

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



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

NEUROSCIENCES

A

CTUALITÉS

P. 6 Échos des labos

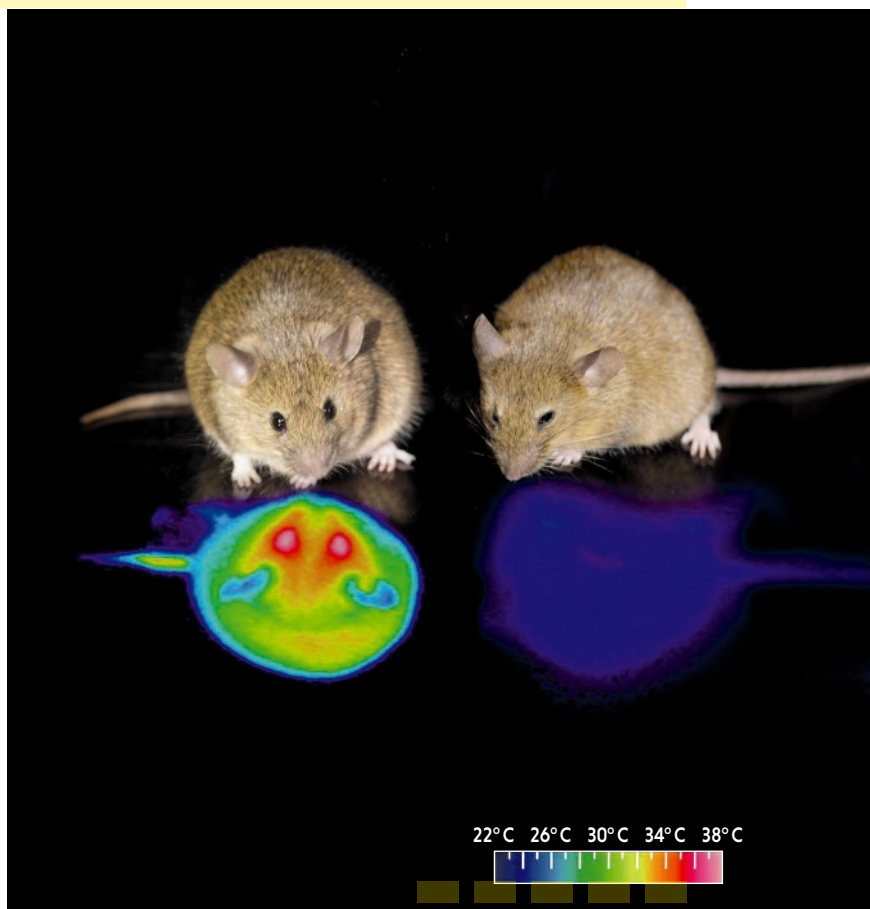
P. 14 Livres du mois

P. 16 Homo sapiens informaticus

P. 18 Questions de confiance

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