

MICROBIOLOGIE

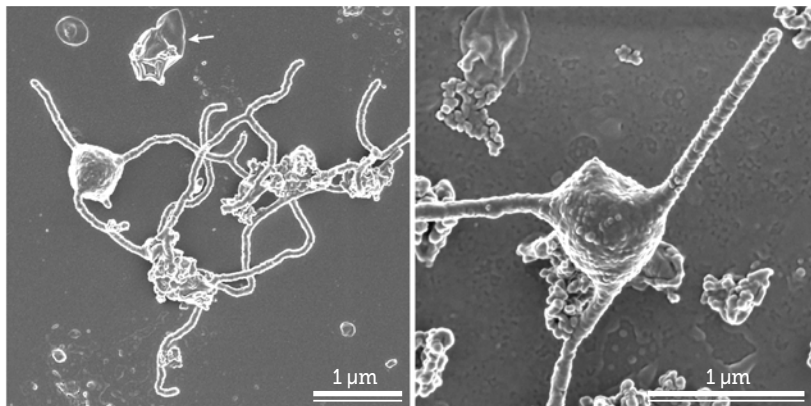
DES ARCHÉES D'ASGÅRD ENFIN EN CULTURE

Mises au jour en 2015, les archées d'Asgård n'étaient connues que par des fragments de génome. Des biologistes ont réussi à cultiver et observer ces microorganismes.

Il a fallu douze ans à Hiroyuki Imachi, de l'Agence japonaise de sciences et technologies terrestres marines, et ses collègues pour obtenir une culture d'un organisme très attendu des biologistes de l'évolution : une archée d'Asgård. Les archées – l'un des trois grands domaines du vivant, aux côtés des bactéries et des eucaryotes (dont nous faisons partie) – sont connues depuis plus de quarante ans. Mais celles d'Asgård n'ont été mises au jour que récemment, en 2015, et doivent leur nom au lieu de leur découverte : le château de Loki, des sources hydrothermales au large du Groenland. Toutefois, personne n'avait encore observé ces microorganismes. Leur description ne reposait que sur l'analyse de fragments de génomes récoltés dans les sédiments.

Cela n'avait pas empêché les biologistes de l'évolution de s'emparer de cette nouvelle branche du vivant, très intrigante. En effet, d'après l'analyse génomique, les archées d'Asgård s'étaient révélées les plus proches parents des eucaryotes : si elles n'avaient *a priori* ni noyau ni mitochondries (usines à énergie des cellules), elles arboraient des protéines que l'on pensait spécifiques des eucaryotes, impliquées dans la formation de vésicules ou d'un cytosquelette. Le dernier ancêtre commun de tous les eucaryotes leur ressemblait donc peut-être...

Mais sans preuve concrète, tout cela restait très hypothétique. C'est ce que l'équipe japonaise a fourni. Fin 2006, bien avant la découverte des archées d'Asgård, elle avait mis en culture des échantillons de sédiments prélevés en mer profonde au sud du Japon, dans des zones d'émission de méthane. Son objectif était d'étudier les microorganismes de ces régions extrêmes. Ses conditions de culture imitaient donc celles du lieu de prélèvement. Au bout de cinq années, une communauté de microorganismes avait enfin assez prospéré pour qu'elle en cultive des échantillons dans des tubes en verre, sous diverses conditions. Il fallut attendre une année pour que l'un de ces tubes se trouble, signe que des microorganismes s'y étaient multipliés. Alors, patiemment, par cultures successives, l'équipe a abouti à une culture contenant trois microorganismes : une bactérie *Halodesulfobivrio* capable de réduire le sulfate, une archée *Methanogenium* productrice de méthane



Au microscope électronique, l'archée d'Asgård cultivée ressemble à une très petite bactérie arrondie de 550 nanomètres de diamètre en moyenne. Elle présente parfois de curieux prolongements.

14 à 25 JOURS

EN CULTURE, L'ARCHÉE D'ASGÅRD DE HIROYUKI IMACHI ET SES COLLÈGUES DOUBLE SA POPULATION EN APPROXIMATIVEMENT 14 À 25 JOURS, CONTRE QUELQUES DIZAINES DE MINUTES À QUELQUES HEURES POUR D'AUTRES ARCHÉES.

(méthanogène) et... une archée d'Asgård. Puis les biologistes ont réussi à cultiver les deux archées ensemble, sans la bactérie.

Les deux archées vivent en syntrophie, une symbiose où l'une nourrit l'autre. L'archée d'Asgård est, de plus, aussi capable de vivre en syntrophie avec la bactérie *Halodesulfobivrio*. En s'appuyant sur ces observations, les biologistes ont proposé un nouveau modèle d'apparition des eucaryotes : avant l'oxygénation massive de l'atmosphère, il y a environ 2,4 milliards d'années, les archées d'Asgård vivaient en syntrophie avec des archées méthanogènes. Puis, quand les océans se sont oxygénés, une symbiose plus avantageuse s'est mise en place entre des archées d'Asgård et des bactéries réductrices de sulfate. Certaines archées ont aussi commencé des échanges avec des bactéries utilisant l'oxygène, jusqu'à les envelopper de prolongements (tels ceux observés en culture, voir ci-dessus) et former un microorganisme comportant une sorte de noyau – le matériel génétique de l'archée encerclé d'une membrane – et une bactérie endosymbiotique – l'ancêtre des mitochondries.

L'équipe japonaise n'en est pas au premier microorganisme découvert grâce à sa méthode. Peut-être isolera-t-elle d'autres membres du groupe d'Asgård ? Car il en faudra encore beaucoup pour confirmer son scénario. ■

M.-N. C.

H. Imachi et al., *Biorxiv*, 6 août 2019
<https://doi.org/10.1101/726976>

EN BREF

UNE FORÊT NOIRE DE CARBONE

En cherchant à améliorer la conductivité thermique et électrique d'une surface d'aluminium, Brian Wardle et Kehang Cui, du MIT (l'institut de technologie du Massachusetts), ont fortuitement créé un matériau qui bat le record de noirceur. Absorbant environ 99,995 % de la lumière, contre 99,965 % pour le Vantablack, il est constitué d'une « forêt » de nanotubes de carbone. Le mécanisme sous-jacent n'est pas totalement compris, mais des applications optiques contre la lumière parasite en astronomie sont déjà envisagées.

PLUIE D'OBJETS INTERSTELLAIRES

Après 'Oumuamua en 2017, un second objet d'origine interstellaire, 2I/Borisov, a été observé dans le Système solaire en août 2019. Comment ces corps sont-ils arrivés ici ? Pour Gregory Laughlin et Malena Rice, de l'université Yale, des protoplanètes massives et éloignées de leur étoile éjecteraient ces corps hors de leur système planétaire. Ces objets venus de loin seraient même plus nombreux qu'on ne le pense et seraient une source d'information précieuse sur les milieux où ils sont nés.

DES MOUSTIQUES GRANDS VOYAGEURS

On pensait que les moustiques voyageaient près du sol et parcouraient au plus quelques kilomètres au cours de leur vie. L'équipe de Tovi Lehmann, de l'Institut américain pour les allergies et les maladies infectieuses, aux États-Unis, a montré que certaines espèces africaines parcouraient jusqu'à 295 kilomètres en une nuit, en se laissant porter par des courants aériens jusqu'à 290 mètres de hauteur. Cette découverte surprenante expliquerait leur retour rapide au Sahel après la saison sèche et permettrait de mieux comprendre la propagation de certaines maladies.

GÉOSCIENCES

UN SUIVI DU POINT CHAUD DES AÇORES

Hawaii, la Réunion, l'Islande... Autant d'îles volcaniques engendrées par un point chaud, c'est-à-dire par la remontée d'un panache de roches chaudes d'origine très profonde. Quand le panache arrive près de la surface, la pression diminue et les roches fondent partiellement en un magma, ce qui peut donner des volcans. Les géologues ont longtemps pensé que ces points chauds étaient fixes, et ils les ont donc utilisés pour étudier le mouvement absolu des plaques tectoniques. Mais depuis plusieurs années, de nombreux indices ont remis en cause cette hypothèse. Maëlis Arnould, de l'École normale supérieure, à Paris, et ses collègues ont ainsi voulu suivre le point chaud de l'archipel portugais des Açores, dans l'Atlantique.

Les chercheurs ont d'abord étudié la zone anormalement chaude autour de ces îles. Elle s'étend de façon asymétrique et s'étale sur 2000 kilomètres au sud des Açores et sur 600 kilomètres au nord. Cette distribution témoigne d'un déplacement du point chaud, mais il restait à le distinguer du mouvement de la plaque tectonique et à le quantifier.

Les chercheurs ont alors développé un modèle numérique en trois dimensions des mouvements de roches dans le manteau terrestre, qui prend en compte les déplacements éventuels des



Les Açores sont des îles volcaniques nées de l'activité d'un point chaud au large du Portugal.

plaques tectoniques et des points chauds. Sachant, grâce à d'autres observations, que la plaque tectonique se déplace vers le nord, les chercheurs ont déduit que la seule configuration qui rende compte des observations est celle où le point chaud se déplacerait aussi vers le nord, mais plus rapidement que la plaque, à une vitesse estimée de 1 à 2 centimètres par an. L'étude des anomalies thermiques fournit ainsi de précieux renseignements sur les mouvements des points chauds. Mais la cause de ces mouvements, qui s'ancrent très profondément dans le manteau terrestre, reste pour l'instant une énigme. ■

NICOLAS BUTOR

M. Arnould et al., *Nature Communications*, vol. 10, article 3235, 2019

CHIMIE

DES « GEMMES » POUR LA CATALYSE

Les piles à combustible dépendent de façon cruciale de processus qui sont catalysés grâce à des nanoparticules. Or les modes de production actuels des nanoparticules métalliques (par thermolyse, c'est-à-dire par chauffage à environ 1000 °C) produisent des catalyseurs aux performances moyennes.

En principe, la forme des nanoparticules peut avoir une influence sur leurs propriétés. Liliang Huang et ses collègues, de l'université Northwestern, aux États-Unis, ont mis au point une nouvelle méthode pour produire des composés qui prennent la forme de cristaux tétra-kihexaédriques, des solides réguliers à 24 faces. Les chercheurs ont modifié les stratégies classiques de thermolyse. Ils ont ajouté un élément annexe (plomb, bismuth, antimoine ou tellure) qui se mélange au métal principal pour produire



Ces nanoparticules métalliques (en fausses couleurs) à 24 faces sont des catalyseurs efficaces.

des tétra-kihexaédres. En poursuivant le chauffage, l'élément annexe se vaporise et laisse des nanoparticules pures. Les tests montrent que ce nouveau matériau est 20 fois plus efficace que les catalyseurs commerciaux classiques des piles à combustible. ■

MARTIN TIANO

L. Huang et al., *Science*, vol. 365, pp. 1159-1163, 2019

EN IMAGE

LA BLANCHEUR LA PLUS ÉCLATANTE

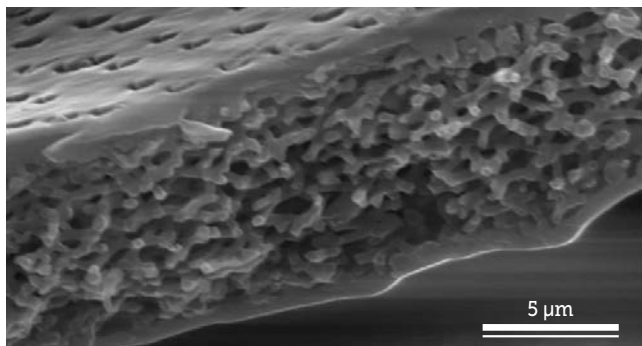
Les minuscules écailles qui recouvrent la carapace des coléoptères asiatiques de l'espèce *Lepidiotia stigma* (ci-contre, gros plan sur la tête et le thorax) ou du genre *Cyphochilus* sont d'une blancheur extrême, parmi les blancs les plus éclatants que l'on connaisse. Une équipe, majoritairement britannique, menée par Andrew Parnell, de l'université de Sheffield, vient d'étudier leur structure, puis a synthétisé un matériau polymère qui imite celle-ci.

L'examen des écailles a été effectué par nanotomographie aux rayons X à l'ESRF, le synchrotron européen situé à Grenoble. Il a montré que ces éléments très opaques sont faits de chitine poreuse où l'air occupe environ 69% (pour *Cyphochilus*) et 66% (pour *L. stigma*) du volume. Comme l'indiquent des calculs théoriques et des simulations numériques, cette structure (voir l'image ci-dessous) diffuse et réfléchit très bien la lumière, d'où sa blancheur éclatante. La blancheur optimale correspondrait à une architecture de même type où l'air occuperait 75% du volume.

Andrew Parnell et ses collègues ont aussi montré que ces structures rappellent celles produites par «décomposition spinodale», un processus où un mélange homogène de deux liquides se dissocie, à l'échelle microscopique, en ses composants. Les chercheurs ont alors synthétisé un film mince, par décomposition spinodale d'un mélange à base d'acétate de cellulose et de dichlorure de calcium, puis vitrification. D'une douzaine de micromètres d'épaisseur comme les écailles, cette couche solide présente une blancheur encore plus éclatante (sa réflectance est d'environ 94%, contre 90% et 88% pour les écailles des deux coléoptères). Un tel matériau pourrait avantageusement servir de substitut aux nanoparticules de dioxyde de titane (TiO_2), utilisées notamment dans les peintures blanches et en tant qu'additif alimentaire, mais soupçonnées de toxicité. ■

MAURICE MASHAAL

S. Burg et al., *Communications Chemistry*,
vol. 2, article 100, 2019





© S. Burg et al., Nature - Communications Chemistry, vol. 2, 100, 2019

ÉTHOLOGIE

DES RATS QUI JOUENT À CACHE-CACHE

Les enfants de toutes les cultures humaines connaissent et pratiquent le jeu de cache-cache. Mais est-il l'apanage des humains? Pas forcément: Annika Reinhold, de l'université Humboldt de Berlin, et ses collègues ont entraîné de jeunes rats à jouer à cache-cache avec eux – à trouver un abri, mais aussi à débusquer les chercheurs qui se cachaient.

Durant la phase d'apprentissage qui n'a duré que deux semaines, les rongeurs ont gagné en vitesse. Ils ont aussi fait montre d'une profonde compréhension des règles du jeu, et même de stratégie. Ils menaient leurs recherches de façon systématique, en commençant par des cachettes déjà visitées. Quand ils se cachaient, ils choisissaient des boîtes opaques plutôt que transparentes et restaient très silencieux.

Les rats ont exprimé beaucoup d'enthousiasme, qui se traduisait par des bonds de joie et des sons expressifs. Pour cette raison, Annika Reinhold et ses collègues pensent que les rats jouaient pour le plaisir de jouer, et non par quête de récompense.



Six rats ont appris à jouer à cache-cache, à s'abriter ou à débusquer leurs partenaires de jeu : les chercheurs!

Des analyses neuronales durant le déroulement du jeu ont montré une forte activité du cortex préfrontal qui variait en fonction du rôle endossé par le rat, ce qui suggère que ce type d'activité est bien ancré dans l'histoire évolutive de ces animaux. Il reste cependant à élucider de nombreuses questions quant aux mécanismes cognitifs et physiologiques impliqués dans ce comportement. ■

WILLIAM ROWE-PIRRA

A. Reinhold *et al.*, *Science*, vol. 365, pp. 1180-1183, 2019

EN BREF

TITAN : DES CRATÈRES D'EXPLOSION

Sur Titan, la plus grosse lune de Saturne, certains lacs de méthane se sont formés dans des cratères, mais ces derniers ne sont pas tous le fruit d'impacts. C'est ce qu'avance l'équipe de Giuseppe Mitri, de l'université de Chieti, en Italie : certains seraient nés lors d'explosions souterraines ! Cependant, comme l'atmosphère de Titan ne contient pas de dioxygène, elles ne peuvent être le résultat d'un phénomène de combustion. Après avoir étudié les lacs ayant des bords très abrupts, les chercheurs pensent que des poches d'azote liquide ont été réchauffées par l'activité géologique de la planète. La détente violente liée au passage rapide de l'azote à l'état gazeux suffirait à expliquer la forme de ces cratères.

LUCAS GIERCZAK



TRIBUNES

VIVRE AVEC
LES RISQUES
30 novembre 2019

TRIBUNES
DU MUSÉUM

VIVRE AVEC LES RISQUES

Samedi 30 novembre de 15h à 17h

Marcher, habiter, manger, boire... sont autant de risques que nous prenons tous les jours. À l'heure d'une société sous contrôle, comment accepter les risques? Des catastrophes naturelles aux risques sanitaires: quels impacts ont-ils sur nos modes de vie? Les Tribunes permettront d'aborder ces questions de manière collaborative et collective pour mieux en comprendre les enjeux.

Jardin des Plantes
Amphithéâtre Verniquet
57 rue Cuvier, Paris 5^e

Entrée gratuite

PAR LA
SCIENCE

CLIMAT : LE RÔLE MODÉRATEUR DES OCÉANS S'AMENUISE

Le Giec vient de dresser un panorama détaillé de l'évolution des océans et de la cryosphère dans le contexte du réchauffement climatique, et de son impact sur les populations.

Hausse du niveau de la mer, réchauffement, acidification, fonte des glaciers... Pour faire le point sur la situation actuelle et les projections d'évolution, dans les décennies à venir, des océans et de la cryosphère (les régions gelées de la planète), une centaine de chercheurs de 36 pays ont analysé quelque 7000 publications scientifiques. Leurs conclusions font l'objet d'un rapport spécial du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).

L'un des principaux messages de ce rapport est que l'océan a joué jusqu'à présent un rôle modérateur dans le réchauffement climatique : depuis les années 1970, il a absorbé plus de 90% de l'excès de chaleur produit par l'effet de serre d'origine anthropique. Il pourrait encore capter jusqu'à 5 à 7 fois plus de chaleur d'ici à 2100. Mais cela n'est pas sans conséquence : depuis 1993, la vitesse de réchauffement des océans a plus que doublé. Et, par exemple, la fréquence et l'intensité des vagues de chaleur océaniques ont augmenté.

Cet accroissement de la température s'accompagne d'une acidification (par l'absorption du dioxyde de carbone atmosphérique, estimée à entre 20 et 30% des émissions anthropiques depuis les années 1980) et d'une diminution de la teneur en oxygène des eaux. L'ensemble de ces effets a un impact fort sur les écosystèmes et constitue une menace pour la biodiversité marine. Les différentes études prévoient une baisse de la biomasse de 15% d'ici à la fin du siècle. Ces phénomènes se répercuteront sur l'industrie de la pêche et les populations qui en vivent – plus de trois milliards de personnes dépendent des ressources alimentaires des océans.

L'autre volet du rapport est l'évolution de la cryosphère. De façon globale, elle est en recul sous l'influence directe de la hausse de la température de l'air. Tous les milieux sont touchés : l'Arctique, l'Antarctique, le Groenland, le pergélisol, les glaciers de montagnes. Avec la fonte des glaces, associée à l'expansion thermique des océans, le niveau de la mer, qui augmentait de 3,6 millimètres par an durant la dernière décennie, continuera de croître, mais



Dans une étude récente, Inès Dussaillant, du laboratoire Legos, à Toulouse, et ses collègues ont montré que la presque totalité des 19000 glaciers andins sont en recul (ici, Upsala, en Argentine).

+ 7 °C

TELLE EST, SI LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE NE SONT PAS MAÎTRISÉES, LA HAUSSE DE TEMPÉRATURE GLOBALE QUE L'ON POURRAIT ATTEINDRE EN 2100 (PAR RAPPORT À L'ÈRE PRÉINDUSTRIELLE). CETTE PRÉVISION EST CELLE DE DEUX NOUVEAUX MODÈLES CLIMATIQUES ÉLABORÉS DANS DES LABORATOIRES FRANÇAIS.

Source : http://bit.ly/PLS505_Clim7

à un rythme plus soutenu. Son amplitude dépendra fortement des politiques qui seront menées pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Mais l'estimation moyenne pour la hausse globale serait de 0,84 mètre en 2100. Ces estimations sont plus élevées que celles du précédent rapport du Giec (en 2013), notamment parce que la fonte de l'Antarctique et du Groenland a été affinée et réévaluée à la hausse.

Dans un tel contexte, on peut s'attendre à voir une augmentation de la fréquence d'inondations exceptionnelles. Certaines îles et villes côtières situées à faible élévation seraient alors fortement menacées – sachant que près de 11% de la population mondiale vit à moins de 10 mètres au-dessus du niveau de la mer.

« Malgré des projections d'impact très inquiétantes si les rejets de gaz à effet de serre ne sont pas réduits drastiquement et rapidement, ce rapport fournit un message positif. Il montre qu'un scénario d'émission compatible avec l'accord de Paris permettrait de stabiliser ou modérer les impacts. L'état de l'océan futur est donc entre nos mains », conclut Jean-Pierre Gattuso, l'un des auteurs du rapport et directeur de recherche du CNRS à Sorbonne-Université et à l'Iddri. ■

SEAN BAILLY

Rapport spécial du Giec :
<https://www.ipcc.ch/srocc/home/>

ASTROPHYSIQUE

LA SPECTROSCOPIE DES TROUS NOIRS EST NÉE

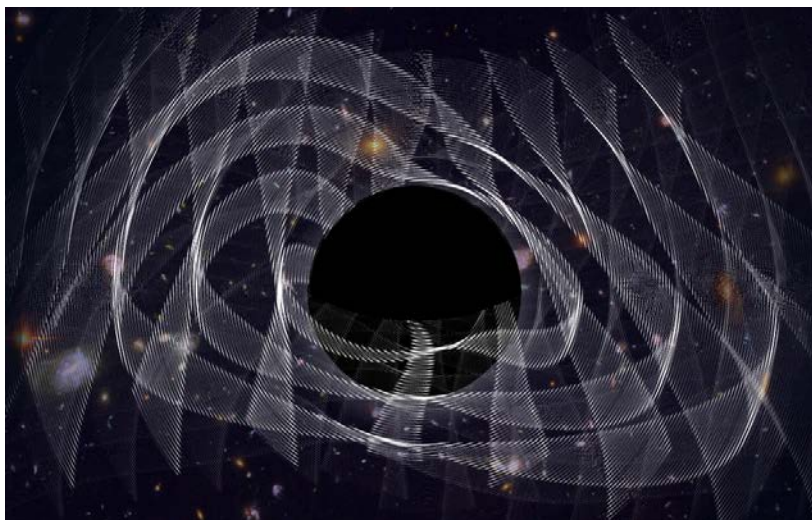
En analysant les ondes gravitationnelles émises par un trou noir en vibration, une équipe d'astrophysiciens a pu déterminer les caractéristiques de l'astre.

Le 14 septembre 2015, l'interféromètre laser géant *Ligo*, aux États-Unis, a enregistré pour la première fois un signal d'ondes gravitationnelles, ces vibrations de l'espace-temps prévues par la théorie de la relativité générale d'Albert Einstein. La collaboration internationale *Ligo-Virgo* a montré que ce signal, noté GW150914, provenait de la fusion de deux trous noirs qui ont donné naissance à un nouveau trou noir plus massif. Ce dernier, étant très déformé, s'est mis à vibrer pendant une brève phase de transition de façon à réorganiser sa structure, une phase nommée *ringdown*. Le système émet des ondes gravitationnelles pendant tout le processus de coalescence. Mais il était difficile d'isoler celles correspondant à ces vibrations finales. Avec ses collègues, Maximiliano Isi, du MIT (l'institut de technologie du Massachusetts) et de la collaboration *Ligo*, a proposé une nouvelle méthode pour isoler ces signaux.

À l'image d'une cloche, le trou noir en vibration émet un ensemble d'ondes gravitationnelles qui s'amortissent très vite et qui présentent un spectre spécifique de fréquences, nommées modes quasi normaux (chacun correspondant à un mode de vibration du trou noir). Or l'analyse de ce spectre est intéressante car on peut en déduire les caractéristiques du trou noir : sa masse et son moment cinétique, voire sa charge électrique (*a priori* négligeable pour un objet astrophysique). On parle alors de spectroscopie des trous noirs, à l'instar de la spectroscopie du rayonnement électromagnétique des atomes qui permet de déterminer les propriétés de ceux-ci.

Lors de la détection de GW150914, la collaboration *Ligo-Virgo* avait présenté des indices de la détection du mode quasi normal fondamental, le plus intense. Mais on pensait que les harmoniques (les modes de fréquence supérieure, ou *overtones*) étaient trop faibles pour être détectés. Pire, pour garantir un signal pur correspondant uniquement au *ringdown*, la collaboration *Ligo-Virgo* avait choisi d'analyser seulement les données enregistrées bien après le pic correspondant à la collision (et donc déjà très amorties).

Maximiliano Isi et ses collègues ont repris les données de GW150914 et ont développé une nouvelle technique pour isoler les modes quasi normaux juste après le pic. En identifiant



Lorsque deux trous noirs fusionnent, le nouveau trou noir formé vibre très brièvement et émet des ondes gravitationnelles, que l'on a réussi à isoler de celles émises lors de la collision.

3

C'EST, EXPRIMÉE EN MASSES SOLAIRES, L'ÉNERGIE QUI A ÉTÉ ÉMISE LORS DE LA COALESCENCE GW150914. LES DEUX TROUS NOIRS PRÉCURSEURS AVAIENT UNE MASSE DE 29 ET 36 FOIS CELLE DU SOLEIL, LE TROU NOIR RÉSULTANT NE FAISANT QUE 62 MASSES SOLAIRES.

ainsi le mode fondamental et un *overtone*, ils ont pu reconstruire une partie du signal du *ringdown* pour l'analyser – et calculer les propriétés du trou noir, qui se révèlent en accord avec celles déduites de *Ligo-Virgo* et de la relativité générale.

« Sans pour autant minimiser l'importance des travaux antérieurs, on peut dire que cette étude marque réellement la naissance de la spectroscopie expérimentale des trous noirs. C'est très enthousiasmant, car nous attendons de plus en plus de signaux, et de meilleure qualité, dans un avenir proche », souligne Olivier Minazzoli, du centre scientifique de Monaco et de l'observatoire de la Côte d'Azur, et membre de la collaboration *Virgo*.

Avec *Ligo* et *Virgo*, un nouvel interféromètre, *Kagra*, au Japon, devrait bientôt participer à la chasse aux ondes gravitationnelles. Il sera alors possible d'enregistrer des événements de coalescence avec plus de détails et observer des modes de vibration plus faibles. Et si certains d'entre eux dévient des prédictions de la théorie d'Einstein, on disposera là de précieux indices pour la recherche d'une théorie quantique de la gravitation. ■

S. B.

M. Isi et al., *Phys. Rev. Lett.*, vol. 123, article 111102, 2019