

**POUR LA
SCIENCE**

www.pourlascience.fr

170 bis boulevard du Montparnasse – 75014 Paris
Tél. 01 55 42 84 00

Groupe POUR LA SCIENCE

Directrice des rédactions: Cécile Lestienne

POUR LA SCIENCE

Rédacteur en chef: Maurice Mashaal

Rédactrice en chef adjointe: Marie-Neige Cordonnier

Rédacteurs: François Savatier, Sean Bailly

HORS-SÉRIE POUR LA SCIENCE

Rédacteur en chef adjoint: Loïc Mangin

Développement numérique: Philippe Ribeau-Gésippe
Community manager: Aëla Keryhuël

Conception graphique: William Londiche

Directrice artistique: Céline Lapert

Maquette: Pauline Bilbault, Raphaël Queruel,

Ingrid Leroy, Charlotte Calament

Révisseuse: Anne-Rozenn Jouble

Marketing & diffusion: Charline Buché

Chef de produit: Eléna Delanne

Direction du personnel: Olivia Le Prévost

Secrétaire général: Nicolas Bréon

Fabrication: Marianne Sigogne et Zoé Farré-Vilalta

Directeur de la publication et gérant: Frédéric Mériot

Anciens directeurs de la rédaction: Françoise Pétry

et Philippe Boulanger

Conseiller scientifique: Hervé This

Ont également participé à ce numéro:

Maud Bruguère, Pauline Colinet, Denis Duboule, Alexis Duchesne, Bruno Faivre, Ian Hogg, Paul Indelicato, Julien Masbou, Fabrice Mottez, Jérôme Novak, Philip Supply, Martino Trassinelli, Caroline Vanhoove

PRESSE ET COMMUNICATION

Susan Mackie

susan.mackie@pourlascience.fr • Tél. 01 55 42 85 05

PUBLICITÉ France

stephanie.jullien@pourlascience.fr

ABONNEMENTS

Abonnement en ligne: <https://boutique.pourlascience.fr>

Courriel: pourlascience@abopress.fr

Tél. 03 67 07 98 17

Adresse postale:

Next2C – Service abonnements Pour La Science

26 BD Président Wilson

CS 4003267085 Strasbourg cedex

Tarifs d'abonnement 1 an (12 numéros)

France métropolitaine: 59 euros – Europe: 71 euros

Reste du monde: 85,25 euros

DIFFUSION

Contact kiosques: À Juste Titres; Stéphanie Troyard

Tél. 04 88 15 12 48

Information/modification de service/réassort:

www.direct-editeurs.fr

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in chief: Laura Helmuth

President: Dean Sanderson

Executive vice president: Michael Florek

Toutes demandes d'autorisation de reproduire, pour le public français ou francophone, les textes, les photos, les dessins ou les documents contenus dans la revue «Pour la Science», dans la revue «Scientific American», dans les livres édités par «Pour la Science» doivent être adressées par écrit à «Pour la Science S.A.R.L.», 162 rue du Faubourg Saint-Denis, 75010 Paris.

© Pour la Science S.A.R.L. Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et de représentation réservés pour tous les pays. La marque et le nom commercial «Scientific American» sont la propriété de Scientific American, Inc. Licence accordée à «Pour la Science S.A.R.L.».

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement la présente revue sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français de l'exploitation du droit de copie (20 rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

Origine du papier: Autriche

Taux de fibres recyclées: 30%

«Eutrophisation» ou «Impact sur l'eau»: P_{tot} 0,007 kg/tonne



Certifié PEFC

Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées.

10-31-1282

pefc-france.org

**É
DITO**



**MAURICE
MASHAAL**
Rédacteur
en chef

INTROSPECTIONS GALACTIQUES

Ceux qui ont la chance, de plus en plus exceptionnelle, de se trouver dans un endroit dépourvu de pollution lumineuse ont la possibilité de contempler des ciels nocturnes profonds et abondamment constellés. Et pour peu qu'ils aient une idée réaliste de la nature des points lumineux criblant la voûte céleste et de leurs colossales distances, le spectacle invite à la méditation sur l'immensité du cosmos... et sur notre insignifiance.

La vue d'un beau ciel nocturne fait ressortir un autre élément spectaculaire: cette large traînée blanchâtre qu'est la Voie lactée et qui correspond à la galaxie où nous nous trouvons. Comme des myriades d'autres galaxies, elle contient quelques centaines de milliards d'étoiles. Mais à quoi ressemble-t-elle vue de l'extérieur, loin et hors de son plan? Et quelle position occupons-nous dans ce gigantesque édifice?

Malgré les difficultés liées au fait que nous la voyons de l'intérieur et par la tranche, on savait que la Voie lactée est de la famille des galaxies spirales: une sorte de disque qui présente des bras lumineux partant de la région centrale et courbés en spirale, où naissent un grand nombre d'étoiles. Combien de bras? Avec une «barre» centrale ou non? Jusque récemment, le flou régnait sur ces questions et bien d'autres.

De grands programmes d'observation, impliquant des réseaux de radiotélescopes et le satellite *Gaia*, de l'Agence spatiale européenne, qui a cartographié en trois dimensions près de deux milliards d'étoiles, ont dernièrement abouti à un portrait beaucoup plus précis de notre galaxie (voir pages 20 à 33). *Gaia* a même fait de l'archéologie galactique en fournissant des indices sur le passé lointain de la Voie lactée et ses collisions avec d'autres galaxies – dont l'une est peut-être à l'origine du Système solaire... Comme quoi, en l'absence de regard extérieur, les efforts d'introspection peuvent être étonnamment fructueux! ■

SOMMAIRE

N° 514 /
Août 2020

ACTUALITÉS

P. 6

ÉCHOS DES LABOS

- Des neurones Q pour hiberner
- GW190814, un signal doublement atypique
- Un nouvel atome exotique à la loupe
- Un immense centre cérémoniel maya
- Une goutte en lévitation sur un fluide
- Dichromatisme chez le canari
- Un noyau pas si magique
- Pseudo-embryons en laboratoire

P. 14

LES LIVRES DU MOIS

P. 16

HOMO SAPIENS INFORMATICS

Les prophètes du web

Gilles Dowek

P. 18

QUESTIONS DE CONFIANCE

Des masques aux usages dévoyés
Virginie Tournay

GRANDS FORMATS



P. 38

ARCHÉOLOGIE

L'ENFANT AU COLLIER DE BA'JA

Marion Benz

Il y a 9000 ans, les habitants d'un village néolithique à Ba'ja, en Jordanie, ont enterré un enfant orné d'un collier de 2600 perles dans une tombe soigneusement édifiée. Que révèle ce traitement spectaculaire?



P. 56

ÉCOLOGIE

LES SOLS AUX BONS SOINS DES COLLEMBOLLES

Jérôme Cortet

Tout petits arthropodes souvent méconnus, les collemboles abondent dans les sols et contribuent à la qualité de ces derniers. Ces animaux ont ainsi acquis une place privilégiée en écologie théorique et appliquée.



P. 46

ÉCONOMIE

COMMENT CALCULER LA TAXE CARBONE?

Gilbert E. Metcalf

La lutte contre le changement climatique est un point important de la campagne présidentielle américaine. L'un des enjeux est d'établir une taxe pratique qui fera baisser les émissions de dioxyde de carbone. Reste à trouver le juste prix...

P. 64

BIOLOGIE

TULLBERGIA, SURVIVANT DE L'EXTRÊME

Douglas Fox

Une espèce de collemboule, minuscule animal apparenté aux insectes, a survécu à plus de trente périodes glaciaires dans les terres les plus rudes de l'Antarctique. Comment expliquer cette prouesse?



POUR LA
SCIENCE.FR
LETTRE D'INFORMATION

NE MANQUEZ PAS
LA PARUTION DE
VOTRE MAGAZINE
GRÂCE À LA NEWSLETTER

- Notre sélection d'articles
- Des offres préférentielles
- Nos autres magazines en kiosque



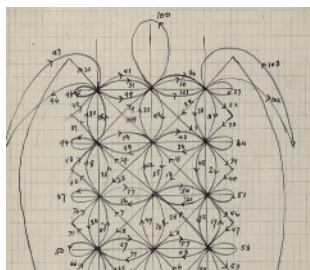
Inscrivez-vous
www.pourlascience.fr



En couverture:
© Ron Miller (Voie Lactée)
© Igor Siwanowicz (Tullbergia)

Les portraits des contributeurs sont de Seb Jarnot

Ce numéro comporte un encart d'abonnement *Pour la Science*, jeté en cahier intérieur, sur toute la diffusion kiosque en France métropolitaine. Il comporte également un courrier de réabonnement, posé sur le magazine, sur une sélection d'abonnés.



P.72

HISTOIRE DES SCIENCES

DES ETHNOLOGUES AU PAYS DES MATHÉMATIQUES

Eric Vandendriessche
et Céline Petit

Dès la fin du XIX^e siècle, les anthropologues se sont intéressés à l'art de compter dans les sociétés non occidentales. Mais il a fallu plusieurs décennies pour que mathématiciens et anthropologues étudient les pratiques mathématiques de ces sociétés.



CAHIER PARTENAIRE
PAGES I À III (APRÈS P. 34)

Accident nucléaire

Comment contenir le cœur fondu d'un réacteur?

Parrainé par

IRSN

À LA UNE

ASTROPHYSIQUE



P.20

COMBIEN DE BRAS POUR LA VOIE LACTÉE?

Mark J. Reid et Xing-Wu Zheng

La structure de notre galaxie ne nous est pas bien connue. Mais à l'aide de radiotélescopes, les astronomes viennent d'en brosser un portrait plus précis, où se dessinent mieux les bras spiraux et la position du Système solaire.

P.30

« LE SYSTÈME SOLAIRE EST PEUT-ÊTRE NÉ D'UNE COLLISION GALACTIQUE »

Entretien avec Carine Babusiaux

Le satellite *Gaia* livre de nombreuses informations sur la Voie lactée, sa structure, l'histoire de sa formation... et celle du Système solaire. Carine Babusiaux nous présente les résultats les plus récents de cette mission.

RENDEZ-VOUS

P.80

LOGIQUE & CALCUL

DANS LES ARCANES DES TRIPLETS PYTHAGORIENS

Jean-Paul Delahaye

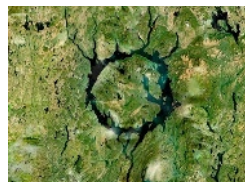
La géométrie des triangles rectangles a entraîné l'arithmétique des triplets pythagoriciens, connus depuis au moins deux millénaires. Ces triplets suscitent de nombreuses questions, qui ne sont pas toutes résolues.

P.86

ART & SCIENCE

Une météorite dans l'œil

Loïc Mangin



P.88

IDÉES DE PHYSIQUE

En route vers Mars! Mais quelle route?

Jean-Michel Courty
et Édouard Kierlik

P.92

CHRONIQUES DE L'ÉVOLUTION

Le plus vieux parasite du monde

Hervé Le Guyader

P.96

SCIENCE & GASTRONOMIE

Beurre et huile, oc et oïl réconciliés

Hervé This

P.98

À PICORER

A

CTUALITÉS

P. 6 Échos des labos

P. 14 Livres du mois

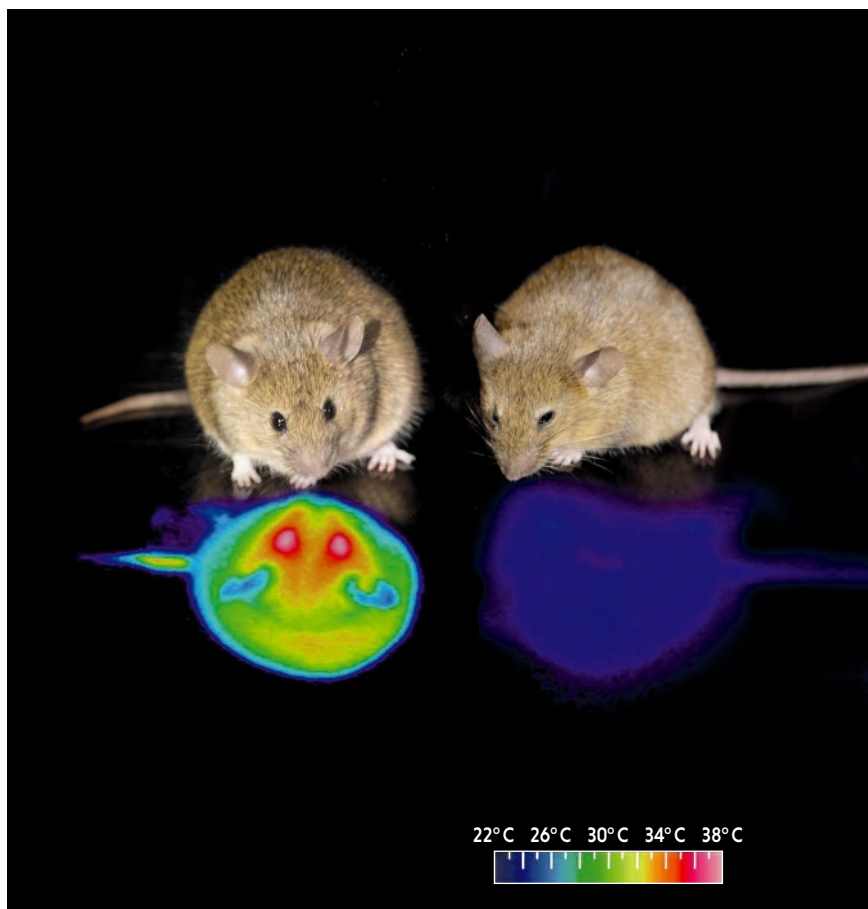
P. 16 *Homo sapiens informaticus*

P. 18 Questions de confiance

NEUROSCIENCES

DES NEURONES Q POUR HIBERNER

Une souris témoin (à gauche) à côté d'une souris placée dans un état de torpeur. Chacune est associée à son image infrarouge qui indique sa température corporelle. Comme pour les animaux qui hibernent, la souris à droite a une température inférieure de près de 10 °C à la normale.



Deux équipes ont identifié une population de neurones qui, une fois activés, suffisent à plonger des souris en hypothermie profonde, une forme d'hibernation.

Des personnes se réveillent et sortent de caissons vitrés après plusieurs années de voyage spatial, ou quelques mois de confinement imposé... Pure science-fiction? Peut-être plus pour très longtemps, si l'on en croit la découverte récente de deux équipes indépendantes, celle de Takeshi Sakurai, de l'université de Tsukuba, au Japon, et celle de Michael Greenberg, de la faculté de médecine de Harvard, à Boston: elles ont montré qu'il est possible de plonger certains mammifères dans un état de

torpeur proche de l'hibernation, en activant une population de neurones, les neurones Q.

La température corporelle des mammifères est stable, car rigoureusement contrôlée, et oscille un peu autour d'une valeur fixe. Cependant, dans des conditions difficiles d'approvisionnement en nourriture, certaines espèces hibernent: l'animal s'endort et sa température corporelle chute de 5 à 10 °C, voire davantage, ce qui limite les dépenses d'énergie. On pense évidemment à l'ours, mais c'est aussi le cas de la souris: cet animal entre parfois dans un état de torpeur qui dure

en général moins de 24 heures. Dans cet état, sa température corporelle chute, son métabolisme diminue, ses rythmes cardiaque et respiratoire ralentissent.

Les chercheurs japonais et américains ont utilisé cette capacité des souris à «hiberner» sur de courtes périodes de temps afin de comprendre les mécanismes fins de la régulation thermique chez les mammifères. En effet, jusque-là, on savait seulement qu'une région cérébrale précise, le noyau préoptique médian de l'hypothalamus, était impliquée dans ce phénomène.

L'équipe japonaise a d'abord identifié chez des souris une population de neurones excitateurs de cette région, qui expriment un peptide, l'amide pyroglutamate RF, ou QRFP. Par différentes techniques, les chercheurs ont activé ces

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

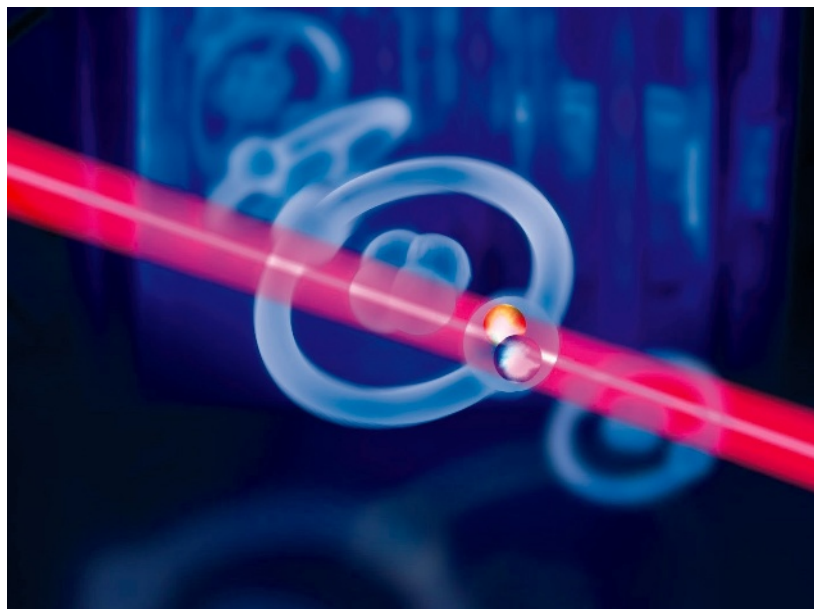
UN NOUVEL ATOME EXOTIQUE À LA LOUPE

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.

Prenez 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 (26×10^{-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 PUITTS 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 depuis un mode de vie de chasseurs-cueilleurs 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 immensité, 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.

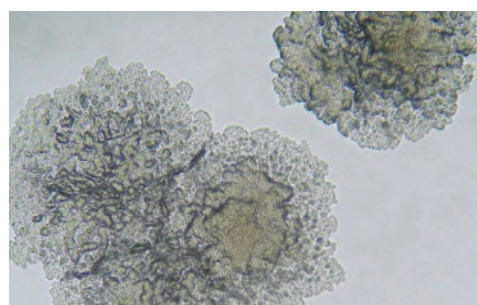
Situé sur le lieu-dit d'Aguada Fénix, le plateau du plus grand de ces centres cérémoniels mesure 1413 × 399 mètres et s'élève de 10 à 15 mètres au-dessus des environs ; face à sa pyramide occidentale, se trouve une plateforme orientale large de 401 mètres. Les chercheurs ont estimé que le terrassement 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

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

PHYSIQUE

UNE GOUTTE EN LÉVITATION SUR UN FLUIDE

Quand une goutte d'eau tombe sur une poêle chauffée à un peu plus de 100°C , elle s'évapore en quelques secondes. Mais si on chauffe la poêle jusqu'à environ 200°C , la goutte s'agite dans tous les sens sur la surface et mettra jusqu'à une minute pour s'évaporer. En réalité, la goutte lévite: en se vaporisant progressivement, l'eau forme une couche de vapeur sous la goutte, couche sur laquelle elle flotte. Ce phénomène est connu sous le nom d'«effet Leidenfrost». Il est possible de réaliser ce phénomène avec une goutte sur un bain liquide (*ci-contre, une goutte d'éthanol incluant un colorant rouge sur de l'huile de silicone*). Benjamin Sobac, de l'université libre de Bruxelles, et ses collègues ont analysé les mouvements de convection qui se mettent en place dans le bain chaud.

Les physiciens ont constaté que sous la goutte, l'effet Leidenfrost entraîne au sein du bain la formation d'un vortex de convection toroïdal et d'axe vertical. Ils ont identifié trois mécanismes entrant en jeu: la force d'entraînement de la vapeur qui se forme sous la goutte et s'échappe vers l'extérieur (elle entraîne le fluide du centre vers l'extérieur), la poussée d'Archimède (la vaporisation de la goutte induisant un transfert de chaleur du bain vers la goutte, le liquide du bain est localement plus froid sous la goutte; étant donc plus dense, il se déplace vers le bas) et l'effet Marangoni (la variation de la température locale à la surface du liquide fait varier la tension superficielle qui tend à ramener le liquide vers le centre). Selon les propriétés de la goutte (densité, volatilité, etc.), les mécanismes dominants diffèrent et le vortex tourne dans un sens ou dans l'autre. ■

S. B.

B. Sobac et al., *Physical Review Fluids*, vol. 5, article 062701, 2020

