

# L'astronomie dans le monde

## ***Le jet de Messier 87***

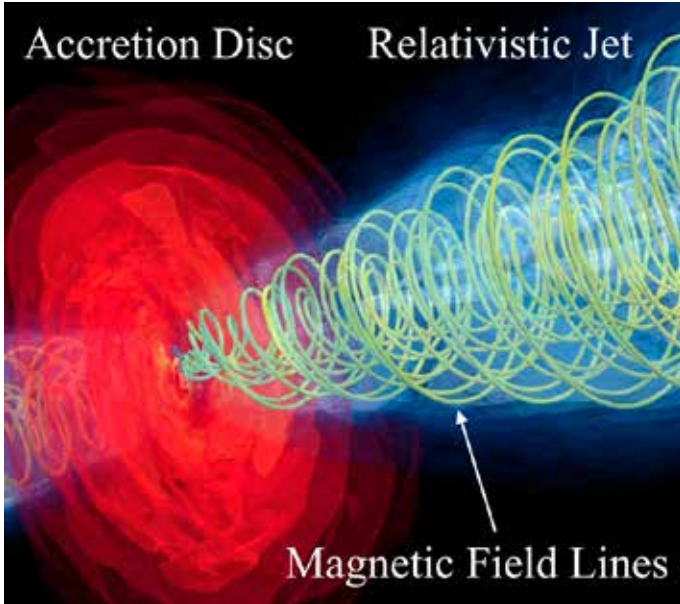
*Basé sur un communiqué Goethe-Uni*

Les scientifiques ont construit un modèle théorique de la morphologie du jet relativiste de la galaxie M87. Les images issues des simulations offrent une correspondance sans précédent avec les observations astronomiques et confirment la théorie de la relativité générale d'Einstein.

La galaxie Messier 87 (M87) est située à 55 millions d'années-lumière de la Terre, dans la constellation de la Vierge. C'est une galaxie géante qui compte 12 000 amas globulaires,

***Le jet relativiste de M87 s'étend sur 6 000 années-lumière dans cette photographie obtenue par le télescope spatial Hubble. (NASA, The Hubble Heritage Team / STScI/AURA)***

ce qui fait paraître modestes les 200 amas globulaires de la Voie lactée en comparaison. Un trou noir de six milliards et demi de masses solaires est hébergé au centre de M87. Il s'agit du premier trou noir pour lequel il existe une image, créée en 2019 par la collaboration internationale de recherche Event Horizon Telescope.



*Les particules émises depuis le cœur de M87 sont accélérées efficacement en un jet le long des lignes du champ magnétique. (Alejandro Cruz-Osorio)*

Ce trou noir (M87\*) projette un jet de plasma relativiste jusqu'à une distance de 6 000 années-lumière. L'énorme énergie nécessaire pour alimenter ce jet provient probablement de l'attraction gravitationnelle du trou noir, mais on ne sait pas encore très bien comment un tel jet se forme et ce qui le maintient stable sur cette énorme distance.

Le trou noir M87\* attire la matière dans un disque d'accrétion. Les particules tournent dans ce disque sur des orbites de plus en plus petites jusqu'à être avalées dans le trou noir. Le jet est lancé depuis le centre du disque. Les théoriciens ont maintenant modélisé cette région de manière très détaillée. Ils ont eu recours à des simulations tridimensionnelles sophistiquées sur superordinateur et ont dû résoudre simultanément les équations de la relativité générale d'Albert Einstein, les équations de l'électromagnétisme de James Maxwell et les équations de la dynamique des fluides de Leonhard Euler.

Le résultat a été un modèle dans lequel les valeurs calculées pour les températures, les

densités de matière et les champs magnétiques correspondent remarquablement bien à ce qui a été déduit des observations astronomiques. Sur cette base, les scienti-

fiques ont pu suivre le mouvement complexe des photons dans l'espace-temps incurvé de la région la plus interne du jet et le traduire en images radio. Ils ont ensuite pu comparer ces images modélisées par ordinateur avec les observations réalisées à l'aide de nombreux radiotélescopes et satellites au cours des trois dernières décennies.

Le modèle théorique de l'émission électromagnétique et de la morphologie du jet de M87 correspond étonnamment bien aux observations dans les spectres radio, optique et infrarouge. Cela indique que le trou noir supermassif M87\* est probablement en rotation rapide et que le plasma est fortement magnétisé dans le jet, accélérant les particules sur des milliers d'années-lumière.

La concordance avec les observations astronomiques est une autre confirmation importante que la théorie de la relativité générale d'Einstein est l'explication la plus précise et la plus naturelle de l'existence des trous noirs supermassifs au centre des galaxies. Bien qu'il y ait encore de la place pour des explications alternatives, les résultats de cette étude les rendent beaucoup moins plausibles.

## L'objet de Hamilton

Basé sur un communiqué NASA

Les astronomes ont l'habitude de voir des choses assez étranges dans le vaste univers, des étoiles qui explosent, des galaxies qui entrent en collision, etc. On pourrait donc penser que lorsqu'ils voient un objet curieux, ils sont capables de l'identifier. Cependant le télescope spatial Hubble a permis de découvrir en 2013 un objet si étrange qu'il a fallu plusieurs années aux astronomes pour déterminer de quoi il s'agissait.

Cet objet, découvert lors d'une étude de quasars et dénommé objet de Hamilton pour son inventeur, est constitué de deux « bulbes » de galaxie et est traversé d'au moins trois bandes lumineuses parallèles.

Après avoir échafaudé des théories sans issue, les astronomes ont finalement rassemblé tous les indices permettant de résoudre le mystère. L'immense gravité d'un amas de galaxies situé à l'avant-plan et non répertorié déforme l'espace, agissant comme une lentille gravitationnelle. Bien que l'on connût déjà nombre de ces distorsions causées par l'effet de lentille gravitationnelle, cet objet suscitait une grande perplexité. Dans ce cas, un alignement précis entre une galaxie d'arrière-plan et un amas de galaxies d'avant-plan produit des copies jumelles agrandies de la même image de la galaxie éloignée.

On peut comparer cet effet aux ondulations brillantes que l'on peut observer au fond d'une piscine. Les vaguelettes de surface agissent comme des lentilles et concentrent la lumière du Soleil en des motifs brillants et ondulés sur le fond.

Dans la galaxie lointaine soumise à une lentille gravitationnelle, l'ondulation de l'espace amplifie et déforme considérablement la lumière de la galaxie d'arrière-plan qui traverse l'amas. L'ondulation agit comme un



(Joseph DePasquale/STScI)

miroir incurvé imparfait qui génère des copies doubles.

Mais ce phénomène rare n'avait pas encore d'exemples lorsque les particularités de l'objet ont été reconnues en 2013.

L'identification d'un amas de galaxies encore inconnu à la position de l'objet de Hamilton a permis de comprendre l'origine de ces images.

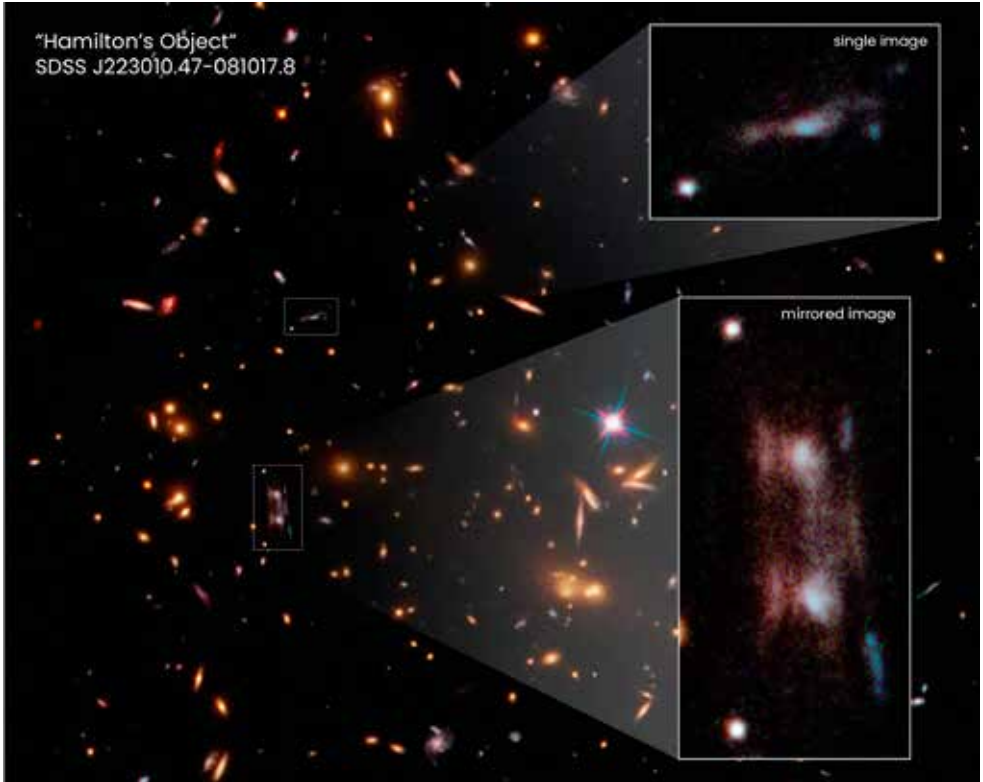
L'amas, baptisé SDSS J223010.47-081017.8, est distant de 7 milliards d'années-lumière. La galaxie, quant à elle, se trouve encore plus loin à 11 milliards d'année-lumière de nous.

L'utilisation d'un logiciel sophistiqué a permis de comprendre comment les trois images de lentilles ont vu le jour et pourquoi l'amas ne donne pas d'images d'autres galaxies d'arrière-plan. La clé est la distribution de la matière noire qui doit être assez « douce » à petite échelle à l'endroit des images.

La galaxie éloignée, basée sur la reconstruction de la troisième image, semble être une spirale barrée, montrant une forte activité de formation stellaire.

Il est remarquable que deux images miroirs suffisent pour obtenir des informations sur l'échelle de la distribution de la matière noire qui doit être lisse à ces deux positions.

Ce résultat est important, car on ne sait toujours pas ce qu'est la matière noire, près d'un siècle après sa découverte. Nous n'avons aucune idée des particules qui la constituent. Nous savons simplement qu'elles sont soumises à la gravité. Les indications que l'on peut obtenir sur les échelles spatiales ou la régularité de la distribution de la matière noire sont les bienvenues pour contraindre les propriétés de ces particules. Plus les amas de matière noire sont petits, plus elles doivent être massives.



*Cette photo prise par le télescope spatial Hubble montre trois images agrandies d'une galaxie lointaine intégrée dans un amas de galaxies. Ces images sont produites par une astuce de la nature, la lentille gravitationnelle. L'intense gravité de l'amas de galaxies amplifie et déforme la lumière de la galaxie lointaine située derrière lui, créant ainsi les images multiples. L'amas de galaxies, catalogué SDSS J223010.47-081017.8, se trouve à 7 milliards d'années-lumière. Le télescope Hubble a observé de nombreuses galaxies au travers d'une lentille gravitationnelle. Cependant, les images repérées dans cet instantané de Hubble sont uniques. Deux des images (en bas à droite) sont des copies exactes l'une de l'autre. Les deux ovales brillants sont les noyaux de la galaxie. Ce phénomène rare se produit parce que la galaxie d'arrière-plan est exactement sur un pli dans le tissu de l'espace, une zone de*

*plus fort grossissement, causée par la gravité de gigantesques quantités de matière noire, la colle invisible qui constitue la majeure partie de la masse de l'Univers. Lorsque la lumière de la galaxie lointaine traverse l'amas le long de cette ondulation, deux images miroir sont produites, ainsi qu'une troisième image que l'on peut voir sur le côté. Un gros plan de la troisième image est montré dans la vignette d'en haut à droite. Cette image est celle qui ressemble le plus à la galaxie lointaine, qui se trouve à plus de 11 milliards d'années-lumière. En se basant sur une reconstruction de cette image, les chercheurs ont déterminé que cette galaxie lointaine semble être une spirale barrée, avec une formation stellaire continue. Les images miroir sont nommées « l'objet de Hamilton » pour l'astronome qui les a découvertes.  
(Joseph DePasquale/STScI)*

## ***Pourquoi certains astéroïdes sont si peu poussiéreux***

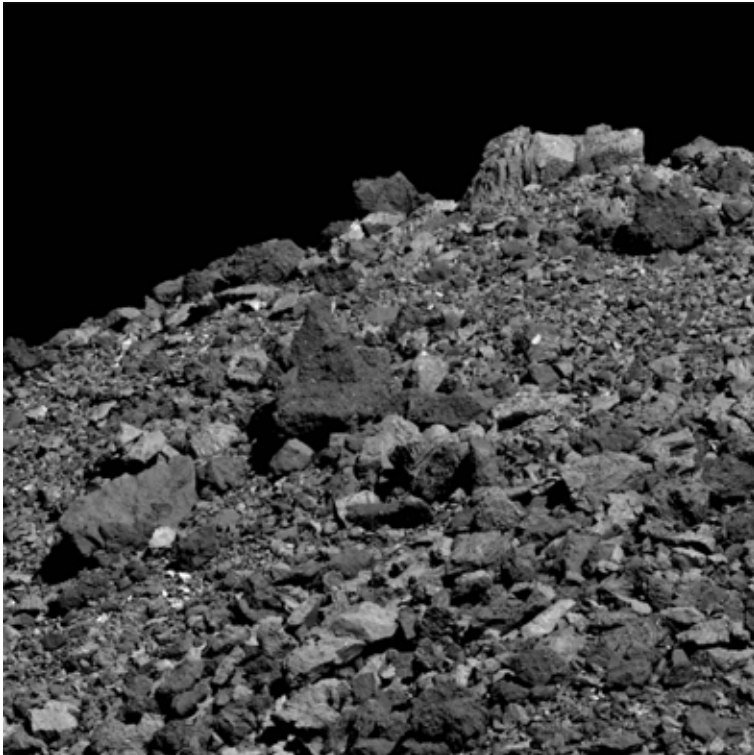
*D'après un communiqué CNRS*

Une surprise attendait la sonde OSIRIS-REx à l'approche de l'astéroïde Bennu sur lequel elle allait récolter des échantillons en octobre 2020. La surface de ce corps céleste n'était pas recouverte, comme le pensaient les astronomes, d'une couche de fine poussière. Cette poussière, le régolithe, qui recouvre la Lune et certains astéroïdes, se forme lorsque des chocs thermiques et l'impact des météorites fragmentent les roches en surface. Or, la surface de Bennu était composée essentiellement de rochers nus d'assez grande taille. Une étude faisant appel à l'apprentissage automatique (machine learning) a montré que la porosité des roches de Bennu explique l'absence

de régolithe. En effet, lorsqu'elles reçoivent l'impact d'un bolide, ces roches poreuses se déforment sans éclater comme le font les roches dures.

Ces résultats ont été confirmés par les observations de la sonde japonaise Hayabusa-2 qui, à la surface de l'astéroïde Ryugu, n'a trouvé que très peu de régolithe. Ces travaux permettent de mieux comprendre l'évolution des astéroïdes, considérés comme des archives de toutes premières étapes du Système solaire. Ils aideront à la préparation des prochaines missions spatiales chargées de ramener des échantillons sur Terre.

***La sonde OSIRIS-Rex a révélé une abondance de blocs rocheux à la surface de l'astéroïde Bennu. Image prise en mars 2019. (NASA/Goddard Space Flight Center/University of Arizona)***



## **Étoiles à neutrons massives**

*Basé sur un communiqué UC Santa Cruz*

Une nouvelle étude décrit comment l'explosion en supernova d'une étoile massive peut conduire à la formation d'une étoile à neutrons massive ou d'un trou noir léger. Cela met fin à l'une des énigmes posées par la détection de fusions d'étoiles à neutrons par les observatoires d'ondes gravitationnelles LIGO et Virgo.

La première détection d'une fusion d'étoiles à neutrons par LIGO (Advanced Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory), en 2017, correspondait bien à ce qu'attendaient les astrophysiciens. Mais la détection suivante, en 2019, était une fusion de deux étoiles à neutrons dont la masse combinée était étonnamment grande.

Les astres compacts comme les étoiles à neutrons et les trous noirs sont difficiles à étudier car, lorsqu'ils sont stables, ils ont tendance à être invisibles, n'émettant aucun rayonnement détectable. Cela conduit à un biais observationnel. Les couples d'étoiles à neutrons répertoriés dans notre galaxie contiennent un pulsar, et les masses de ces pulsars sont presque toutes identiques. On ne voit pas d'étoiles à neutrons massives.

La détection par LIGO d'une fusion d'étoiles à neutrons de grande masse à un rythme semblable à celui des systèmes binaires plus légers implique que ces couples massifs devraient être relativement courants. Alors pourquoi n'apparaissent-ils pas dans la population des pulsars ?

Dans la nouvelle étude, les astronomes se sont concentrés sur les supernovæ d'étoiles à hélium dans les systèmes binaires qui peuvent former des paires d'objets compacts, soit des étoiles à neutrons, soit une étoile à neutrons et un trou noir. Ces étoiles à hélium ou « étoiles dépouillées » ont perdu leur enveloppe d'hydrogène par suite d'interactions avec une compagne.

Des modèles stellaires détaillés ont permis de suivre l'évolution d'une étoile à hélium

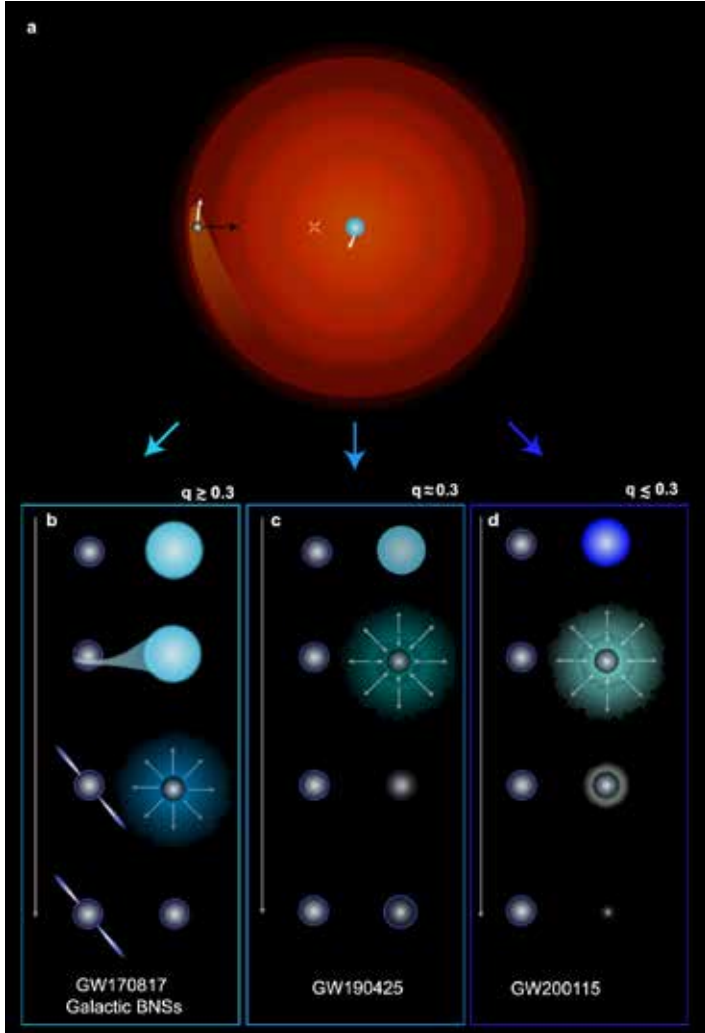
jusqu'à son explosion. Ensuite une étude hydrodynamique a exploré l'évolution du gaz explosif. Les simulations montrent que, lorsque l'étoile massive dénudée explose, certaines de ses couches externes sont rapidement éjectées du système binaire. Certaines des couches internes, en revanche, ne sont pas éjectées et finissent par retomber sur l'objet compact nouvellement formé. La quantité de matière accrétée dépend de l'énergie de l'explosion – plus l'énergie est élevée, moins la masse peut être conservée. Si l'énergie de l'explosion est faible, il se forme un trou noir, mais si l'énergie est suffisante, il se forme une étoile à neutrons.

Ces résultats expliquent non seulement la formation de systèmes binaires d'étoiles à neutrons massives, comme celui révélé par l'événement à ondes gravitationnelles GW190425, mais prédisent également la formation de binaires d'étoiles à neutrons et de trous noirs légers, comme celui de l'événement GW200115.

Une autre découverte importante est que la masse du noyau d'hélium de l'étoile est essentielle pour déterminer la nature de ses interactions avec sa compagne à neutrons et le sort final du système binaire. Une étoile à hélium suffisamment massive lègue peu de matière sur l'étoile à neutrons car, davantage liée par la gravité, elle ne se dilate pas et il n'y a pas de transfert de masse. Ne se transformant pas en pulsar, nous ne les voyons pas.

En revanche, lorsque le noyau d'hélium est petit, il se dilate, et le transfert de masse fait tourner l'étoile à neutrons pour créer un pulsar.

Le transfert de masse sur une étoile à neutrons est un mécanisme efficace pour créer des pulsars à rotation rapide (pulsars « milliseconde »). L'absence de transfert pour certains systèmes laisse penser qu'il pourrait bien y avoir une grande population non détectée de binaires d'étoiles à neutrons massives dans notre galaxie.



Dans les derniers stades de la formation d'une étoile à neutrons binaire, l'étoile géante se dilate et engloutit sa compagne à neutrons dans une enveloppe commune (a). L'éjection de l'enveloppe laisse l'étoile à neutrons sur une orbite serrée. L'évolution du système dépend alors du rapport de masse.

Les étoiles peu massives connaissent une phase de transfert de masse qui dépouille encore plus l'étoile et recycle le compagnon pulsar, ce qui conduit à des systèmes tels que les étoiles à

neutrons binaires observées dans la Voie lactée et GW170817 (b).

Les étoiles plus massives ne se dilatent pas autant, évitant ainsi la poursuite du dépouillement et le recyclage du compagnon, ce qui conduit à des systèmes tels que GW190425 (c).

Enfin, des étoiles dépouillées encore plus massives conduisent à des binaires trou noir-étoile à neutrons tels que GW200115 (d). (Vigna-Gomez et al.)



## ***Disque protoplanétaire***

*Basé sur un communiqué MIT*

À l'aube du Système solaire, le Soleil était entouré d'un disque protoplanétaire de poussière et de gaz qui devait finir par former les planètes que nous connaissons aujourd'hui. Une nouvelle analyse d'anciennes météorites suggère qu'un mystérieux vide existait dans ce disque près de l'endroit où se trouve aujourd'hui la ceinture principale des astéroïdes.

Au cours des dernières années il est apparu que les structures en anneaux sont fréquentes dans les disques autour des étoiles jeunes. Ce sont des signatures importantes mais encore mal comprises des processus physiques qui aboutissent à la formation des planètes.

La raison de la trouée envisagée dans notre disque protoplanétaire n'est pas claire non plus. Une possibilité est l'influence de Jupiter. Au fur et à mesure que la géante gazeuse prenait forme, son immense force gravitationnelle aurait pu repousser les gaz et les poussières, laissant derrière elle un vide dans le disque en développement.

Une autre explication pourrait être liée aux vents émergeant de la surface du disque. Les premiers systèmes planétaires sont régis par de puissants champs magnétiques. Lorsque ces champs interagissent avec un disque de gaz et de poussière en rotation, ils peuvent produire des vents suffisamment puissants pour expulser de la matière, créant ainsi un vide dans le disque.

Quelle que soit son origine, une discontinuité dans le Système solaire primitif a probablement servi de barrière, empêchant les matériaux de part et d'autre d'interagir. Cette séparation physique a pu façonner la composition des planètes du Système solaire. Par exemple, du côté intérieur, les gaz et les poussières ont fusionné pour former des planètes terrestres, dont la Terre et Mars, tandis qu'à l'extérieur, dans des régions glaciales, le gaz et les poussières ont formé les géantes gazeuses.

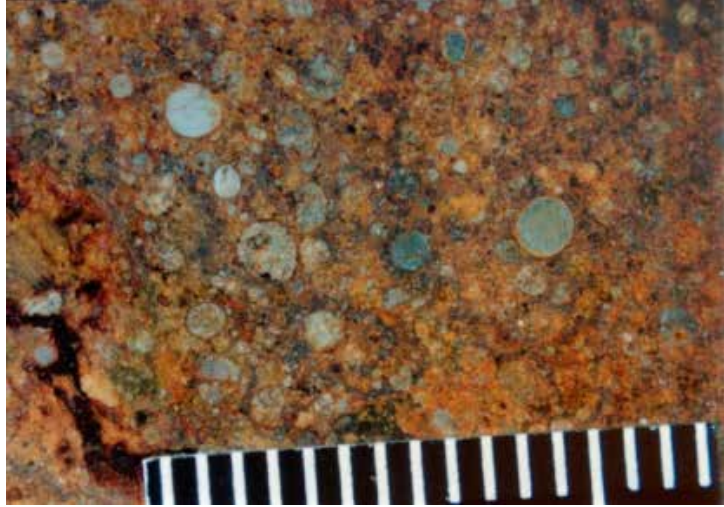
Au cours de la dernière décennie, les scientifiques ont observé une curieuse différence dans la composition des météorites qui ont atteint la Terre. Elles présentent l'une ou l'autre de deux combinaisons d'isotopes. Il est rare que des météorites présentent en même

***Une étude suggère qu'un mystérieux vide existait dans le disque protoplanétaire du Système solaire il y a environ 4,567 milliards d'années, et qu'il a probablement façonné la composition des planètes du Système solaire. Cette image montre une interprétation d'artiste d'un disque protoplanétaire. (National Science Foundation, A. Khan)***





***Vue en coupe d'une météorite révélant des chondres, la météorite de Grassland (Alberta, USA). L'échelle est graduée en millimètres.***  
*(Wikipedia, CC BY-SA 3.0)*



temps les deux combinaisons – une énigme connue sous le nom de dichotomie isotopique.

Les scientifiques ont proposé l'hypothèse que cette dichotomie est le résultat d'un vide dans le disque du Système solaire primitif, mais ce vide n'a pas été directement confirmé.

Les météorites se sont formées à des moments et dans des lieux différents, alors que le Système solaire prenait forme. Le disque protoplanétaire est le siège d'un champ magnétique, dont la force et la direction peuvent changer en fonction de divers processus. Lorsque la poussière ancienne s'est rassemblée en grains (chondres), les électrons se sont alignés avec le champ magnétique ambiant.

Les chondres peuvent être plus petits que le diamètre d'un cheveu humain et on les trouve aujourd'hui dans les météorites. Des premiers travaux avaient concerné le magnétisme d'échantillons de l'un des deux groupes isotopiques de météorites, des météorites non carbonées. On pense qu'elles sont nées dans un réservoir du Système solaire primitif relativement proche du Soleil. Dans une nouvelle étude, les chercheurs se sont demandé si le champ magnétique serait le même dans un deuxième groupe de météorites carbonées qui, à en juger par leur composition isotopique, sont censées être nées plus loin dans le Système solaire.

Ils ont analysé des chondres, mesurant chacun environ 100 microns, provenant de

deux météorites carbonées découvertes en Antarctique et en ont déterminé le champ magnétique original.

Le champ était plus fort dans ce second échantillon alors que l'on s'attend, dans le disque protoplanétaire, à une intensité du champ magnétique diminuant avec la distance au Soleil.

Les chondres éloignés présentaient un champ magnétique d'environ 100 microteslas, contre 50 microteslas dans les chondres plus proches. À titre de référence, le champ magnétique de la Terre est aujourd'hui d'environ 50 microteslas.

Le champ magnétique d'un système planétaire est une mesure de son taux d'accrétion ou de la quantité de gaz et de poussière qu'il peut attirer en son centre au fil du temps. D'après le champ magnétique des chondres carbonés, la région extérieure du Système solaire a dû accréter beaucoup plus de masse que la région intérieure.

En utilisant des modèles pour simuler divers scénarios, l'équipe a conclu que l'explication la plus probable de l'écart entre les taux d'accrétion est l'existence d'un fossé entre les régions interne et externe, qui aurait pu réduire la quantité de gaz et de poussière s'écoulant vers le Soleil depuis les régions externes.

## ***Panaches de trous noirs supermassifs***

*Basé sur un communiqué université de Bologne*

Les astronomes ont observé pour la première fois l'évolution du gaz chaud provenant d'un trou noir actif. Ils ont pu observer ces structures – qui rappellent fortement les panaches des éruptions volcaniques – avec des détails sans précédent et sur une échelle de temps de cent millions d'années.

L'étude s'est concentrée sur le système Nest200047 – un groupe d'une vingtaine de galaxies situées à environ 200 millions d'années-lumière. La galaxie centrale de ce système abrite un trou noir actif autour duquel les chercheurs ont observé de nombreuses bulles de gaz d'âges divers, des filaments de champs magnétiques et des particules relativistes, avec

des dimensions allant jusqu'à plusieurs centaines de milliers d'années-lumière.

Ces observations ont été possibles grâce à LOFAR (LOW Frequency ARray), le plus grand radiotélescope basse fréquence du monde. Cet outil de pointe, fruit du grand effort de neuf pays européens, a permis aux chercheurs de « remonter le temps » jusqu'à il y a plus de 100 millions d'années et de retracer l'activité du trou noir situé au centre de Nest200047.

L'enquête montre comment ces bulles de gaz accélérées par le trou noir s'étendent et se

***Gaz chaud provenant du trou noir supermassif actif au centre du système Nest200047 : l'activité d'un tel trou noir a un impact crucial sur l'évolution de la galaxie et de l'environnement intergalactique qui l'abrite.***  
*(Université de Bologne)*



transforment dans le temps. Elles offrent des structures spectaculaires en forme de champignon, des anneaux et des filaments semblables à ceux provenant d'une puissante éruption volcanique.

L'activité d'un tel trou noir a un impact crucial sur l'évolution de la galaxie hôte et de son environnement intergalactique. Depuis des années, les chercheurs tentent de comprendre comment et à quel rythme se déroule cette action.

Lorsqu'ils sont actifs, les trous noirs consomment tout ce qui les entoure et, dans ce processus, ils libèrent d'énormes quantités d'énergie. Parfois, cette énergie se présente sous la forme de flux de particules se déplaçant à une vitesse proche de celle de la lumière et produisant des ondes radio. À leur tour, ces flux génèrent des bulles de particules et des champs magnétiques en expansion qui peuvent chauffer et repousser le milieu intergalactique. Cela a une immense influence sur l'évolution du milieu intergalactique lui-même et, par conséquent, sur les taux de formation d'étoiles.

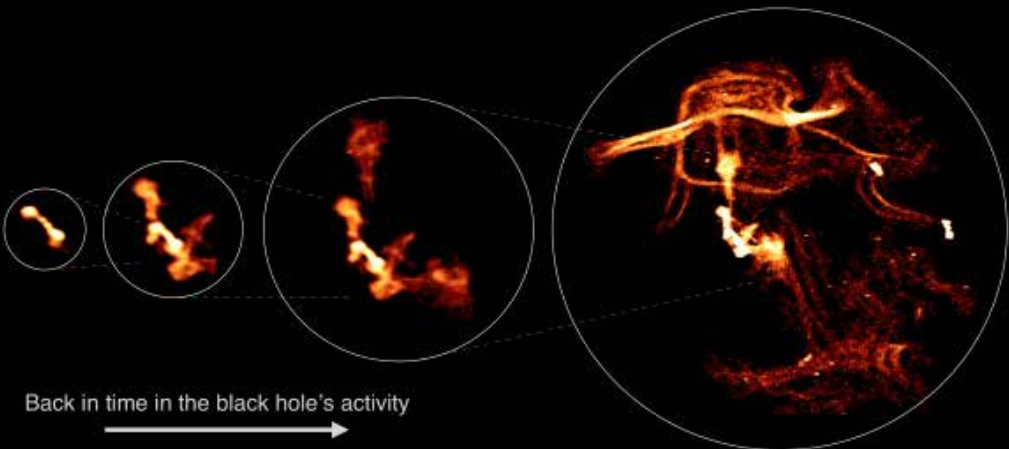
Cette étude propose l'hypothèse que les trous noirs actifs ont des effets à des échelles jusqu'à 100 fois plus grandes que la galaxie

hôte et que cet impact dure jusqu'à des centaines de millions d'années.

En plus de LOFAR, les chercheurs ont exploité les observations dans la bande des rayons X obtenues grâce au télescope eROSITA à bord de l'observatoire spatial SRG. Les données relatives aux rayons X ont permis de mieux étudier les caractéristiques du milieu intergalactique entourant les bulles de gaz émettant des radiations.

Ces observations ont donné lieu à d'autres découvertes inattendues : de minces filaments de gaz pouvant atteindre un million d'années-lumière, composés de particules relativistes et dotés de champs magnétiques. Selon les chercheurs, ces filaments sont les vestiges des bulles que le trou noir Nest200047 a produites il y a des centaines de millions d'années et qui se brisent pour se mélanger au milieu intergalactique. On pense que l'étude de ces structures permettra de découvrir des informations importantes sur les caractéristiques physiques de la matière intergalactique et le mécanisme qui régit le transfert d'énergie entre les bulles et le milieu extérieur.

***L'évolution du gaz chaud provenant d'un trou noir.  
(Université de Bologne)***





**GOLD, embarqué sur le satellite de télécommunications SES-14, scrute la thermosphère à partir de son orbite géostationnaire. (NASA/CIL/Chris Meaney)**

tion privilégiée lui donne une vue stable d'une face entière du globe, où il mesure la température de la haute atmosphère toutes les 30 minutes.

C'est dans la thermosphère qu'ont lieu les aurores polaires et que vogue la station

spatiale internationale. On y rencontre les températures les plus élevées de l'atmosphère terrestre, jusqu'à 1 500 °C. Elle atteint ces températures en absorbant les rayons X et ultraviolets extrêmes du Soleil et en les empêchant de parvenir jusqu'au sol.

Les nouvelles découvertes indiquent cependant que cet échauffement n'est pas dû seulement au rayonnement, mais aussi au vent solaire, c'est-à-dire aux particules et aux champs magnétiques qui s'échappent du Soleil.

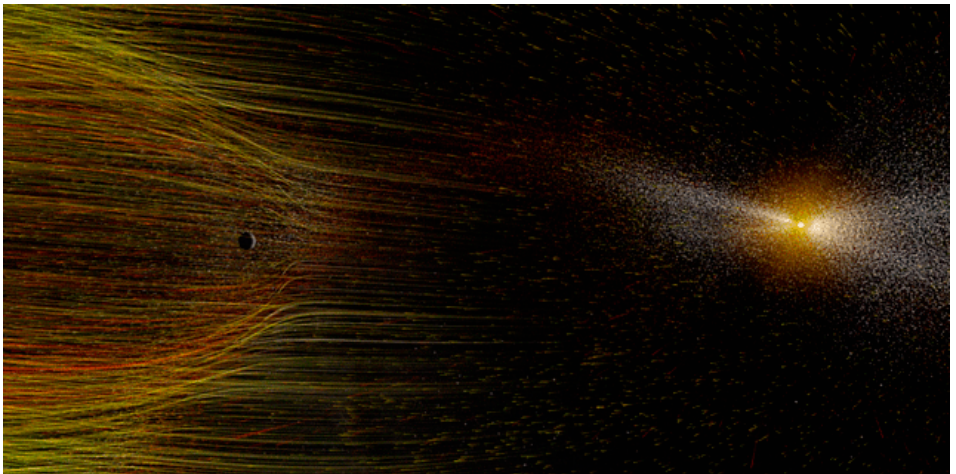
**Extrait d'une animation du vent solaire soufflant sur la Terre. (NASA's Goddard Space Flight Center/Scientific Visualization Studio/Greg Shirah)**

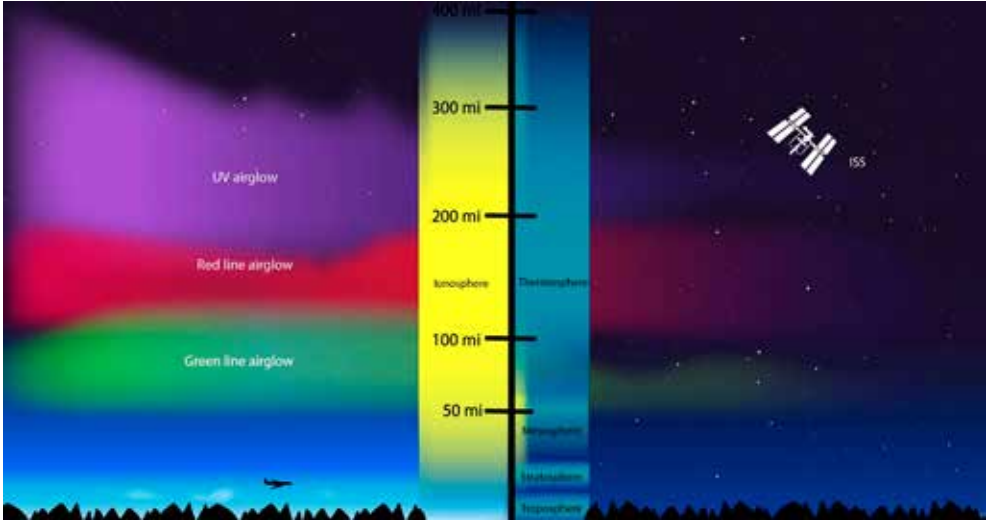
## **Thermosphère de la Terre**

*Basé sur un communiqué NASA*

De nouveaux résultats issus des données de la mission GOLD (Global Observations of the Limb and Disk) de la NASA montrent que la météo spatiale, c'est-à-dire les conditions changeantes dans l'espace provoquées par le Soleil, peut réchauffer la couche atmosphérique la plus chaude et la plus élevée de la Terre, la thermosphère, située entre 85 et 600 kilomètres d'altitude.

Lancée en 2018 à bord du satellite de communication SES-14, GOLD observe la haute atmosphère de la Terre depuis une orbite géosynchrone, en planant continuellement au-dessus de l'hémisphère occidental. Cette posi-





Le vent solaire souffle en permanence, mais les rafales les plus fortes peuvent perturber le champ magnétique de la Terre et provoquer une activité géomagnétique. Les chercheurs ont comparé les jours où l'activité géomagnétique était la plus importante à ceux où elle l'était moins, et ils ont constaté une augmentation de plus de 90 °C des températures thermosphériques. Les perturbations magnétiques provoquées par le Soleil réchauffent donc cette couche atmosphérique.

On pouvait s'attendre à un certain effet près des pôles de la Terre, où un point faible de notre champ magnétique permet au vent solaire de se déverser dans la haute atmosphère. Mais les données de GOLD ont montré une augmentation de la température sur l'ensemble du globe, même près de l'équateur, loin de toute incursion du vent solaire.

Les scientifiques suggèrent que cela a à voir avec un changement de la circulation atmosphérique globale qui pousse l'air de l'équateur vers les pôles et le ramène à des altitudes plus basses. Lorsque le vent solaire se déverse dans la thermosphère près des pôles, l'énergie supplémentaire peut modifier ce schéma, entraînant des vents et une compres-

***La thermosphère est la couche atmosphérique la plus élevée et la plus chaude, où l'ISS vole et où l'on peut observer les aurores et d'autres émissions lumineuses.***  
(NASA Goddard SFC/Genna Duberstein)

sion atmosphérique qui peuvent faire augmenter les températures.

La modification de la circulation pourrait également être à l'origine d'une autre découverte surprenante. Les données de GOLD ont montré que l'apport d'énergie dépendait de l'heure de la journée, l'effet étant plus important le matin que l'après-midi. On soupçonne l'activité géomagnétique de renforcer la circulation pendant la nuit et tôt le matin, mais cette explication demande confirmation.

Alors que l'on pensait que seuls les événements géomagnétiques importants pouvaient modifier la thermosphère, on réalise maintenant que même une activité mineure peut avoir un impact. GOLD brosse le tableau d'une haute atmosphère beaucoup plus sensible aux conditions magnétiques autour de la Terre qu'on ne l'imaginait.



## Exoplanètes rocheuses

*Basé sur un communiqué Keck Observatory*

Il est difficile de savoir de quoi sont faites exactement les exoplanètes que l'on a découvertes par milliers. Certaines ressemblent-elles à la Terre ? Une des pistes suivies par les astronomes est l'étude de l'atmosphère de naines blanches « polluées ». Il s'agit de noyaux denses et effondrés d'étoiles autrefois normales, comme le Soleil, et qui contiennent des matériaux provenant de planètes, d'astéroïdes ou d'autres corps rocheux. Ces corps qui étaient en orbite autour des étoiles ont fini par tomber dessus et ont contaminé leur atmosphère. En recherchant des éléments qui n'existeraient pas naturellement dans l'atmosphère d'une naine blanche (en gros, tout sauf l'hydrogène et l'hélium), les scientifiques peuvent déterminer de quoi étaient faits les objets rocheux qui s'y sont abîmés.

Les astronomes ont examiné 23 naines blanches polluées, situées à moins d'environ 650 années-lumière, et où le calcium, le silicium, le magnésium et le fer avaient été mesurés avec, notamment, le télescope Keck d'Hawaii et le télescope spatial Hubble. Ils ont ensuite utilisé les abondances de ces éléments pour reconstituer les minéraux et les roches qui se formeraient à partir d'eux.

Il apparaît que ces naines blanches présentent un éventail de compositions beaucoup plus large que celui des planètes intérieures du Système solaire, ce qui suggère que leurs planètes possédaient une plus grande variété

de types de roches. En fait, certaines compositions sont si inhabituelles qu'on a attribué de nouveaux noms (comme « pyroxénites de quartz » et « dunites de périclase ») pour classer les nouveaux types de roches qui ont dû exister sur ces planètes.

Certaines de ces roches exotiques peuvent dissoudre plus d'eau que les roches terrestres et pourraient avoir un impact sur le développement d'océans. Certaines ont un point de fusion très bas et pourraient produire une croûte plus épaisse que les roches terrestres. D'autres seraient moins résistantes, ce qui pourrait faciliter le développement d'une tectonique des plaques.

Les niveaux élevés de magnésium et les faibles niveaux de silicium mesurés dans l'atmosphère des naines blanches suggèrent que les débris rocheux détectés provenaient probablement de l'intérieur des planètes, du manteau et non de leur croûte.

Des études antérieures sur les naines blanches polluées avaient déjà trouvé des éléments provenant de corps rocheux, notamment du calcium, de l'aluminium et du lithium. Toutefois, il s'agit d'éléments mineurs, et des mesures d'éléments majeurs comme le silicium sont nécessaires pour établir le type de roche qui aurait existé sur ces planètes.

Certains travaux avaient suggéré l'existence d'une croûte continentale sur les planètes rocheuses qui gravitaient autrefois autour de naines blanches, mais la nouvelle étude n'apporte aucune preuve de la présence de roches crustales. Cependant, les observations n'excluent pas complètement que les planètes aient eu une croûte continentale ou d'autres types de croûte.

La roche crustale existe peut-être mais on ne peut pas la détecter, probablement parce qu'elle est présente en trop petite proportion par rapport aux autres composants planétaires, comme le noyau et le manteau.

*Les débris d'une planète rocheuse s'enroulent en spirale vers une naine blanche dans cette illustration. (NOIRLab/NSF/AURA/J. da Silva)*



## Les compagnes d'Algol

Basé sur un communiqué University of Helsinki

Algol est une binaire à éclipses où les deux étoiles A et B orbitent autour de leur centre de masse commun en 2,867 jours.

Les éclipses primaires d'Algol se produisent lorsque Algol B, moins brillante, couvre partiellement Algol A. Ces éclipses primaires durent dix heures et peuvent être observées à l'œil nu. Goodricke (1783) a déterminé la périodicité d'Algol à partir d'observations de ces événements.

Les éclipses primaires se répéteraient régulièrement au même rythme si rien ne venait perturber les mouvements du système binaire, et toutes les éclipses futures pourraient être calculées à partir des multiples de la période.

La présence d'un troisième membre Algol C dans le système a été confirmée à la fin des années 1950. Algol C et le couple AB orbitent autour de leur centre de masse commun en 1,86 an. Les mouvements orbitaux d'Algol C et d'Algol AB modifient la longueur du parcours de la lumière qui nous parvient.

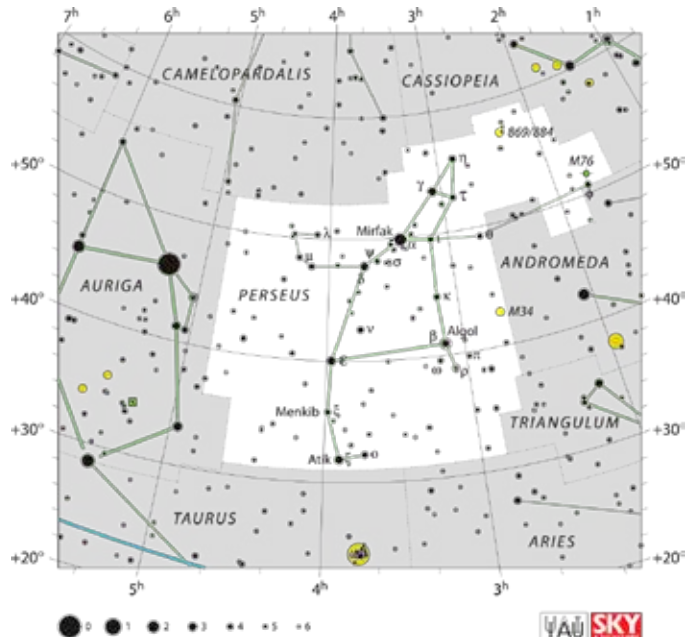
Nous observons les éclipses primaires plus tôt lorsque Algol AB est plus proche de nous, et plus tard lorsque Algol AB est plus éloigné de nous. Tous les 1,86 ans, Algol C provoque les mêmes décalages temporels positifs et négatifs réguliers dans les éclipses du couple AB. L'amplitude de ces décalages temporels n'est que d'environ neuf minutes, ce qui correspond à une différence de trajets de l'ordre d'une unité astronomique. Les époques des éclipses observées diffèrent des époques que l'on calcule en supposant la période constante.

(IAU, Sky & Telescope, Roger Sinnott, Rick Fienberg)

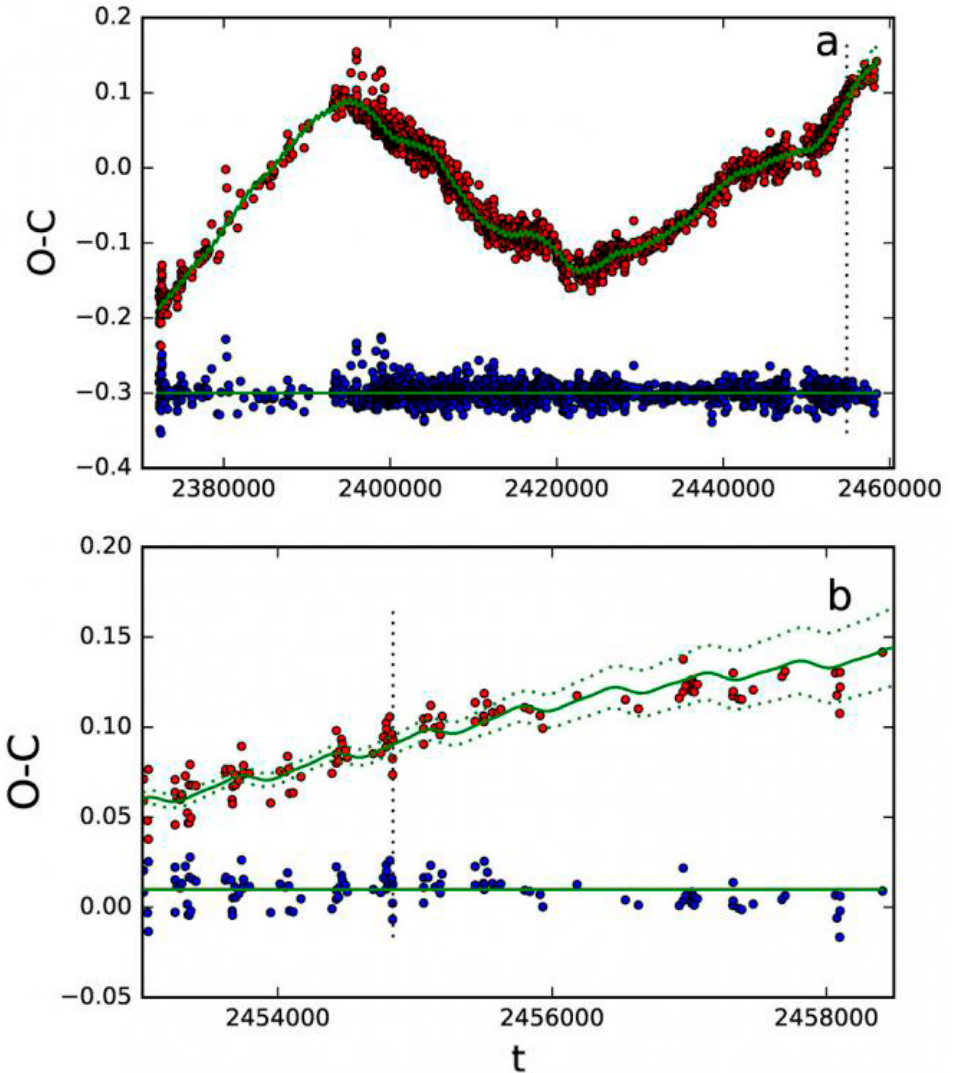
Ces différences observées-calculées sont appelées les données O-C.

Les astronomes ont analysé l'ensemble des données O-C d'Algol depuis novembre 1782 jusqu'à octobre 2018 et ont mis en évidence des différences de trajet de la lumière que l'on pourrait attribuer à cinq ou six étoiles compagnes. Les données O-C seules ne peuvent pas être utilisées pour établir le nombre exact de ces candidates. L'une d'elle est la vieille compagne Algol C. Les périodes orbitales des quatre ou cinq autres compagnes candidates se situent entre 20 et 219 ans.

Algol est trop brillante et peut cacher ces compagnes même aux yeux des télescopes spatiaux les plus puissants, tout comme notre Soleil peut cacher toutes les autres étoiles pendant la journée. Ainsi, l'équipement de pointe embarqué à bord du satellite Gaia n'a pas pu les détecter. On peut imaginer que de futures observations interférométriques pourraient être utilisées pour confirmer directement l'existence d'au moins certaines de ces compagnes d'Algol.

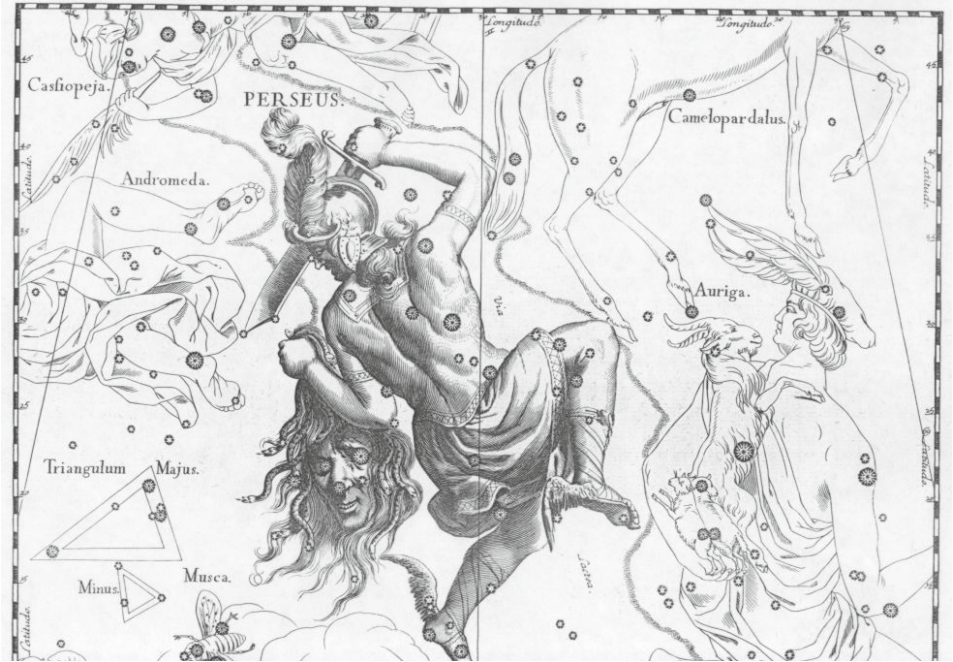






(a) Données O-C d'Algol (cercles rouges). Le temps en abscisses est gradué en jours juliens et va de novembre 1782 à octobre 2018. La ligne continue verte montre le modèle à cinq signaux pour les 226 premières années de données avant la ligne verticale pointillée. Les cercles bleus donnent les différences entre les données et le modèle (décalé de 0,3 mag vers le bas pour la clarté du dessin).

(b) Les 15 dernières années de données O-C. Au-delà de la ligne verticale pointillée commence la prédiction pour les 10 dernières années (ligne verte continue). Les lignes vertes pointillées montrent les limites de confiance des prédictions. Ce test vérifie dans quelle mesure le modèle validé pour les 226 premières années de données prédit les 10 dernières. La prédiction est assez satisfaisante.



**Persée aux temps d'Hevelius (xvii<sup>e</sup> s)  
et de Sufi (x<sup>e</sup> s)**



Le nom d'Algol dérive de l'arabe, signifiant le démon ou le monstre. Les variations d'éclat de l'étoile déjà notées par les Égyptiens avaient sans doute effrayé les Anciens. De tout temps les dessins de la constellation de Persée montrent le héros éponyme tenant la tête de Méduse fraîchement coupée et, sur les cartes célestes, Algol est à l'endroit de l'œil de Méduse.

L'astronome de Modène Geminiano Montanari fut le premier à étudier systématiquement les variations d'éclat d'Algol. Il l'observa régulièrement de 1668 à 1677. Un siècle plus tard John Goodricke découvrit la périodicité des variations et les expliqua par la rotation de taches ou les transits d'un corps en orbite.

Les recherches sur la variabilité de la lumière d'Algol ont porté un coup à l'ancienne croyance en l'incorruptibilité des cieux.

## Avalanche d'ondes gravitationnelles

Basé sur un communiqué OzGrav

Les observations réalisées par les observatoires LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) et Virgo durant la troisième saison (O3b) entre novembre 2019 et mars 2020 ont conduit à la détection de 35 événements d'ondes gravitationnelles, ce qui porte à 90 le nombre total de détections depuis 2015.

Les ondes gravitationnelles, prédites il y a un siècle par Albert Einstein, sont des oscillations de l'espace-temps dues à des phénomènes cosmiques massifs – tels que la collision de trous noirs.

Sur les 35 nouvelles détections, 32 résultent probablement de la fusion de trous noirs, les autres faisant plutôt intervenir un trou noir et une étoile à neutrons.

Parmi les découvertes notables, citons deux paires massives de trous noirs en orbite l'une autour de l'autre – une paire qui était 145 fois plus lourde que le Soleil, et l'autre 112 fois. À l'autre bout de l'échelle des masses, on

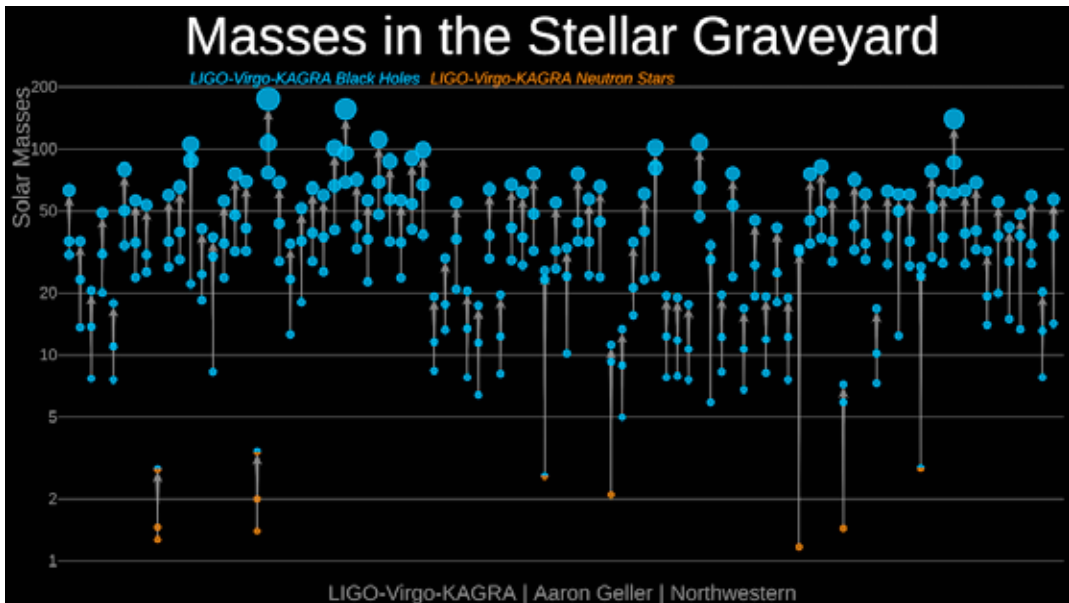
trouve une paire de trous noirs dont la masse combinée n'était que 18 fois celle du Soleil. Trois des 35 détections proviendraient de la fusion d'une étoile à neutrons avec un trou noir.

Certaines des nouvelles détections sont encore mystérieuses. Dans l'une de celles qui pourraient impliquer un trou noir et une étoile à neutrons, l'objet le plus léger avait une masse supérieure à celle d'une étoile à neutrons normale, mais inférieure à celle d'un trou noir.

Ces détections aident les scientifiques à comprendre à la fois l'évolution de l'Univers et la nature des objets stellaires. En étudiant ces populations de trous noirs et d'étoiles à neutrons, nous pouvons commencer à comprendre les tendances et les propriétés globales

*Masses des binaires compactes détectées par LIGO/Virgo, avec les trous noirs en bleu et les étoiles à neutrons en orange. Les objets sont classés par date de découverte.*

*(LIGO-Virgo/Aaron Geller/Northwestern)*



de ces objets extrêmes et découvrir comment ces paires ont vu le jour.

La distribution des masses et du spin (rotation) montre des caractéristiques liées aux processus et au lieu de formation de ces couples – caractéristiques qui ne peuvent pas toutes être expliquées.

L'augmentation rapide des découvertes est due aux améliorations apportées aux instruments de détection, telles que l'accroissement de puissance des lasers.

En améliorant encore les détecteurs, l'on pourra espérer déceler toutes les paires de trous noirs de l'Univers accessible. Les étoiles à neutrons, à moins d'entrer en collision, ne créent pas d'ondes gravitationnelles aussi fortes que les trous noirs parce qu'elles ne sont pas aussi denses et ne peuvent donc pas être vues aussi loin.

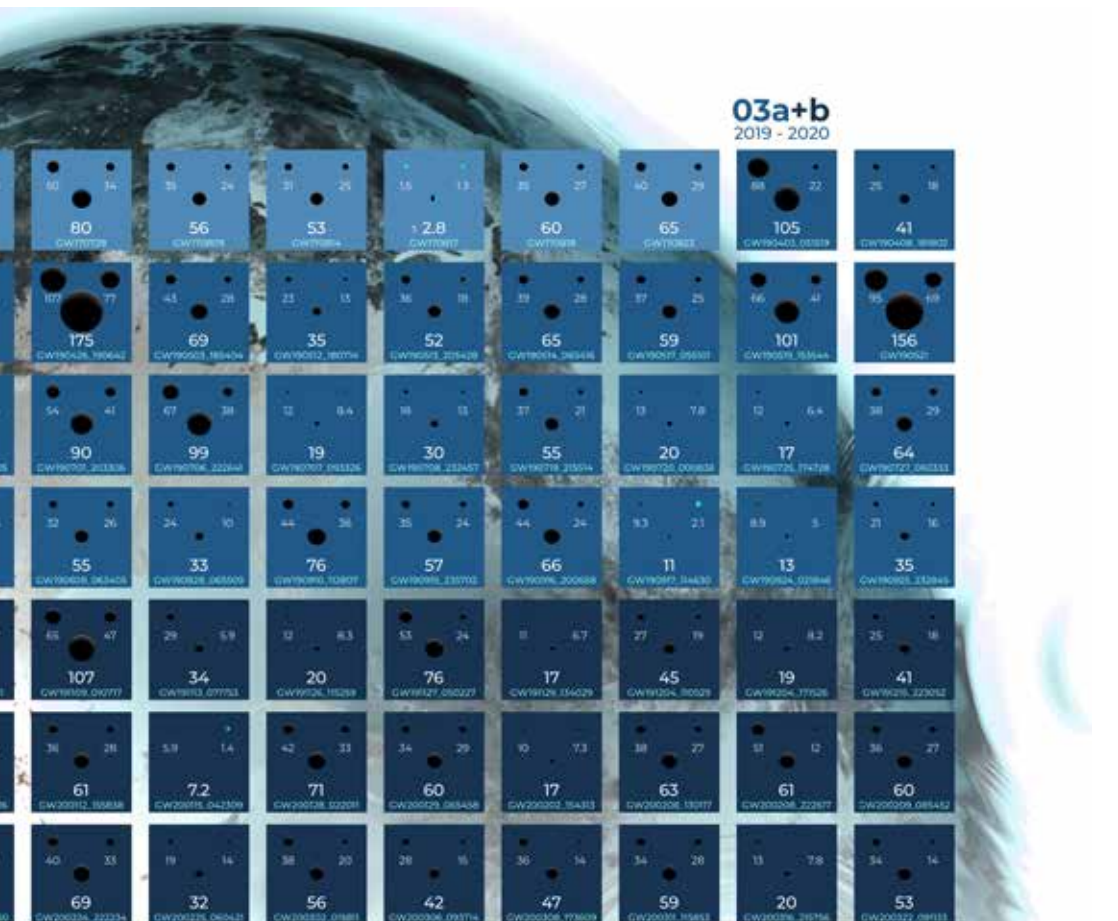
À l'avenir, les astronomes pourraient être en mesure de détecter les ondes gravitationnelles émises lors de l'explosion de supernovæ. Cela les aiderait à comprendre les processus en action dans les étoiles lorsqu'elles terminent leur cycle de vie et s'effondrent faute de carburant.



**Tableau des détections de 2015 jusqu'à la fin de la troisième saison d'observations de LIGO/Virgo. Le tableau comprend le nom de l'événement gravitationnel, le type de composant binaire (trou noir, étoile à neutrons ou incertain), les masses du primaire et du secondaire, et la masse de l'objet final fusionné. (LIGO/Virgo/KAGRA/C. Knox/H. Middleton)**







GRAVITATIONAL WAVE  
**MERGER**  
DETECTIONS  
SINCE 2015



© 2022 OzGrav. All rights reserved.

LIGO  
VIRGO  
KAGRA

## ***Un trou noir dans NGC 1850***

*Basé sur un communiqué ESO*

Le VLT de l'ESO a permis la découverte d'un petit trou noir à l'extérieur de la Voie lactée en observant son influence sur le mouvement d'une étoile située dans son voisinage immédiat. C'est la première fois que cette méthode de détection est utilisée pour révéler la présence d'un trou noir en dehors de notre galaxie. Cette méthode pourrait s'avérer déterminante pour dévoiler les trous noirs cachés dans la Voie lactée et les galaxies proches, et contribuer à faire la lumière sur la formation et l'évolution de ces objets mystérieux.

Ce trou noir se trouve dans NGC 1850, un amas de milliers d'étoiles situé à environ 160 000 années-lumière dans le Grand Nuage de Magellan. Il est environ 11 fois plus massif que le Soleil et est accompagné d'une étoile de cinq masses solaires.

Les astronomes ont déjà repéré de tels petits trous noirs de « masse stellaire » dans d'autres galaxies en détectant les rayons X émis lorsqu'ils avalent de la matière, ou les ondes gravitationnelles générées lorsque les trous noirs entrent en collision entre eux ou avec des étoiles à neutrons. Cependant, la plupart des trous noirs de masse stellaire ne révèlent leur présence que de manière dyna-

mique. Lorsqu'ils forment un système avec une étoile, ils affectent son mouvement de manière subtile mais détectable.

Cette méthode dynamique pourrait permettre aux astronomes de trouver beaucoup plus de trous noirs et contribuer à percer leurs mystères.

La détection dans NGC 1850 marque la première fois qu'un trou noir a été trouvé dans un amas jeune – l'amas n'a qu'environ 100 millions d'années, un clin d'œil à l'échelle astronomique. L'utilisation de la méthode dynamique dans des amas similaires pourrait permettre de découvrir encore plus de trous noirs jeunes et de jeter un nouvel éclairage sur leur évolution. En les comparant avec des trous noirs plus grands et plus matures dans des amas plus anciens, les astronomes seraient en mesure de comprendre comment ces objets grandissent en se nourrissant d'étoiles ou en fusionnant avec d'autres trous noirs. En outre, l'étude des caractéristiques démographiques des trous noirs dans les amas d'étoiles améliore notre compréhension de l'origine des sources d'ondes gravitationnelles.

Pour mener à bien leur recherche, les astronomes ont utilisé les données recueillies pendant deux ans avec l'instrument MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer) installé au VLT de l'ESO. MUSE a permis d'observer



*Vue d'artiste  
d'un couple trou  
noir-étoile dans  
l'amas NGC 1850  
du Grand Nuage  
de Magellan. La  
déformation de  
l'étoile est due à  
la puissante force  
gravitationnelle  
exercée par le  
trou noir.  
(ESO/M.  
Kornmesser)*

ver des zones très encombrées, comme les régions les plus internes des amas stellaires et de fournir des informations sur des milliers d'étoiles en une seule fois, au moins 10 fois plus qu'avec n'importe quel autre instrument. L'équipe a ainsi pu repérer une étoile dont le mouvement particulier signalait la présence d'un trou noir. Les données du projet OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment) et du télescope spatial Hubble ont permis de mesurer la masse du trou noir et de confirmer les conclusions.

Le futur télescope géant ELT (Extremely Large Telescope) devrait révolutionner le domaine en permettant d'observer des étoiles beaucoup plus faibles et de rechercher des trous noirs dans des amas globulaires situés à des distances beaucoup plus grandes.

***L'amas NGC 1850 dans le Grand Nuage de Magellan. Les filaments rougeâtres qui entourent l'amas sont de vastes nuages d'hydrogène, restes probables d'explosions de supernovæ. L'image est une superposition d'observations réalisées en lumière visible avec le VLT (vue d'ensemble) et le télescope spatial Hubble (partie centrale). (ESO, NASA/ESA/R. Gilmozzi/S. Casertano, J. Schmidt)***





## ***Nucléosynthèse***

*Basé sur un communiqué GSI*

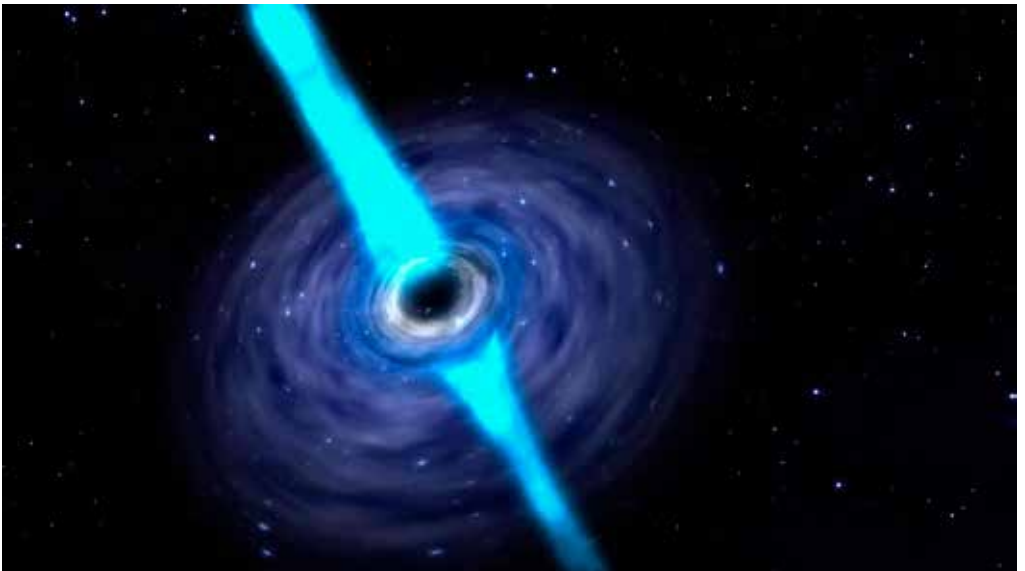
Les éléments lourds présents sur Terre ont été formés dans des conditions extrêmes dans des environnements astrophysiques : à l'intérieur des étoiles, dans des explosions stellaires et lors de la collision d'étoiles à neutrons. Cependant, on ne sait pas encore lequel de ces mécanismes présente les conditions appropriées pour la formation des éléments les plus lourds, tels que l'or ou l'uranium. La première observation spectaculaire d'ondes gravitationnelles et de rayonnement électromagnétique provenant d'une fusion d'étoiles à neutrons en 2017 a suggéré que de nombreux éléments lourds peuvent être produits et libérés dans ces collisions cosmiques. Cependant, la question reste ouverte de savoir quand et pourquoi la matière est éjectée et s'il peut y avoir d'autres scénarios dans lesquels des éléments lourds peuvent être produits.

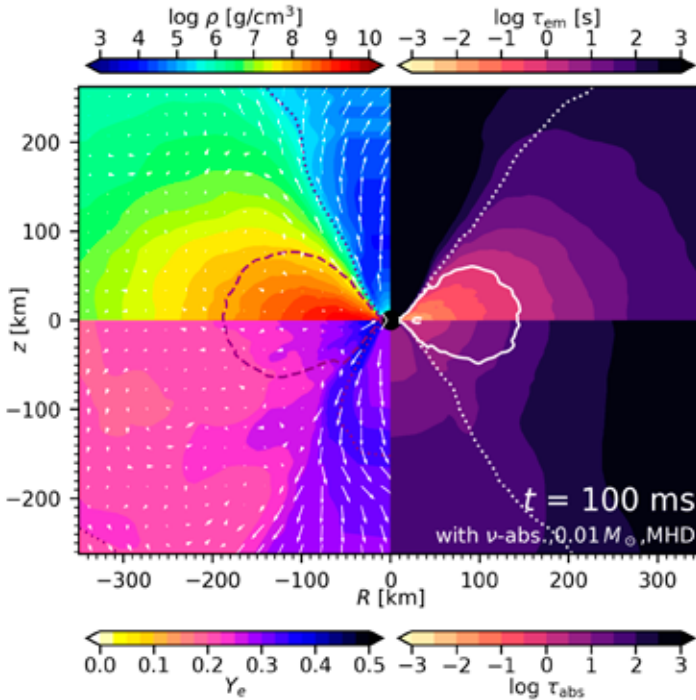
Les candidats prometteurs pour la production d'éléments lourds sont les trous noirs entourés d'un disque d'accrétion dense et

chaud. Un tel système se forme à la fois après la fusion de deux étoiles à neutrons massives ou lors de l'effondrement puis l'explosion d'une étoile en rotation (collapsar). La composition de ces disques d'accrétion n'est pas encore bien comprise, notamment en ce qui concerne les conditions dans lesquelles un excès de neutrons se forme. Un nombre élevé de neutrons est une condition de base pour la synthèse des éléments lourds, car il permet le processus de capture rapide des neutrons ou processus r. Les neutrinos jouent un rôle clé dans ce processus, car ils permettent la conversion entre protons et neutrons.

***La matière riche en neutrons est éjectée du disque, ce qui permet le processus de capture rapide des neutrons (processus r). La région bleu clair correspond à une éjection particulièrement rapide de matière, un jet qui prend généralement naissance parallèlement à l'axe de rotation du disque.***

***(National Radio Astronomy Observatory, USA)***





*Vue en coupe de la simulation d'un disque d'accrétion. Le trou noir est entouré d'un tore de matière de plusieurs centaines de kilomètres. L'axe de rotation du disque est donné par l'axe  $z$ , qui passe à  $R=0$  par le trou noir dans la direction verticale. Les flèches illustrent la distribution des vitesses. L'ombrage des couleurs indique la densité (en haut à gauche), la fraction de protons  $Y_e$  (en bas à gauche), et les échelles de temps caractéristiques de l'émission de neutrinos (en haut à droite) et de l'absorption de neutrinos (en bas à droite). Les valeurs de  $Y_e$  inférieures à 0,5 indiquent une fraction élevée de neutrons disponibles pour le processus  $r$ . (O. Just et al.)*

Les chercheurs ont systématiquement examiné pour la première fois les taux de conversion des neutrons et des protons pour un grand nombre de configurations de disques au moyen de simulations informatiques élaborées, et ils ont constaté que les disques sont très riches en neutrons lorsque certaines conditions bien spécifiques sont remplies. Le facteur décisif est la masse totale du disque. Plus le disque est massif, plus il se forme de neutrons à partir de protons par capture d'électrons avec émission de neutrinos, et ces neutrons sont disponibles pour la synthèse d'éléments lourds au moyen du processus  $r$ . Cependant, si la masse du disque est trop élevée, la réaction inverse joue un plus grand rôle de sorte que plus de neutrinos sont recapturés par les neutrons avant de quitter

le disque. Ces neutrons sont alors reconvertis en protons, ce qui entrave le processus  $r$ . La masse optimale du disque pour une production prolifique d'éléments lourds est d'environ 1/100 à 1/10 de masse solaire. Le résultat fournit des preuves solides que les fusions d'étoiles à neutrons produisant des disques d'accrétion pourraient être à l'origine d'une grande fraction des éléments lourds. Cependant, on ne sait pas encore si, et à quelle fréquence, de tels disques d'accrétion apparaissent dans les systèmes de collision.

Dans les prochaines années, une interaction bien coordonnée des modèles théoriques, des expériences et des observations astronomiques devrait permettre de tester les fusions d'étoiles à neutrons comme origine des éléments du processus  $r$ .

## ***Le courant de Magellan***

*Basé sur un communiqué U. Wisconsin-Madison*

Notre galaxie n'est pas seule. Plusieurs galaxies naines plus petites tourbillonnent autour de la Voie lactée, dont les plus grandes sont le Petit et le Grand Nuages de Magellan, visibles de l'hémisphère sud.

Au cours de leur danse autour de la Voie lactée pendant des milliards d'années, la gravité des Nuages de Magellan a arraché à chacun d'eux un énorme arc de gaz – le courant de Magellan. Ce courant permet de raconter l'histoire de la Voie lactée et de ses galaxies voisines ainsi que leur avenir.

De nouveaux modèles ont pu décrire la naissance et le développement du courant au cours des derniers 3,5 milliards d'années. En utilisant les données récentes sur la structure du gaz, les chercheurs ont découvert que le

courant pourrait être cinq fois plus proche de la Terre qu'on ne le pensait. Ces résultats suggèrent qu'il pourrait entrer en collision avec la Voie lactée bien plus tôt que prévu, contribuant ainsi à alimenter la formation de nouvelles étoiles dans notre galaxie.

Les nouveaux modèles prédisent avec précision où se trouvent les étoiles du courant. Ces étoiles auraient été arrachées à leur galaxie mère avec le reste du gaz du courant, mais seules quelques-unes ont encore été identifiées. Des observations pourraient enfin permettre de repérer les étoiles et confirmer que la nou-

***Le système de Magellan tel qu'il apparaît dans le ciel nocturne. Cette image, tirée directement des simulations numériques, a été légèrement modifiée pour des raisons esthétiques.  
(Colin Legg / Scott Lucchin)***



velle reconstruction de l'origine du courant est correcte.

Cela change le paradigme du courant de Magellan. Certains pensaient que les étoiles étaient trop faibles pour être vues parce que trop éloignées. Mais nous savons maintenant que le courant se trouve essentiellement dans la partie extérieure du disque de la Voie lactée. C'est assez proche pour être repéré avec les installations actuelles.

Les derniers travaux se fondent à la fois sur de nouvelles données et sur des hypothèses différentes concernant l'histoire des nuages et du courant de Magellan. En 2020, des chercheurs avaient prédit que le flux était enveloppé d'une gigantesque couronne de gaz chaud. Ils ont donc intégré cette couronne dans leurs simulations, tout en tenant compte d'un nouveau modèle de ces deux galaxies naines qui suggère qu'elles sont en orbite l'une autour de l'autre depuis seulement 3 milliards d'années.

L'ajout de la couronne a modifié l'histoire orbitale des nuages. Dans cette nouvelle reconstitution, lorsque les galaxies naines ont été capturées par la Voie lactée, le Petit Nuage de Magellan a tourné autour du Grand Nuage

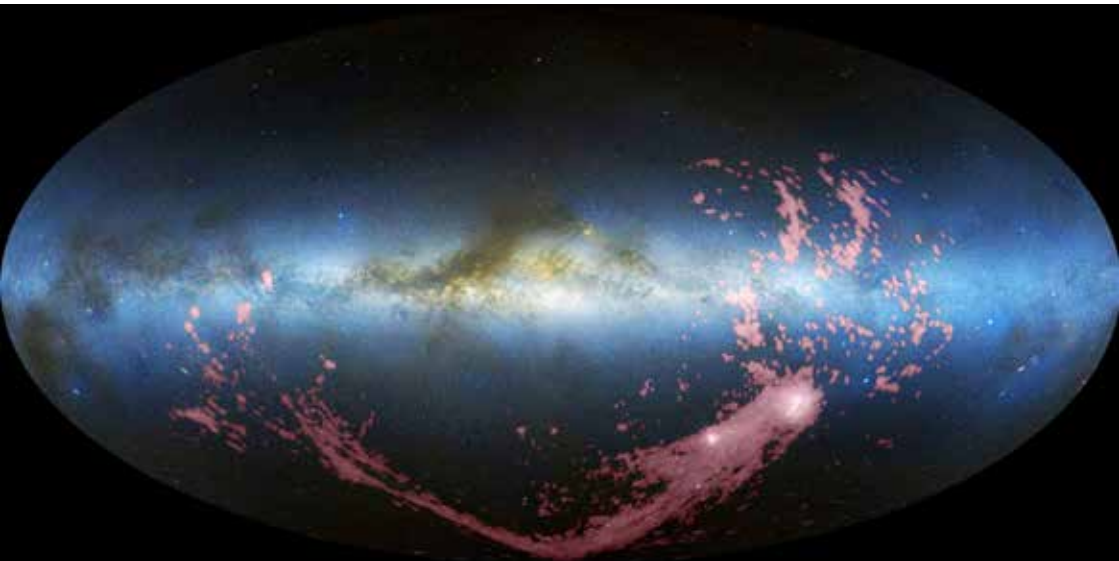
dans la direction opposée à ce que l'on pensait auparavant. En se dépouillant mutuellement de leur gaz, les galaxies naines ont produit le courant magellanique.

L'orbite rétrograde a influencé le courant pour qu'il se dirige vers la Terre, au lieu de s'étendre au loin dans l'espace intergalactique. La partie la plus proche du courant se situe probablement à environ 65 000 années-lumière. Les Nuages eux-mêmes se trouvent à environ 200 millions d'années-lumière.

La distance révisée change notre compréhension du courant. Cela signifie que nos estimations de nombreuses propriétés du courant, telles que la masse et la densité, devront être revues.

Si le courant est aussi proche, il n'a probablement qu'un cinquième de la masse qu'on lui donnait auparavant. Le rapprochement du courant signifie également que le gaz commencera à fusionner avec la Voie lactée dans environ 50 millions d'années, fournissant ainsi la matière fraîche nécessaire à la naissance de nouvelles étoiles dans la Galaxie.

*Le gaz du courant magellanique.  
(NASA)*

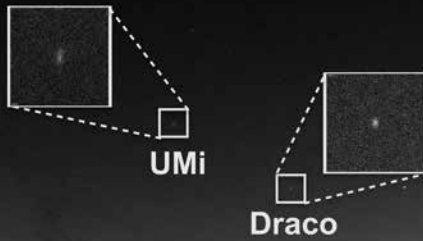


## ***Galaxies satellites ou pas***

*Basé sur un communiqué ESA*

Notre galaxie, la Voie lactée, est entourée d'une cinquantaine de galaxies naines. La plupart de ces galaxies ne sont identifiables qu'au télescope et ont été nommées d'après la constellation dans laquelle elles apparaissent dans le ciel (par exemple : Draco, Sculptor ou Leo). Les deux galaxies naines les plus

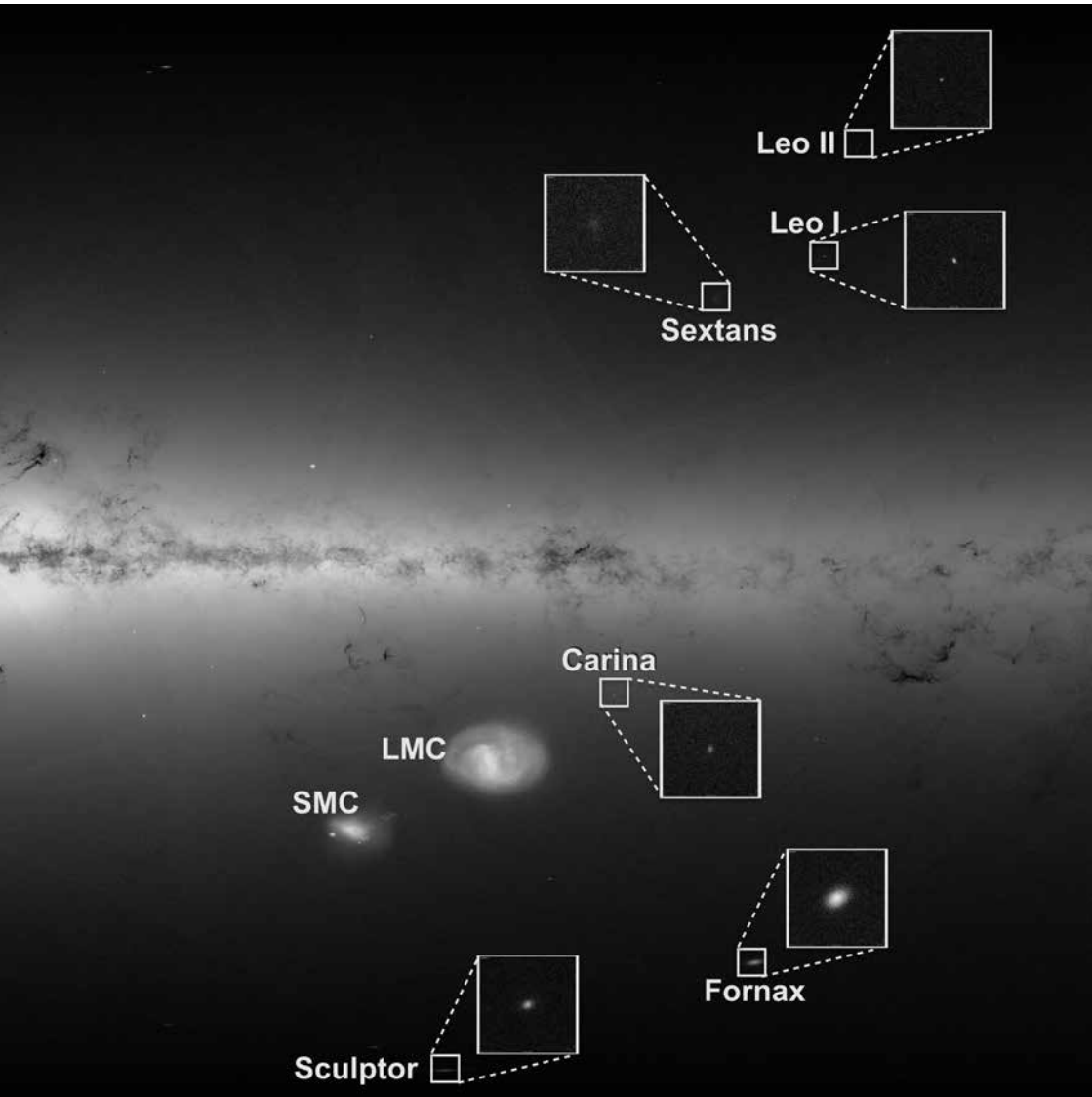
brillantes, les Nuages de Magellan, sont facilement visibles à l'œil nu. Traditionnellement, ces galaxies naines ont été considérées comme étant des satellites de la Voie lactée depuis plusieurs milliards d'années. Or, de nouvelles données provenant de la sonde Gaia de l'ESA ont montré que la majorité des galaxies naines passent près de notre galaxie pour la première fois. Notre galaxie a cannibalisé un certain nombre de galaxies naines dans son passé. Par



exemple, il y a 8 à 10 milliards d'années, la galaxie naine Gaia-Enceladus a été absorbée par la Voie lactée. Ses étoiles peuvent être identifiées dans les données de Gaia en raison des orbites excentriques et de la gamme d'énergies qu'elles possèdent. Il y a 4 à 5 milliards d'années, c'était au tour de la galaxie du Sagittaire d'être capturée par la Voie lactée. Elle est actuellement en train d'être mise en pièces et assimilée. L'énergie de ses étoiles est

plus élevée que celle de Gaia-Enceladus, ce qui indique qu'elles sont soumises depuis moins longtemps à l'influence de la Voie lactée.

Dans le cas des galaxies naines autour de la Voie lactée, leurs énergies sont encore plus élevées. Cela suggère fortement qu'elles ne sont arrivées dans notre voisinage qu'au cours des derniers milliards d'années.



Cette découverte fait écho à celle du Grand Nuage de Magellan (LMC). Le LMC était également considéré comme une galaxie satellite de la Voie lactée jusqu'aux années 2000, lorsque les astronomes ont mesuré sa vitesse et découvert qu'elle allait trop vite pour être liée gravitationnellement. Au lieu d'être un compagnon, LMC est en visite pour la première fois. Nous savons maintenant qu'il en va de même pour la plupart des galaxies naines.

Ces nouvelles venues vont-elles se mettre en orbite ou simplement passer à côté de nous ? Certaines d'entre elles seront capturées par la Voie lactée et deviendront des satellites,

mais dire lesquelles exactement est difficile car cela dépend de la masse exacte de la Voie lactée, une quantité que les astronomes ont du mal à calculer avec précision. Les estimations varient d'un facteur deux.

La découverte des énergies des galaxies naines est importante car elle nous oblige à réévaluer la nature des galaxies naines elles-mêmes. Lorsqu'une galaxie naine est en orbite, l'attraction gravitationnelle de la Voie lactée tente de la disloquer. Cette force de marée est tout simplement gigantesque et peut facilement détruire une galaxie naine après un ou deux passages.

En d'autres termes, devenir un compagnon de la Voie lactée est un arrêt de mort pour les galaxies naines. La seule chose qui pourrait résister à l'emprise destructrice de notre galaxie serait que la naine possède une quantité significative de matière noire. La matière noire est la substance mystérieuse qui, selon les astronomes, existe dans l'Univers pour fournir la gravité supplémentaire qui maintient les galaxies ensemble. Dans la vision traditionnelle, les naines étaient des galaxies satellites en orbite depuis des milliards d'années, et on supposait qu'elles devaient être dominées par la matière noire pour équilibrer la force de marée de la Voie lactée et les maintenir intactes. Le fait que Gaia ait révélé que la plupart des galaxies naines tournent autour de la Voie lactée pour la première fois signifie qu'elles ne doivent pas nécessairement inclure de la matière noire, et il faut réévaluer si ces systèmes sont en équilibre ou plutôt en voie de destruction. Cela oblige les astronomes à reconsidérer l'histoire de la Voie lactée et sa formation, ainsi que la nature et la composition des galaxies naines elles-mêmes.

*La galaxie naine Leo I, à quelques minutes d'arc de Régulus, mais infiniment plus lointaine.  
(Wikipedia, Scott Anttila, CC BY-SA 3.0)*





## Fluor lointain

Basé sur un communiqué ESO

Une nouvelle découverte permet de mieux comprendre comment le fluor – un élément présent dans les os et les dents sous forme de fluorure – est forgé dans l’Univers. Comme la plupart des éléments qui nous entourent, le fluor est créé à l’intérieur des étoiles mais, jusqu’à présent, nous ne savions pas exactement comment cet élément était produit. Nous ne savions même pas quel type d’étoiles produisait la majorité du fluor dans l’Univers.

Grâce à ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), on a pu détecter de l’acide fluorhydrique (fluorure d’hydrogène) dans NGP-190387, une galaxie si lointaine que nous la voyons telle qu’elle était lorsque l’Univers n’avait que 1,4 milliard d’années, soit environ 10 % de son âge actuel. À leur mort, les étoiles expulsent les éléments qu’elles ont formés. Cette détection implique donc que les étoiles qui ont créé le fluor n’ont eu qu’une brève existence.

Les astronomes pensent que les étoiles Wolf-Rayet, des étoiles très massives qui ne vivent que quelques millions d’années, un clin d’œil dans l’histoire de l’Univers, sont les sites de production de fluor les plus probables. Seules ces étoiles pourraient expliquer les quantités de fluorure repérées. Les étoiles Wolf-Rayet avaient déjà été suggérées comme sources possibles du fluor, mais les astronomes ignoraient jusqu’à présent leur rôle dans la production de cet élément au début de l’Univers.

Outre ces étoiles, d’autres scénarios concernant la production et l’expulsion du fluor avaient été avancés, comme les pulsations de géantes de la branche asymptotique. Mais il semble que ces divers scénarios, dont certains prennent des milliards d’années, ne pourraient pas expliquer tout le fluor de NGP-190387. Pour cette galaxie, il n’a fallu que quelques dizaines ou centaines de millions d’années pour avoir des niveaux de fluor comparables à ceux trouvés dans la Voie lactée qui,



*Vue d’artiste de NGP-190387.  
(ESO/M. Kornmesser)*

elle, a 13,5 milliards d’années. Cela pose une contrainte totalement nouvelle sur l’origine du fluor.

La découverte de NGP-190387 constitue l’une des premières détections de fluor au-delà de la Voie lactée et de ses voisines. Les astronomes avaient déjà repéré cet élément dans des quasars lointains mais jamais cet élément n’avait été observé dans une galaxie à formation d’étoiles si tôt dans l’histoire de l’Univers.

La détection du fluor est une découverte fortuite rendue possible grâce à l’utilisation d’observatoires spatiaux et terrestres. La galaxie NGP-190387, découverte à l’origine par l’observatoire spatial Herschel de l’Agence Spatiale Européenne, puis observée par ALMA, est extraordinairement lumineuse au regard de sa distance. Les données ALMA ont confirmé que la luminosité exceptionnelle de NGP-190387 était en partie due à l’effet de lentille gravitationnelle d’une autre galaxie massive proche de la ligne de visée.

De futures études de NGP-190387 que pourrait effectuer l’Extremely Large Telescope (ELT) – le nouveau projet phare de l’ESO, en cours de construction au Chili et dont l’exploitation devrait commencer dans le courant de la décennie – seraient susceptibles de révéler d’autres secrets sur cette galaxie. Alors qu’ALMA est sensible au rayonnement émis par le gaz et la poussière interstellaires froids, l’ELT montrera les étoiles elles-mêmes.