

neurones dits «Q» chez les souris : ces dernières se sont mises dans un état de torpeur, avec une température corporelle de 23-24 °C. Les animaux se réveillaient ensuite en bonne santé, sans aucun signe de dommages cellulaires et tissulaires, et avec un comportement parfaitement normal, même après un sommeil de deux jours. En outre, une autre population de neurones de l'hypothalamus continuait à réguler leur température corporelle (devenue basse), afin que les souris puissent encore s'adapter aux conditions extérieures au moment de leur courte hibernation.

L'équipe américaine a privé des souris de nourriture pendant plus de 24 heures afin qu'elles entrent en hibernation, puis elle a identifié les neurones impliqués dans la diminution de la température corporelle. Bien entendu, les neurones Q en faisaient partie. Et quand les chercheurs les ont activés, ils ont également provoqué un état de torpeur chez les rongeurs, malgré la présence de nourriture.

Ces neurones existent également chez les rats qui, pourtant, n'hibernent jamais. En stimulant ces cellules, l'équipe japonaise a provoqué chez ces animaux un état de torpeur artificielle similaire à celui des souris. Les deux équipes ont également caractérisé avec davantage de précision l'ensemble des neurones du circuit de thermorégulation de la région préoptique médiane de l'hypothalamus, et montré que les neurones Q sont bien ceux qui induisent une hypothermie profonde, mais qu'ils ne sont «mobilisés» que chez certaines espèces de mammifères.

L'idée d'une hypothermie thérapeutique se profile toutefois. Les scientifiques rappellent en effet que ces neurones Q et le circuit de régulation thermique corporelle se ressemblent chez tous les mammifères et sont par conséquent certainement présents chez l'homme. Mais il reste à le vérifier... et à être en mesure de les activer. Une forme d'«hibernation artificielle thérapeutique», de courte durée, où le métabolisme diminue considérablement, serait utile pour limiter les dégâts cellulaires ou tissulaires après un accident cardiaque ou un accident vasculaire cérébral. ■

BÉNÉDICTE SALTHUN-LASSALLE

T. M. Takahashi et al., *Nature*, en ligne le 11 juin 2020 ; S. Hrvatin et al., *ibidem*

# GW190814, un signal doublement atypique

Le 14 août 2019, les détecteurs d'ondes gravitationnelles Ligo et Virgo ont repéré la fusion d'un système binaire hors norme. Astrid Lamberts, chargée de recherche à l'observatoire de la Côte d'Azur et membre de l'équipe Virgo, nous présente les caractéristiques de l'événement GW190814.



Propos recueillis par SEAN BAILLY

**ASTRID LAMBERTS**  
chercheuse à  
l'observatoire de la Côte  
d'Azur, à Nice

## En quoi consiste l'événement GW190814 ?

Il s'agit d'un système de deux objets compacts qui ont fusionné en émettant des ondes gravitationnelles. Les deux détecteurs *Ligo*, aux États-Unis, et celui de *Virgo*, en Italie, ont enregistré le signal correspondant à cette coalescence le 14 août 2019. L'analyse montre que le système binaire se composait d'un trou noir de 23 masses solaires et d'un second objet, de nature inconnue, de 2,6 masses solaires. Leur fusion a donné naissance à un trou noir de 25 masses solaires.

## Cette coalescence est-elle atypique ?

D'abord, la différence de masse entre les deux objets est très grande, dans un rapport proche de 9. Le seul autre événement asymétrique que nous ayons observé, GW190412, avait un rapport de masses juste inférieur à 4. L'intérêt des systèmes asymétriques est que leur signal est plus riche : nous pouvons en extraire beaucoup plus d'informations sur les caractéristiques du système binaire. Nous avons, par exemple, une très bonne précision sur la masse du plus petit objet de la fusion.

## Pourquoi cette masse est-elle si intéressante ?

Lorsqu'une étoile massive arrive en fin de vie, son cœur s'effondre et forme un trou noir, ou une étoile à neutrons pour des astres un peu moins massifs. Jusqu'à présent, les astronomes avaient constaté que les étoiles à neutrons les plus massives ne dépassaient jamais 2,5 masses solaires et les trous noirs les plus légers étaient toujours au-dessus de 5 masses solaires. On observe donc une discontinuité, un *gap*, dans les masses de ces objets astrophysiques. Ce *gap* est-il le résultat d'un biais observationnel qui reste à identifier ou est-il bien réel ? Certains modèles

qui décrivent l'explosion des étoiles massives reproduisent ce *gap*, mais l'objet de GW190814 à 2,6 masses solaires bouscule cette idée. Il reste à comprendre comment cet objet s'est formé et quelle est sa nature.

## Sait-on expliquer l'origine de ce système binaire asymétrique ?

Quand on examine les modèles, il est très difficile de produire des systèmes binaires asymétriques qui fusionnent en un temps raisonnable, c'est-à-dire inférieur à l'âge de l'Univers, ou avec une probabilité de réalisation non négligeable. Mais GW190814 et GW190412 suggèrent que les systèmes asymétriques sont loin d'être rares. Il reste à élucider le mécanisme de leur formation.

Un scénario part d'un amas globulaire comportant de nombreux astres, où l'on va avoir pas mal d'échanges dynamiques et des captures successives. On pense que c'est ainsi que des trous noirs atteignent plusieurs dizaines de masses solaires. Cependant, dans un tel amas, les corps les plus massifs tendent à se regrouper au centre et les petits se retrouvent en périphérie. Il est donc très peu probable qu'un système binaire asymétrique se forme.

Une solution est d'imaginer un milieu avec beaucoup d'effets dynamiques et une grande quantité de gaz. Ce dernier freine les mouvements des corps légers, ce qui augmente les chances de former des systèmes binaires asymétriques. Certains théoriciens suggèrent que le disque d'accrétion d'un trou noir supermassif dans des noyaux actifs de galaxies fournirait un tel environnement.

Nous en saurons plus dans les années à venir. Pendant sa troisième campagne de prise de données, d'avril 2019 à mars 2020, la collaboration *Ligo-Virgo* a identifié 56 signaux de coalescences potentielles. Ils nous aideront à déterminer par quels canaux les systèmes binaires se forment, et quel mécanisme permet d'expliquer des cas particuliers tel que celui de GW190814. ■

R. Abbott et al., *Astrophys. J. Lett.*, vol. 896(2), L44, 2020

## PHYSIQUE DES PARTICULES

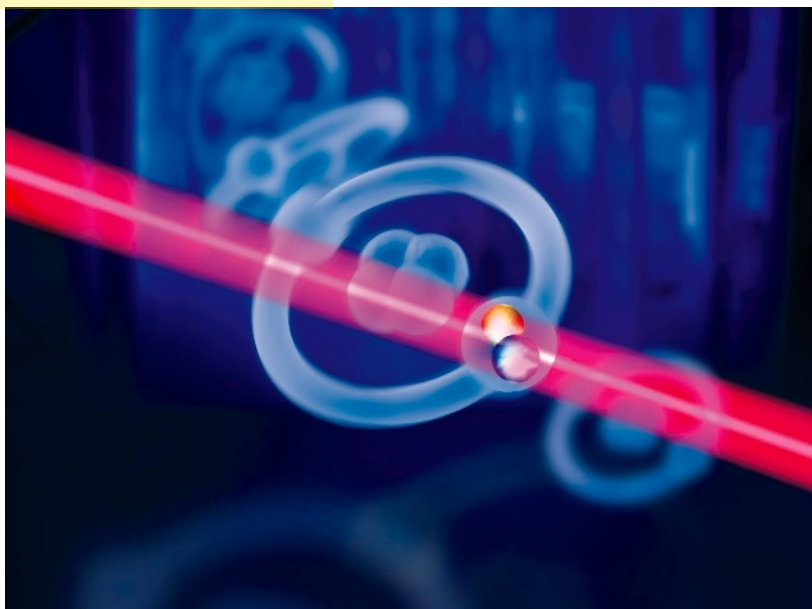
# UN NOUVEL ATOME EXOTIQUE À LA LOUPE

Un atome d'hélium où un pion, particule instable, remplace l'un des deux électrons : cet assemblage hybride a été produit en laboratoire et mesuré avec précision.

**P**renez un atome ordinaire avec son noyau entouré d'un cortège d'électrons, retirez l'un de ces derniers et remplacez-le par une autre particule de même charge électrique, tels un muon, un antiproton ou encore un pion. Vous obtenez un atome « exotique ». L'intérêt ? Ce système permet de mesurer avec précision différentes grandeurs physiques fondamentales comme la masse des particules. L'idée n'est pas nouvelle et est utilisée depuis des dizaines d'années. Mais Masaki Hori, de l'institut Max-Planck d'optique quantique, à Garching, en Allemagne, et ses collègues l'ont mise en œuvre sur un système très difficile à produire : un atome d'hélium où un pion remplace un électron.

Le pion appartient à la famille des mésons, particules composites constituées d'un quark et d'un antiquark. Les pions négatifs ont une durée de vie de 26 nanosecondes ( $26 \times 10^{-9}$  seconde). Il faut donc *a priori* former l'hélium pionique en remplaçant un électron par un pion et réaliser les mesures en un temps inférieur à cette durée de vie extrêmement brève. Mais la situation est en fait encore plus délicate. Lorsque le pion se trouve à proximité d'un noyau atomique, il interagit très vite avec celui-ci et provoque sa fission. La durée de vie du pion est alors réduite à quelques picosecondes ( $10^{-12}$  seconde) !

L'équipe de Garching a résolu cette difficulté en dirigeant leur faisceau de pions vers une cible d'hélium liquide refroidi à une température de 2 kelvins. Si 98% des pions réagissent instantanément avec les noyaux du milieu et sont détruits, les 2% restants sont captés par un atome d'hélium : un électron est éjecté et l'électron restant, plus proche du noyau que le pion, fait écran entre les deux. La durée de vie de ces états, dits « de Rydberg », est suffisante pour réaliser une mesure. Pour ce faire, les chercheurs induisent, grâce à un laser, une transition entre l'état de Rydberg et un autre niveau atomique ayant une durée de vie plus courte. Lorsque cette transition s'opère, l'électron restant est éjecté et la probabilité d'interaction du pion avec le noyau devient très grande. Ce dernier se scinde alors en un proton, un neutron et un noyau de deutérium.



Vue d'artiste de l'atome d'hélium pionique excité par un faisceau laser.

## 0,84 femtomètre

C'EST LA TAILLE DU PROTON MESURÉE GRÂCE À UN ATOME EXOTIQUE, L'HYDROGÈNE MUONIQUE. LE MUON A LES MÊMES CARACTÉRISTIQUES QUE L'ÉLECTRON, MAIS IL EST 200 FOIS PLUS LOURD.

Sur une expérience d'environ 100 heures, 300 événements correspondant à la formation d'hélium pionique, soit à peine trois par heure, ont été détectés. Les chercheurs ont réussi, en ajustant progressivement la fréquence de la lumière laser, à déterminer la fréquence de résonance correspondant à l'énergie exacte de la transition entre les deux niveaux d'énergie. Cette énergie est liée à des grandeurs fondamentales comme la « constante de structure fine » et la masse du pion, qu'il serait alors possible d'évaluer.

Il reste cependant un obstacle à surmonter avant de pouvoir déterminer la masse du pion. Dans l'hélium liquide, les atomes exotiques subissent des collisions qui créent une incertitude sur la valeur de la fréquence de résonance. Afin de réduire cette incertitude, Masaki Hori et ses collègues comptent renouveler leur expérience avec différentes densités d'hélium liquide. ■

S. B.

M. Hori et al., *Nature*, vol. 581, pp. 37-40, 2020

## UN CERCLE DE PUITES À STONEHENGE

Petit à petit, l'immensité du paysage sacré de Stonehenge se révèle : à 3 kilomètres au nord-est du célèbre site, une enceinte de terre de 500 mètres de diamètre a elle aussi 4 500 ans : les Durrington Walls. Or voilà qu'une équipe de l'université de Bradford a découvert 20 puits de 5 mètres de profondeur et de 10 mètres de diamètre dessinant un vaste cercle de 864 mètres de rayon centré sur les Durrington Walls, ce qui donne à cette structure une très grande ampleur.

Internet Archaeology, <https://doi.org/10.1111/ia.55.4>

## UNE PLANÈTE GÉANTE, MAIS NUE

David Armstrong, de l'université de Warwick, et ses collègues viennent de mettre en évidence, à 730 années-lumière de nous, une exoplanète 40 fois plus massive que la Terre et notée TOI 849 b. Elle décrit son orbite en seulement 18 heures, très près de son étoile. Ce serait soit une planète géante gazeuse comparable à Neptune ayant perdu son atmosphère d'hydrogène et d'hélium, soit une planète de ce type dont la formation s'est interrompue.

Nature, 2 juillet 2020

## CHIENS DE TRAÎNEAU ET LOUPS SIBÉRIENS

Il y a 8 000 ans, les ancêtres des Inuits ont commencé à se répandre de la Sibérie au Groenland. Et leurs chiens ? Mikkel-Holger Sinding, de l'université de Copenhague, et son équipe ont comparé les gènes de dix chiens de traîneaux groenlandais à ceux d'un chien de traîneau de 9 500 ans et d'un loup de 33 000 ans, tous deux sibériens. Il en ressort que les chiens de traîneau actuels ont hérité de gènes de loups sibériens anciens, mais pas de ceux de loups américains. Les premiers chiens de traîneau seraient donc sibériens.

Science, 26 juin 2020

# UN IMMENSE CENTRE CÉRÉMONIEL MAYA

Dans l'État mexicain du Tabasco, l'équipe de Takeshi Inomata, de l'université d'Arizona, a découvert ce qui pourrait être la plus grande structure maya préhispanique. Les chercheurs l'ont mise en évidence, ainsi que 21 autres terrassements similaires, en cartographiant précisément la forme du sol à partir de données acquises par lidar aéroporté. Les céramiques et outils d'obsidienne retrouvés sur place ont des affinités avec ceux des Mayas des Basses-Terres, qui vivaient à l'est.

Toutes ces structures datent d'entre 1000 et 800 avant notre ère, période de transition des habitants des futures Basses-Terres mayas vers un mode de vie paysan et sédentaire fondé sur la culture du maïs. Elles reproduisent toujours le même motif : une pyramide fait face à une plateforme rectangulaire située à l'est, dont elle est séparée par un long plateau rectangulaire – une place publique ? – orienté nord-sud et délimité par de petits monticules. Pendant les solstices, les coins orientaux du plateau oriental permettent de viser depuis le haut de la pyramide les lever et coucher du soleil ; les archéologues voient donc dans les 21 terrassements des centres cérémoniels, où les premiers Mayas célébraient des fêtes religieuses saisonnières.



Malgré son immense taille, la structure du centre cérémoniel d'Aguada Fénix, au Mexique, est difficilement reconnaissable dans le paysage moderne. On distingue à peine une plateforme au premier plan.

Situé sur le lieu-dit d'Aguada Fénix, le plateau du plus grand de ces centres cérémoniels mesure 1413 × 399 mètres et s'élève de 10 à 15 mètres au-dessus des environs ; face à sa pyramide occidentale, se trouve une plateforme orientale large de 401 mètres. Les chercheurs ont estimé que le terrassement de ces structures a mobilisé 3,2 à 4,3 millions de mètres cubes de terre... soit le travail d'une équipe de 1 000 personnes pendant 27 à 35 ans... ■

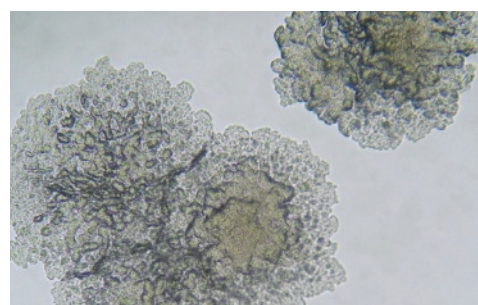
FRANÇOIS SAVATIER

T. Inomata et al., *Nature*, vol. 582, pp. 530-533, 2020 ; P. A. McAnany, *ibidem*, pp. 490-492

## MICROBIOLOGIE

# UNE ANCIENNE LIGNÉE DE TUBERCULOSE

Face à la tuberculose, la maladie infectieuse la plus meurtrière au monde, les chercheurs espèrent que la reconstitution des étapes évolutives du bacille impliqué, *Mycobacterium tuberculosis*, permettra de mettre le doigt sur des processus physiologiques et métaboliques critiques pour la virulence. Ceux-ci seront autant de cibles potentielles pour des traitements ou des vaccins. Ce bacille dériverait d'un ancêtre qui n'était pas aussi virulent et qui ressemblait à des bactéries cousines, *Mycobacterium canettii*, cantonnées géographiquement à la corne de l'Afrique. Jean Claude Semuto Ngabonziza, du centre biomédical du Rwanda, et ses collègues ont identifié en Afrique de l'Est deux souches exceptionnelles de tuberculose, appartenant à



Culture de bactéries *Mycobacterium tuberculosis* de la souche trouvée au Rwanda.

une lignée située, d'un point de vue évolutif, entre *M. canettii* et les autres lignées de *M. tuberculosis*. Ils ont identifié des gènes présents dans ces souches ancestrales et absents chez les autres, dont l'un est impliqué dans la synthèse de la vitamine B12. ■

NOËLLE GUILLON

J. C. Semuto Ngabonziza et al., *Nature Communications*, vol. 11, article 2917, 2020