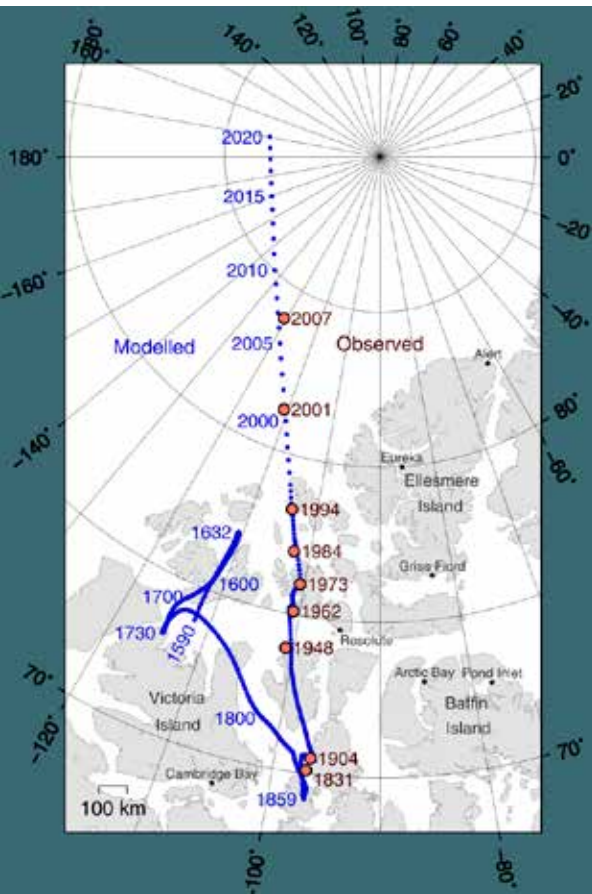
Le modèle comprend maintenant des zones d'ombre autour des pôles magnétiques, définies par l'intensité du champ horizontal. Entre 2 000 et 6 000 nanotesla (nT), l'intensité du champ horizontal signale une zone de pré-

caution où les boussoles peuvent commencer à être sujettes à des erreurs. La zone autour du pôle entre 2000 et 0 nT est la zone de non fiabilité.

Beaucoup d'équipements électroniques, dont les smartphones, comptent sur le WMM pour fournir des applications, des cartes et des services GPS précis. Le WMM est mis à jour tous les cinq ans. Ce dernier modèle WMM2020 devrait donc être utilisé jusqu'en 2025.

Puisque le champ magnétique de la Terre est créé par son noyau de fer fondu en mouvement, ses pôles ne sont pas stationnaires et ils se déplacent indépendamment l'un de l'autre.

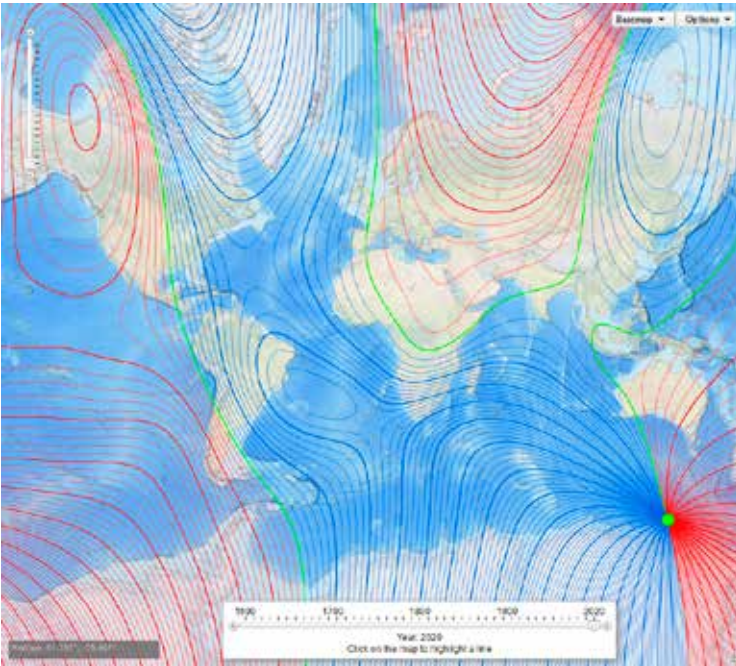
Depuis sa découverte officielle en 1831, le pôle magnétique nord a parcouru environ 2 250 kilomètres. Cette errance a été généralement assez lente, permettant aux scientifiques de suivre sa position assez facilement. Depuis le début du siècle, cette vitesse a augmenté. Le WMM2020 prévoit que le pôle magnétique nord continuera à dériver vers la Russie, bien qu'à une vitesse lentement décroissante – environ 40 km par an – par rapport à la vitesse moyenne de 55 km au cours des vingt dernières années.



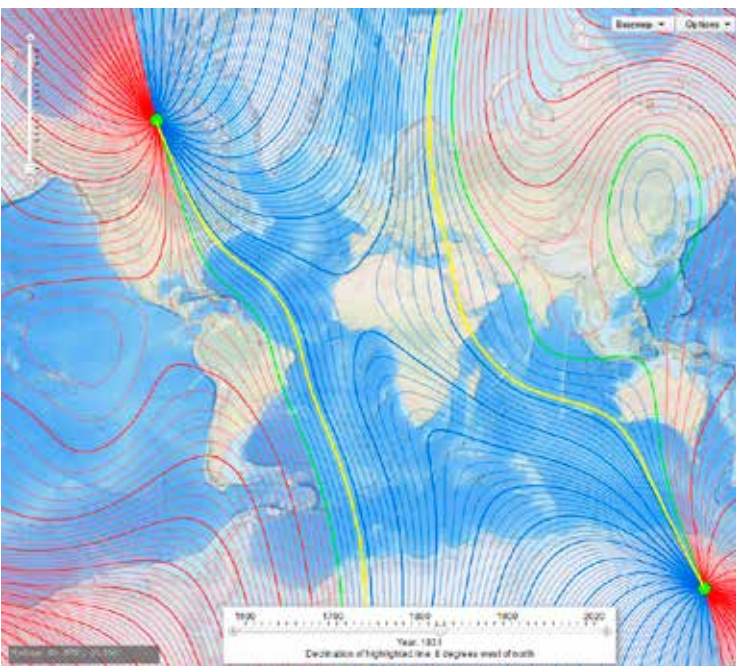
Déclinaison

L'aiguille d'une boussole pointe le long des lignes de force magnétique qui convergent vers ce qu'on appelle les pôles magnétiques. L'angle entre la direction de la force et celle du pôle nord géographique est appelé la déclinaison magnétique. Si une boussole pointe vers la droite du nord vrai, la déclinaison est positive ou vers

Le pôle nord magnétique a été situé pour la première fois en 1831 par James Clark Ross. Depuis, ce point se déplace du Canada vers la Sibérie. (National Geophysical Data Center)



l'est, et si elle pointe vers la gauche du nord vrai, la déclinaison est négative ou vers l'ouest. Lorsqu'on se déplace sur la surface du globe, les lignes de déclinaison magnétique constante sont appelées lignes isogoniques. Comme le champ magnétique terrestre varie au fil du temps, la position des pôles magnétiques ainsi que les déclinaisons magnétiques changent graduellement.



Lignes isogoniques actuelles (carte du haut) et en 1831.
En vert, la ligne de déclinaison nulle (ligne agonique). En rouge, les déclinaisons positives, en bleu, les négatives.
https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/historical_declination/
(NOAA NCEI)

Matière noire en petits paquets

Basé sur un communiqué NASA

La découverte de très petites concentrations de matière noire fournit des arguments en faveur du modèle de la matière noire froide. La recherche de la matière noire est une sorte de chasse aux fantômes. En effet, la matière noire ne peut être vue directement. Elle constitue cependant la majeure partie de la masse de l'Univers et forme le squelette qui maintient les galaxies et les amas de galaxies ensemble. Les astronomes peuvent détecter sa présence indirectement en mesurant comment sa gravité affecte les étoiles et les galaxies.

La matière normale qui compose les étoiles, les planètes, notre environnement, les gens, est dite baryonique, car essentiellement constituée de protons et de neutrons (des baryons). C'est un léger abus de langage étant donné que d'autres particules comme les électrons ou les photons qui font partie aussi de la matière normale ne sont pas des baryons.

La matière noire, non-baryonique, pourrait être une sorte de particule subatomique inconnue qui interagit faiblement avec la matière normale. Selon une théorie populaire, les particules de matière noire ne se déplacent pas très rapidement, ce qui les rend promptes à s'agglomérer ensemble. Selon cette idée, l'Univers devrait contenir des concentrations de matière noire de toutes tailles. Les astronomes connaissent des halos de matière noire enveloppant les galaxies de grande et moyenne dimensions, mais les petites concentrations manquaient à l'appel. Grâce au télescope spatial Hubble et à une nouvelle technique d'observation, les astronomes en ont maintenant découvertes, prouvant ainsi que la matière noire pouvait former des amas beaucoup plus petits que ce que l'on connaissait jusqu'à maintenant.

Les astronomes ont utilisé l'effet de lentille gravitationnelle pour détecter ces petits amas de matière noire le long de la ligne de visée de quasars lointains. En utilisant le télescope spatial Hubble de la NASA et une nouvelle technique d'observation, ils ont montré que la matière noire peut former des concentrations beaucoup plus petites que ce que l'on

connaissait auparavant. Ce résultat confirme l'une des prédictions fondamentales de la théorie largement acceptée de la matière noire froide. Selon celle-ci les galaxies se forment et se développent dans des nuages de matière noire dont les particules sont lentes – c'est-à-dire « froides » – qui s'assemblent pour former des structures dont la masse peut aller de celle d'un avion à des centaines de milliers de fois celle de la Voie lactée.

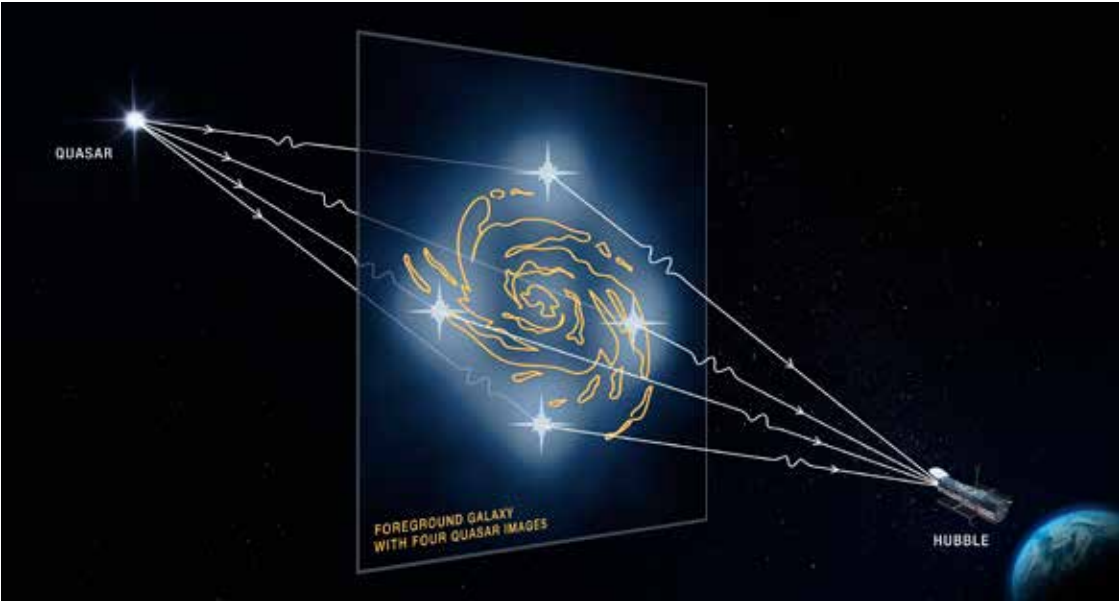
Les observations de Hubble sont un test très convaincant pour le modèle de la matière noire froide.

Auparavant, l'absence de preuves de l'existence de petits amas de matière froide avait conduit les chercheurs à élaborer d'autres théories, comme celle de la matière noire chaude. Selon celle-ci les particules de matière noire se déplacent trop rapidement pour s'agglomérer en petits paquets.

La chasse aux concentrations de matière noire dépourvues d'étoiles s'est avérée difficile. Les astronomes ont ciblé huit quasars et ont mesuré comment le rayonnement émis par les atomes d'oxygène et de néon autour de leur trou noir est déformé par la gravité d'une galaxie massive d'avant-plan. Les concentrations de matière noire détectées de cette manière sont de 1/10 000 à 1/100 000 fois la masse du halo de matière noire de la Voie lactée. Beaucoup de ces minuscules groupements ne contiennent très probablement pas de galaxies, même petites, et auraient donc été impossibles à détecter par la méthode traditionnelle basée sur la présence d'étoiles.

Les huit quasars et galaxies sont si parfaitement alignés que les lentilles gravitationnelles produisent quatre images déformées de chaque quasar. L'effet est comparable à celui d'un miroir de foire. Et telles images quadruples de quasars sont rares en raison de l'alignement presque exact nécessaire entre la galaxie d'avant-plan et le quasar d'arrière-plan. Cependant, les chercheurs avaient besoin de ces images multiples pour effectuer leur analyse.

La présence des amas de matière noire modifie l'éclat et la position des images. En comparant les observations avec des simu-



lations complexes, les astronomes ont pu calculer les masses des minuscules concentrations de matière noire.

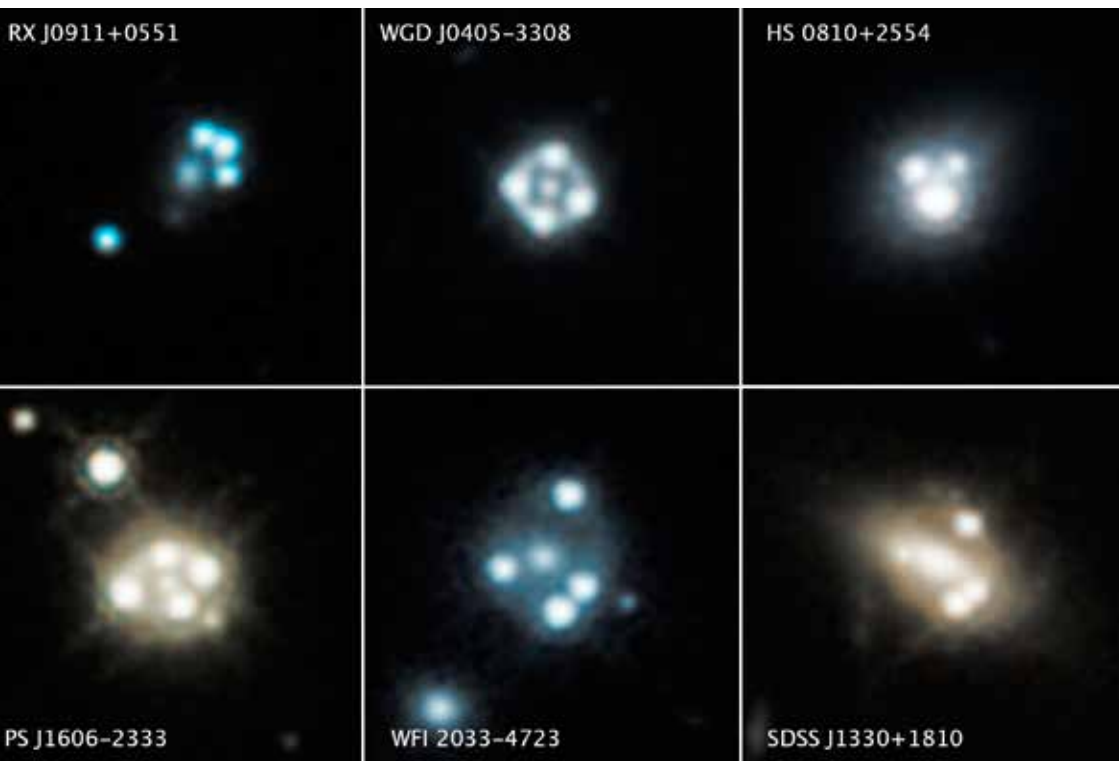
Les lentilles gravitationnelles avaient été découvertes dans les données de survey au sol comme le SDSS (Sloan Digital Sky Survey) et le DES (Dark Energy Survey), qui fournissent des cartes tridimensionnelles détaillées de l'Univers. Les quasars correspondants sont distants d'environ 10 milliards d'années-lumière et les galaxies lentilles d'environ 2 milliards d'années-lumière.

Malgré ce nouveau résultat, le type de particules qui composent la matière noire reste un mystère. Il n'y a pas de preuve directe en laboratoire que les particules de matière noire existent. Les physiciens des particules ne parleraient même pas de la matière noire si les cosmologistes ne disaient pas qu'elle est là, en se basant sur les observations de ses effets.

Les astronomes pourront effectuer des études de suivi de la matière noire à l'aide des futurs télescopes spatiaux de

Ce graphique illustre comment la lumière d'un quasar lointain est affectée par une galaxie massive s'interposant en avant-plan et par de minuscules concentrations de matière noire le long de la ligne de visée. La puissante gravité de la galaxie déforme et agrandit la lumière du quasar, produisant quatre images déformées. Les grumeaux de matière noire se trouvent le long de la ligne de visée vers le quasar, à l'intérieur et autour de la galaxie d'avant-plan. La présence des amas de matière noire modifie la luminosité apparente et la position de chaque image déformée du quasar en déformant et en courbant légèrement les rayons lumineux, comme le montrent les lignes ondulées du graphique. Les astronomes ont comparé ces mesures avec des simulations des images de quasars. Ils ont ainsi pu calculer les masses des minuscules concentrations de matière noire. La matière noire est une substance invisible qui constitue la majeure partie de la masse de l'Univers et qui crée l'échafaudage sur lequel les galaxies sont construites. Les images quadruples d'un quasar sont rares, car le quasar d'arrière-plan et la galaxie d'avant-plan exigent un alignement presque parfait.

(NASA, ESA et D. Player/STScI)



la NASA, tels que le télescope spatial James Webb et le télescope WFIRST (Wide Field Infrared Survey Telescope), tous deux des observatoires infrarouges. Webb sera capable d'obtenir efficacement ces mesures pour tous les quasars connus ayant des images quadruples. La netteté et le grand champ de vision de WFIRST aideront les astronomes à faire des observations de toute la région de l'espace affectée par l'immense champ gravitationnel des galaxies massives et des amas de galaxies. Cela aidera les chercheurs à découvrir beaucoup plus de ces systèmes rares.

Clichés du télescope spatial Hubble révélant chacun quatre images déformées d'un quasar d'arrière-plan et celle de la galaxie-hôte massive à l'avant-plan. La gravité de la galaxie agit comme une loupe en déformant la lumière du quasar par l'effet de lentille gravitationnelle. La présence de petites concentrations de matière noire modifie la luminosité apparente et la position de chaque image déformée des quasars ce qui permet d'estimer la masse de ces concentrations.

Les images ont été prises entre 2015 et 2018.

(NASA, ESA, A. Nierenberg/JPL et T. Treu/UCLA)