



SCIENCE

PHYSIQUE

CHALEUR :**LA LOI DE FOURIER
MISE EN DÉFAUT**

PRÉHISTOIRE

LE VRAI RÉGIME**PALÉO N'ÉTAIT PAS
CE QUE L'ON CROIT**

PLANÉTOLOGIE

INSIGHT,**UN SISMOMÈTRE
SUR MARS**

M 02687 - 494 - F: 6,90 € - RD

DÉCEMBRE 2018
N° 494MÉMOIRE
ET SOMMEIL**Comment dormir
renforce les
souvenirs**



**MAURICE
MASHAAL**
Rédacteur
en chef

BIEN DORMIR POUR BIEN SE SOUVENIR

Pourquoi dormons-nous? La question est élémentaire. Pas la réponse! L'une des approches possibles pour y voir plus clair consiste à étudier les conséquences d'un manque de sommeil. C'est ce que font Eva-Maria et David Elmenhorst. Dans ce numéro, les deux chercheurs allemands décrivent notamment des expériences où l'on évalue les performances cognitives de participants après de trop courtes nuits (voir pages 36 à 43).

Ces travaux montrent clairement que le manque de sommeil – cinq heures par nuit au lieu de sept, typiquement – a des effets délétères sur les performances, en termes de mémoire par exemple. D'autres recherches ont par ailleurs montré qu'un sommeil insuffisant a des impacts négatifs sur la santé. Et, cumulées à l'échelle d'un pays, les conséquences en termes économiques seraient considérables: une équipe australienne a récemment estimé à plus de 100 milliards d'euros par an le coût économique induit par le manque de sommeil dans un pays tel que la France!

Si mal dormir nuit à la mémoire, *a contrario* un bon sommeil aide à bien fixer les souvenirs. Mais il y a mieux encore. Des expériences décrites par les neuroscientifiques Ken Paller et Delphine Oudiette, où l'on fait entendre des sons ou sentir des odeurs aux participants pendant certaines phases de leur sommeil, montrent que l'on peut de cette façon renforcer la mémorisation de souvenirs (voir pages 28 à 35). Ces recherches éclairent en partie les rouages de la mémoire. Elles laissent aussi entrevoir des pistes pour améliorer nos apprentissages. Mais sans doute pas au point d'apprendre une langue étrangère ou la théorie de l'évolution en dormant pendant qu'un cours est audiodiffusé: ce scénario de rêve (éveillé...) reste de la science-fiction! ■

SOMMAIRE

N° 494 /
Décembre 2018



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

ACTUALITÉS

P. 6

ÉCHOS DES LABOS

- Peser la Terre grâce aux neutrinos atmosphériques
- Bio: une influence sur les risques de cancers?
- Comment l'éléphant régule sa température
- Du gaz au plus près du trou noir
- Une origine auto-immune pour la narcolepsie
- Une exolune confirmée grâce à Hubble?
- Les archées d'Asgård: sur la piste de l'origine des eucaryotes
- Le vortex qui fait voler les graines de pissenlit

P. 18

LES LIVRES DU MOIS

P. 22

AGENDA

P. 24

HOMO SAPIENS INFORMATICS

L'idée plus forte que le savoir-faire

Gilles Dowek

P. 26

CABINET DE CURIOSITÉS SOCIOLOGIQUES

Inégalités invisibles et multiples

Gérald Bronner



En couverture :
© Shutterstock.com/KENG MERRY
Paper Art

Les portraits des contributeurs sont de Seb Jarnot

Ce numéro comporte un encart des éditions Belin sur une sélection d'abonnés France Métropolitaine.

GRANDS FORMATS



P. 44

PLANÉTOLOGIE

« INSIGHT DÉTECTERA DES SÉISMES SUR MARS, UNE PREMIÈRE! »

Entretien avec
Philippe Lognonné

Sur Terre, l'étude des ondes sismiques a permis de mieux comprendre la structure de la planète. La mission *InSight* emporte un sismomètre sur Mars, de quoi sonder les entrailles de la planète rouge.



P. 48

PALÉONTOLOGIE HUMAINE

LE VRAI RÉGIME PALÉO

Peter S. Ungar

Que mangeaient nos ancêtres il y a plusieurs dizaines de milliers d'années? L'examen des traces microscopiques d'usure à la surface des dents fossiles apporte des réponses qui bousculent les idées reçues.



P. 58

PHYSIQUE

DES FLUX DE CHALEUR QUI ÉCHAPPENT À FOURIER

O. Bourgeois, D. Tainoff,
N. Mingo, B. Vermeersch
et J.-L. Barrat

À quelle loi la propagation de la chaleur obéit-elle? Celle formulée par Joseph Fourier il y a plus de deux cents ans se révèle inadaptée à l'échelle nanométrique, dont dépendent nombre de technologies modernes.



P. 66

BOTANIQUE

MYCORHIZE, LA SYMBIOSE QUI A FAIT LA VIE TERRESTRE

Marc-André Selosse

Des champignons aident les plantes en les nourrissant et en les protégeant, en échange de produits de leur photosynthèse. Cette symbiose est à l'origine des écosystèmes terrestres actuels.



P.74

HISTOIRE DES SCIENCES

DU TABAC POUR RÉANIMER LES MORTS

Anton Serdeczny

Au XVIII^e siècle, les savants recommandaient de réanimer les noyés en leur insufflant de la fumée de tabac... par l'anus! En remontant la piste de cette étrange pratique, on aboutit à une conclusion étonnante: elle proviendrait d'une danse comique ancienne jouée lors du carnaval...

À LA UNE

NEUROSCIENCES

MÉMOIRE ET SOMMEIL



P.28

COMMENT DORMIR RENFORCE LES SOUVENIRS

Ken A. Paller et Delphine Oudiette

Apprendre en dormant? Nous le faisons tous lorsque nos souvenirs refont surface au plus profond de notre sommeil, s'ancrant ainsi dans notre mémoire. En explorant les rouages de ce mécanisme, des neuroscientifiques laissent entrevoir des pistes pour améliorer cet apprentissage.

P.36

UN INQUIÉTANT MANQUE DE SOMMEIL

David Elmenhorst et Eva-Maria Elmenhorst

À l'heure où nous dormons de moins en moins, quels sont les effets du manque de sommeil sur nos capacités cognitives? Récemment, des laboratoires ont repéré les changements délétères qui se jouent dans nos cerveaux. Plus que jamais, il est temps de prendre son sommeil au sérieux.

RENDEZ-VOUS

P.80

LOGIQUE & CALCUL

FAUT-IL ADOPTER L'AVIS DE SES VOISINS?

Jean-Paul Delahaye

La modélisation de réseaux d'individus dont l'opinion se conforme à celle de la majorité de leurs relations montre des évolutions parfois inattendues où, par exemple, le réseau se met à osciller entre deux états contradictoires.

P.86

ART & SCIENCE

L'araignée, un guide pour l'humanité

Loïc Mangin



P.88

IDÉES DE PHYSIQUE

Quand les verres chantent

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik

P.92

CHRONIQUES DE L'ÉVOLUTION

Comment le blé est devenu tendre

Hervé Le Guyader

P.96

SCIENCE & GASTRONOMIE

Fromages et vins en quête d'accord

Hervé This

P.98

À PICORER

A

CTUALITÉS

P.6 Échos des labos

P.18 Livres du mois

P.22 Agenda

P.24 Homo sapiens informaticus

P.26 Cabinet de curiosités
sociologiques

GÉOPHYSIQUE

ESTIMER LA MASSE DE LA TERRE AVEC LES NEUTRINOS ATMOSPHÉRIQUES

Sous l'infrastructure de surface, les détecteurs de l'expérience *IceCube* plongent à plus de un kilomètre dans la glace du pôle Sud. Ils ne captent pas directement les neutrinos, mais la lumière produite par le passage de particules chargées, elles-mêmes émises lorsqu'un neutrino interagit avec la matière.



Des physiciens espagnols ont montré qu'il est possible de sonder la structure interne de la Terre au moyen des neutrinos produits dans l'atmosphère.

Les ondes sismiques ont été jusqu'ici le principal outil des géophysiciens pour étudier la structure interne de la Terre. Notamment, la vitesse de propagation de ces ondes dépend de la densité des matériaux qu'ils traversent. Les données sismiques permettent par exemple de déterminer la taille du noyau, du manteau et de la croûte terrestres. Andrea Donini et ses collègues, de l'université de Valence, en Espagne, ont expérimenté une autre méthode, fondée sur les neutrinos – particules qui interagissent très peu avec la matière –, pour

sonder l'intérieur de la planète. En exploitant les données de l'expérience *IceCube*, installée au pôle Sud et principalement dédiée à l'étude du ciel au moyen des neutrinos, les chercheurs ont fait la démonstration que cette méthode sera, d'ici à une dizaine d'années, en mesure d'estimer certaines caractéristiques de la Terre.

L'idée d'utiliser des neutrinos pour sonder l'intérieur de la Terre avait été proposée dès les années 1970. Il existe plusieurs façons d'exploiter à cette fin les neutrinos, selon leur origine. Dans les années 1980, les physiciens Sheldon Glashow, Lawrence Krauss et David

Schramm avaient proposé de détecter les neutrinos de faible énergie émis par la radioactivité naturelle du manteau et de la croûte terrestre. L'idée a été mise en application ces dernières années par les expériences *Borexino*, en Italie, et *KamLAND*, au Japon.

En 2008, Concha González-García, de l'université de Barcelone, et ses collègues ont proposé d'utiliser d'autres neutrinos : ceux produits par les rayons cosmiques qui bombardent en permanence la haute atmosphère terrestre. Lorsqu'une de ces particules de très haute énergie percute une molécule de l'atmosphère, de nombreuses particules sont produites, dont des neutrinos dits atmosphériques. Ceux qui se dirigent vers le sol pénètrent dans la planète et, le plus souvent, la traversent. Les détecteurs de l'expérience *IceCube* captent

une infime fraction de ces neutrinos, dont les physiciens sont capables d'estimer l'énergie et la direction d'origine.

Or de ces grandeurs dépend ce qui advient à un neutrino produit dans l'atmosphère. En effet, la probabilité d'interaction d'un neutrino avec la matière, très faible en général, dépend de son énergie. Par exemple, les neutrinos de très haute énergie ont une plus grande chance d'interagir, donc d'être arrêtés quelque part dans le manteau terrestre. Le flux des neutrinos d'énergie supérieure à 10 000 gigaélectronvolts s'en trouve sensiblement réduit. À l'inverse, pour des neutrinos de plus basse énergie, de moins de 1000 gigaélectronvolts, le flux n'est pas perturbé.

Il faut ensuite considérer la géométrie et la composition de la Terre. Un neutrino formé exactement à l'antipode d'*IceCube* aurait un parcours particulièrement long dans le globe et traverserait aussi le noyau très dense, et aurait donc plus de chances d'être absorbé qu'un neutrino arrivant en biais, dont le trajet au sein de la Terre est plus court et ne passe pas nécessairement par le noyau.

À partir des données enregistrées par *IceCube* entre 2011 et 2012, les trois chercheurs ont déterminé le flux de neutrinos détectés en fonction de leur énergie et de l'angle d'incidence. Grâce à ces mesures et en se fondant sur un modèle simplifié de la structure de la Terre, qui représente celle-ci comme un oignon à cinq couches, chacune de densité constante, ils ont estimé la densité de chaque couche. Cela leur a permis de calculer la masse de la Terre ($6,0 \times 10^{24}$ kilogrammes), celle du noyau ou le moment d'inertie de la planète. Les résultats sont en accord avec les valeurs établies par d'autres méthodes, si ce n'est que les incertitudes des mesures par cette nouvelle approche sont encore très grandes (supérieures à 20%).

Andrea Donini et ses collègues ont ainsi fait la démonstration du bien-fondé de cette méthode pour étudier l'intérieur de la Terre. Ils espèrent déterminer par exemple la position de la frontière entre le noyau et le manteau. Pour réduire les incertitudes sur les mesures, il sera néanmoins indispensable d'accumuler bien plus de données, l'équivalent de 10 à 15 ans de relevés sur *IceCube* et sur le projet en cours de construction en mer Méditerranée, *KM3NeT*. ■

SEAN BAILLY

A. Donini et al., *Nature Physics*, en ligne le 5 novembre 2018

Bio : une influence sur les risques de cancers ?

Les aliments issus de l'agriculture biologique seraient meilleurs pour la santé. Mais les données requises pour étayer scientifiquement cette affirmation sont encore peu nombreuses. Une étude récente en apporte. Julia Baudry, qui y a participé, nous explique les difficultés et les premiers résultats obtenus.



Propos recueillis par SEAN BAILLY

JULIA BAUDRY
est épidémiologiste
à l'université Paris 13.

Le lien entre la consommation d'aliments bio et cancer a-t-il déjà été étudié ?

Concernant le lien direct entre cancer et consommation de produits bio, il n'existait qu'une étude d'une équipe anglaise, menée en 2014 auprès de 600 000 femmes sur une durée de 9 ans, donc de grande puissance statistique. Cette étude n'a pas noté d'association significative entre la consommation d'aliments bio et le risque de cancer, tous types confondus. Néanmoins, elle a rapporté une diminution du risque de lymphome non hodgkinien chez les femmes déclarant consommer plus fréquemment du bio.

Qu'en est-il de votre étude ?

Notre analyse a porté sur un échantillon d'environ 70 000 personnes (78 % de femmes, âge moyen 44 ans) de la cohorte française NutriNet-Santé sur une durée d'environ 4,5 ans.

Nous avons utilisé une mesure de la consommation de produits bio plus fine que l'étude anglaise, bien que non quantitative. Les participants renseignaient l'étude via un questionnaire de fréquence de consommation (« jamais », « de temps en temps », « la plupart du temps ») pour 16 groupes alimentaires (fruits, légumes, produits à base de soja, etc.). Nous avons ensuite divisé la population en 4 groupes de taille égale selon leur consommation de produits bio.

L'une des difficultés d'une telle étude est que ceux qui mangent des produits bio ont souvent des comportements plus sains, sont plus éduqués, fument moins et ont en moyenne un régime alimentaire plus équilibré que les autres. Lors de nos analyses, nous avons pris en compte ces facteurs dits de confusion, qui tendent à brouiller les résultats. Pour ce faire, nous avons utilisé des modèles statistiques spécifiques qui réduisent au maximum

tous ces biais, par divers ajustements. Nous avons ainsi comparé les risques d'apparition de cancers chez les petits consommateurs de bio et les gros, toutes choses étant égales par ailleurs.

Quels sont vos résultats ?

Nous avons constaté que les individus déclarant consommer le plus souvent des aliments bio présentaient un risque inférieur de 25 % de développer un cancer par rapport aux non-consommateurs ou aux consommateurs épisodiques de produits bio. Cette association était particulièrement forte pour le cancer du sein postménopause, avec une réduction du risque de 34 %, et le lymphome non hodgkinien, avec une réduction de 75 %.

Que peut-on en conclure ?

Nous avons envisagé plusieurs hypothèses pour expliquer ces résultats. La principale résiderait dans le fait que les produits bio présentent bien moins de résidus de pesticides de synthèse que leurs homologues de l'agriculture classique. Bien que divers indices soutiennent cette piste, nous ne démontrons pas ce lien dans notre étude.

Il est important de souligner que celle-ci est observationnelle et que, malgré ces premiers résultats importants, il faut être prudent quant à leurs interprétations et leurs implications. Nous n'avons pas démontré un lien de cause à effet, mais seulement constaté une association entre consommation d'aliments bio et un risque réduit de cancer. En outre, il n'existe que deux études sur le sujet, en comptant la nôtre, ce qui est très peu. D'autres travaux épidémiologiques réalisés sur d'autres populations sont nécessaires. C'est sur la base de la convergence des résultats d'études observationnelles couplées à des approches expérimentales qu'il sera possible de tendre vers la causalité et d'émettre des recommandations.

J. Baudry et al., *JAMA Internal Medicine*, en ligne le 22 octobre 2018

BIOPHYSIQUE

COMMENT L'ÉLÉPHANT RÉGULE SA TEMPÉRATURE

Grâce au très grand nombre de minicrevasses dont sa peau est parcourue, l'éléphant d'Afrique retient de l'eau qui, en s'évaporant, rafraîchit son corps.

La transpiration est un mécanisme très répandu chez les mammifères. C'est en effet un moyen efficace pour réguler la température du corps et ainsi la maintenir constante (on parle d'homéothermie). Vivant sous des climats très arides, les éléphants d'Afrique sont pourtant dépourvus de glandes sudoripares qui produisent la sueur. Comment arrivent-ils donc à se refroidir? En humidifiant régulièrement leur peau, qui a la particularité d'être très poreuse. L'eau ainsi stockée s'évapore et refroidit l'animal. Mais une question restait en suspens: comment la peau de l'éléphant peut-elle absorber autant d'eau? Michel Milinkovitch, de l'université de Genève et de l'Institut suisse de bio-informatique, et son équipe ont montré que cette étonnante capacité provient de la structure très particulière de la peau du pachyderme.

En analysant la peau de dix éléphants, les chercheurs ont remarqué que la couche la plus externe de l'épiderme – la couche cornée – est traversée par un très grand nombre de minuscules crevasses. «Ces fractures, qui peuvent faire jusqu'à un millimètre de profondeur, explique Michel Milinkovitch, retiennent l'eau, dont l'évaporation progressive régule la température.» Toutefois, ces fractures épidermiques ne sont pas présentes à la naissance. C'est au cours de la première année qu'elles apparaissent. Mais par quels mécanismes?

Les chercheurs ont d'abord supposé que ces fractures épidermiques étaient dues au dessèchement des cellules mortes de la peau, un peu comme la boue craquelle en séchant. Chez l'éléphant, la couche cornée – formée par les cellules mortes – est très épaisse, 70 fois plus que la nôtre. «Contrairement à l'humain, l'éléphant n'élimine pas les cellules mortes qui se forment en permanence et s'accumulent à la surface de la peau», explique Michel Milinkovitch. Les chercheurs ont alors développé un modèle mathématique pour simuler la fracturation d'un matériau qui se rétracte en raison de son assèchement. «Mais les motifs que formaient les craquelures dans le modèle ne correspondaient pas aux formes polygonales présentes chez tous les éléphants que nous avons étudiés.»



La peau de l'éléphant d'Afrique est couverte d'infimes crevasses (non visibles à l'œil nu), qui, au total, peuvent retenir de grandes quantités d'eau.

36 °C

EN AFRIQUE, L'ÉLÉPHANT MAINTIENT SA TEMPÉRATURE CORPORELLE À 36 °C DE PLUSIEURS FAÇONS : GRÂCE À SES POILS, À L'IMPORTANTE VASCULARISATION DE SES GRANDES OREILLES ET EN S'ASPERGEANT D'EAU.

Par la suite, l'observation microscopique de coupes de peau d'éléphant, prêtées par deux universités d'Afrique du Sud, a permis de mettre au point un deuxième modèle. Les scientifiques ont constaté que sous la couche cornée, la peau n'est pas lisse, comme chez la plupart des mammifères, mais vallonnée, recouverte de millions de petites bosses nommées papilles. Ces reliefs contraignent donc l'épaisse couche cornée à plier. «Les fractures obtenues dans ce nouveau modèle contournaient les papilles pour se former uniquement dans les dépressions cutanées, ce qui coïncidait parfaitement avec nos observations *in vivo*», souligne le chercheur.

La porosité de la peau de l'éléphant d'Afrique est donc le produit de deux innovations: le relief de son épiderme et l'épaisseur de sa couche cornée. Ainsi, si la peau de l'éléphant d'Asie, elle, ne craquelle pas, malgré son aspect vallonné, c'est que la couche cornée est trop mince. Michel Milinkovitch explique que les contraintes auxquelles était soumise l'évolution de ces animaux n'ont *a fortiori* pas été les mêmes: «L'éléphant d'Asie vit dans un climat beaucoup plus humide, où le refroidissement par évaporation de l'eau n'est pas une stratégie efficace.» ■

CORALINE MADEC

A. F. Martins et al., *Nature Communications*, vol. 9, article 3865, 2018

EN BREF

HYPÉRION, UN PROTOSUPERAMAS

Grâce à l'instrument Vimos du VLT, au Chili, l'équipe d'Olga Cucciati, de l'Institut d'astrophysique à Bologne, en Italie, a découvert la plus grande et massive structure dans l'Univers lointain. Ce protosuperamas de galaxies, surnommé Hypérior par les chercheurs, a été observé dans l'Univers jeune de seulement 2,3 milliards d'années. Sa masse, supérieure à 10^{15} masses solaires, et sa structure déjà complexe surprennent. Comment un tel amas a-t-il pu se former aussi vite dans l'Univers primordial ?

LE FIL « EN ACIER » DE LA VEUVE NOIRE

Cette araignée produit des protéines, les spidroïnes, qu'elle stocke dans une glande sous la forme de micelles (des paquets nanométriques). Par pression, elle en extrait un fil, dont la formidable propriété de résistance restait à comprendre. Grâce à des techniques d'imagerie, Gregory Holland, de l'université d'État de San Diego, et ses collègues ont montré que, lors de l'extraction du fil, les sous-structures des micelles s'allongent et sont à l'origine de la résistance du fil.

ON RECONNAÎT PRÈS DE 5 000 VISAGES

Pendant une grande partie de leur histoire, les humains ont vécu par groupes de moins d'une centaine d'individus. Cependant, chaque individu semble pouvoir reconnaître bien plus de visages qu'une centaine. Rob Jenkins, de l'université de York, au Royaume-Uni, et deux collègues ont montré que, en moyenne, nous sommes capables de reconnaître près de 5 000 visages. Mais cette capacité varie beaucoup d'une personne à l'autre, même si les moins doués d'entre nous reconnaissent malgré tout environ 1 000 portraits !

PALÉONTOLOGIE

UN TÉTRAPODE AU LAOS

Emmenée par Jean-Sébastien Steyer, du Muséum national d'histoire naturelle et du CNRS à Paris, une équipe de paléontologues a découvert un chroniosuchien, c'est-à-dire un très ancien tétrapode prédateur. La découverte n'a rien d'anodin, tant sur le plan paléocologique que paléogéographique.

Il y a plusieurs années, en prospectant au Laos, Jean-Sébastien Steyer et son équipe ont repéré un bloc où affleurait une mâchoire. Une fois ce fossile extrait, dégagé et scanné, les chercheurs reconnurent un crâne de chroniosuchien du Permien (il y a 298,9 à 252,2 millions d'années). Nommé *Laosuchus naga*, ce «monstre crocodyloïde du Laos» menait une vie comparable à celle de nos crocodiles actuels, qui sont inféodés à l'eau douce. Les dents acérées de sa gueule suggèrent un régime surtout piscivore.

Le fait que *Laosuchus naga* soit un chroniosuchien du Laos est étonnant, puisque la roche du bassin sédimentaire de Luang Prabang dont il provient, datant d'environ 250 millions d'années, appartient à la plaque dite indochinoise. Or comme *Laosuchus naga* était inféodé à l'eau douce, ses ancêtres n'avaient pu y venir en traversant la mer. Qu'en conclure ? Qu'au Trias (il y a 252,2 à 201,3 millions d'années), la



Le très crocodyloïde crâne fossile du chroniosuchien *Laosuchus naga*, présenté sur ses quatre faces.

plaque indochinoise était – ou du moins fut pendant un temps – rattachée à la plaque eurasiatique, donc à la Pangée, cette grande terre qui, à l'époque, rassemblait tous les continents. Or, jusqu'ici, les géologues débattaient sur sa configuration. Pour autant, la connexion terrestre que prouve la découverte de *Laosuchus naga* avait déjà été proposée, après la découverte de certaines plantes fossiles et de dicynodontes, c'est-à-dire de reptiles mammaliens inféodés au milieu terrestre, qui eux non plus n'ont pas pu atteindre l'Indochine permienne à la nage! ■

FRANÇOIS SAVATIER

T. Arbez et al., *Journal of Systematic Paleontology*, en ligne le 27 septembre 2018

CHIMIE

PROTÉGER LES VIEILLES PIERRES

Les monuments en pierre de taille exposés aux intempéries sont altérés par l'acidité des pluies, qui rongent les calcaires, mais aussi par des colonies de bactéries qui forment des biofilms à leur surface et fragilisent leur structure. Alors que la protection contre ces deux fléaux est un enjeu majeur de la protection du patrimoine sculptural et architectural, les solutions peinent à émerger. Archismita Misra, de l'université d'Ulm, en Allemagne, et ses collègues proposent d'utiliser un type de liquide ionique, dénommé POM-IL (formé d'agrégats nanométriques d'oxydes métalliques et des ions ammonium), et déjà utilisé comme traitement de surface sur des métaux pour ses propriétés hydrophobes et biocides.

Les chercheurs ont badigeonné des pierres calcaires de POM-IL, selon un procédé



Comment protéger les gargouilles de la cathédrale Notre-Dame, à Paris, contre les attaques des pluies acides ?

transposable en conditions réelles. Soumises à des vapeurs d'acide acétique, afin d'imiter des pluies acides, etensemencées avec des colonies de bactéries, les pierres avec revêtement n'ont subi quasiment aucun dommage, comparées à celles non badigeonnées de POM-IL. ■

MARTIN TIANO

A. Misra et al., *Angewandte Chemie Int. Ed.*, vol. 57(45), pp. 14926-14931, 2018

EN IMAGE

DU GAZ AU PLUS PRÈS DU TROU NOIR

Une équipe internationale de chercheurs, dont des membres du CNRS et des observatoires de Paris et de Grenoble, a fourni une preuve supplémentaire des plus convaincantes que le centre de la Voie lactée est bien occupé par un trou noir supermassif. Les astrophysiciens ont utilisé les observations d'une grande précision de l'instrument Gravity, qui combine par interférométrie la lumière reçue par les quatre télescopes du VLT, le *Very Large Telescope* de l'ESO (l'Observatoire austral européen) situé au Chili.

Tout laissait à penser que la source infrarouge Sagittarius A*, au centre de la Galaxie, est associée à un trou noir supermassif d'environ 4 millions de masses solaires. Mais comment s'en assurer? Le rayonnement de cette source serait lié à la présence d'un disque d'accrétion, un disque de matière (du gaz) s'accumulant autour du trou noir. Du fait des frottements dans le disque, la matière chauffe et émet un fort rayonnement électromagnétique. Mais la résolution des instruments utilisés jusqu'à présent ne permettait pas d'étudier en détail le disque. Grâce à Gravity, les astrophysiciens y ont repéré trois émissions infrarouges très lumineuses et transitoires, des « points chauds ». La précision de l'instrument a permis aux chercheurs de suivre leur mouvement orbital, et d'en déduire leur vitesse: ces points chauds se déplacent à environ 30% de la vitesse de la lumière, à une très courte distance du centre de Sagittarius A*. La simulation ci-contre reproduit les mouvements de gaz autour du trou noir et les émissions infrarouges associées (*en rouge*).

Le rayon de l'orbite des points chauds détermine une limite maximale à la taille de l'objet situé au centre de Sagittarius A*. Le rayon maximal est à peine trois fois supérieur à celui d'un trou noir théorique d'environ 4 millions de masses solaires. Or, en dehors des trous noirs, les physiciens ne connaissent pas d'état de la matière aussi compact. C'est donc un indice très fort que Sagittarius A* est bel et bien un trou noir. ■

S. B.

Collaboration Gravity, *Astronomy & Astrophysics*, vol. 618, L10, 2018



MÉDECINE

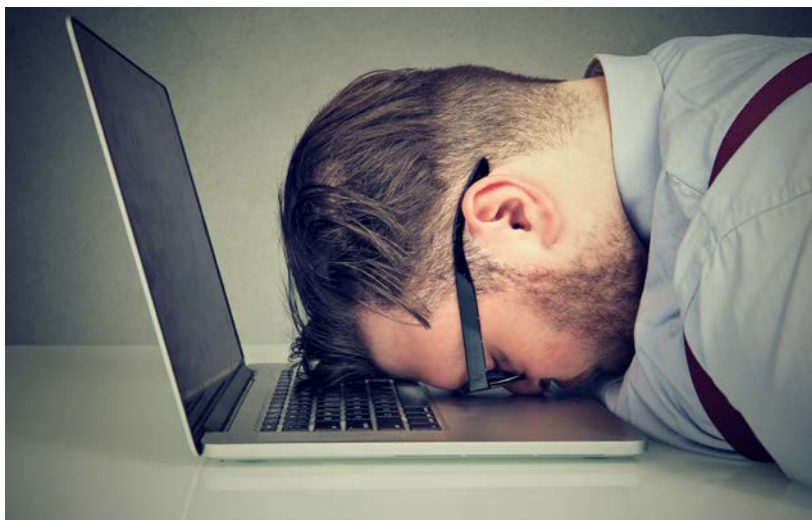
UNE ORIGINE AUTO-IMMUNE POUR LA NARCOLEPSIE

Chez des patients souffrant de narcolepsie, des lymphocytes du système immunitaire cibleraient des neurones responsables du cycle veille-sommeil.

Les symptômes commencent le plus souvent à l'adolescence ou au début de l'âge adulte : des endormissements intempestifs en pleine journée, accompagnés ou non d'une perte soudaine de tonus musculaire. On savait que la forme la plus sévère s'accompagne de la destruction de neurones cérébraux produisant de l'hypocrétine, une protéine responsable de l'alternance veille-sommeil. Or Federica Sallusto, de l'université de la Suisse italienne, à Bellinzona, et de l'École polytechnique fédérale de Zurich, et ses collègues ont mis en évidence des lymphocytes autoréactifs, c'est-à-dire capables de déclencher une réponse immunitaire lorsqu'ils reconnaissent des marqueurs du soi, en l'occurrence l'hypocrétine, dans le sang de patients.

Ce résultat suggère que le corps, par une réaction auto-immune, éliminerait lui-même ces neurones. «On n'avait auparavant que des éléments indirects qui suggéraient une part auto-immune de la maladie; là, elle est bien documentée», estime Roland Liblau de l'Inserm, qui n'a pas participé à l'étude. Des travaux antérieurs avaient montré l'implication de gènes du système immunitaire dans la narcolepsie, notamment une association forte avec l'allèle HLA-DBQ1*06:02, qui code une protéine présentatrice d'antigène aux lymphocytes T, point de départ de la réaction immunitaire.

Federica Sallusto et ses collègues ont analysé le sang de 19 patients souffrant de narcolepsie et de 13 individus porteurs sains du même allèle HLA-DBQ1*06:02. Chez les malades, ils ont observé des lymphocytes T réagissant au contact d'un mélange de fragments d'hypocrétine. Mais ce travail soulève presque plus de questions qu'il ne donne de réponses. Par exemple, les lymphocytes autoréactifs sont bien présents dans le sang, mais pas dans le liquide céphalorachidien. Alors comment atteignent-ils les neurones qui sont détruits? «L'article ne conclut pas sur le caractère causal ou secondaire des réactions décrites. Il faudrait pour cela étudier des cas plus précoces. Il est théoriquement possible que ce soit la mort neuronale qui provoque le relargage de fragments d'hypocrétine ensuite reconnus par ces lymphocytes», propose le



La narcolepsie est un trouble caractérisé par une somnolence diurne excessive, accompagnée d'attaques de sommeil incoercibles et de pertes du tonus musculaire.

**2 à 3
POUR 10 000
HABITANTS,**

**C'EST LA PRÉVALENCE
DE LA NARCOLEPSIE
DANS LA POPULATION
FRANÇAISE.
CELLE-CI VARIE
D'UN PAYS À L'AUTRE,
NOTAMMENT PARCE
QUE SA DÉFINITION
S'APPUIE SUR
DES CRITÈRES
DIFFÉRENTS.**

spécialiste français. Resterait à expliquer ce qui déclenche la mort des neurones.

Des années de recherche attendent encore les équipes qui travaillent sur le sujet, pour dégager un modèle qui permettra de comprendre pourquoi des personnes à risque finissent ou non par développer la maladie. «Actuellement, le diagnostic est souvent tardif et les cliniciens ne disposent pas d'éléments prédictifs de la survenue de la maladie, qui reste rare même chez les porteurs de HLA-DBQ1*06:02. Ce travail offre la perspective d'un test prédictif et d'un diagnostic plus précoce, voire d'une cible thérapeutique pour un traitement immunosuppresseur», s'enthousiasme Roland Liblau.

Les futurs travaux devront également établir le lien entre narcolepsie et vaccination contre la grippe. «La narcolepsie est l'une des seules maladies pour lesquelles un lien épidémiologique a été identifié et confirmé avec une vaccination particulière, celle contre la grippe pandémique H1N1 de 2009-2010, avec une atteinte de 1 pour 18500 sujets vaccinés. Il est important de comprendre comment une vaccination ou une infection peut déclencher cette maladie», conclut le chercheur. ■

NOËLLE GUILLON

D. Latorre et al., *Nature*,
vol. 562, pp. 63-68, 2018

EN BREF

CHUTE D'ANGKOR ET CLIMAT

Avec ses quelque 1 000 kilomètres carrés de superficie, Angkor était la cité la plus étendue du monde au XIII^e siècle. Mais au XV^e siècle, ses habitants la quittèrent précipitamment et la forêt l'envahit peu à peu. Parmi les facteurs susceptibles d'avoir entraîné cet abandon brutal, archéologues et historiens soupçonnaient les variations climatiques intenses de l'époque (de fortes moussons et sécheresses), lues dans les cernes des arbres alentour. Dan Penny, de l'université de Sydney, et ses collègues l'ont confirmé en modélisant le réseau de distribution d'eau de la cité à l'aide des données archéologiques : ils ont montré que ce réseau était vulnérable à l'érosion et à la sédimentation dues aux variations des pluies.

BIOLOGIE

UNE VIE MOINS PRÉCOCE ?

La vie sur Terre daterait-elle de 3,7 milliards d'années ? En 2016, l'équipe d'Allen Nutman, de l'université de Wallongong, en Australie, a cru identifier des stromatolithes, édifices construits par des colonies de cyanobactéries, dans des structures observées au sein des roches groenlandaises d'Issua (voir la photo ci-contre). Comme ces roches datent de l'Éoarchéen (il y a 4 à 3,6 milliards d'années), cela prouverait que la vie était présente sur Terre moins d'un milliard d'années après la formation de la planète.

Toutefois, une équipe américaine menée par Abigail Allwood, de l'Institut de technologie de Californie, a comparé les sections frontale et longitudinale d'échantillons de roche contenant les stromatolithes présumés. Elle a noté que l'un des côtés porte les traces d'une compression, tandis que l'autre porte celles d'une extension. Cela suggère que les structures coniques en question seraient des plissements locaux étirés. Une coupe exploratrice a



montré que ces pincements s'étendaient sur au moins dix centimètres dans la profondeur. Par ailleurs, après avoir étudié la structure des strates à l'aide d'une technique d'analyse à très haute résolution spatiale, les chercheurs ont conclu que la roche d'Issua n'a pas été formée dans une mer peu profonde, mais qu'elle a été produite par la circulation de fluides contenant des carbonates.

S'ils ont raison, alors les structures apparemment coniques d'Issua ne peuvent pas être d'origine biologique. Dans ce cas, les plus anciens stromatolithes, et donc traces de vie, que reconnaît la communauté scientifique dateraient seulement de 3,42 milliards d'années. Affaire à suivre ? ■

F. S.

A. C. Allwood et al., *Nature*, vol. 563, pp. 241-244, 2018

cité
sciences
et industrie

le sexisme en sciences : résoudre l'équation

ciné-débat

jeudi 29 novembre — à 19h

Accès gratuit dans la limite des places disponibles

EN PARTENARIAT AVEC AVEC LE SOUTIEN DE **SCIENCE**

Oubliées, éclipsées, non récompensées pour leurs découvertes, les femmes ont pourtant toujours contribué à l'édification des savoirs scientifiques. Comment lutter contre les clichés et faire cesser le sexisme dans les sciences ?

débat

avec :

Marie-Agnès Bernardis, chargée de mission égalité pour Universcience ;

Isabelle Collet, maîtresse d'enseignement et de recherche en sciences de l'éducation, université de Genève ;

Mathilde Larrère, historienne, université Paris-Est Marne-la-Vallée.

Modération : **Amandine Berton-Schmitt**, Centre Hubertine Auclert.

débat suivi de la projection du film

Les Figures de l'ombre

de Theodore Melfi (2016, États-Unis, 2h07 version originale sous-titrée en français)

Universcience s'engage pour promouvoir les femmes scientifiques dans le cadre de sa Charte pour l'égalité entre les femmes et les hommes dans le domaine des sciences et des technologies.

Cité des sciences et de l'industrie

30, avenue Corentin-Cariou - 75019 Paris

⑨ Porte de la Villette ⑩ 3b Cité des sciences et de l'industrie

Informations sur cite-sciences.fr

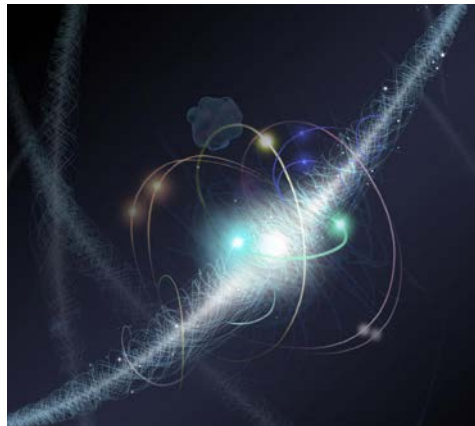
PHYSIQUE DES PARTICULES

LE CORTÈGE DE L'ÉLECTRON

Le vide est le siège d'une intense activité quantique: sans cesse, des paires particule-antiparticule y apparaissent et disparaissent en une fraction de seconde. L'étude des effets de ces paires, dites virtuelles, sur les propriétés de l'électron a permis à l'équipe de l'expérience *Acme* menée par John Doyle, de l'université Harvard, d'obtenir quelques limites quantitatives que doivent respecter les modèles de physique des particules.

Malgré ses succès expérimentaux, le «modèle standard» de la physique des particules, développé dans les années 1960 et 1970, présente des défauts suggérant qu'il n'est qu'une version approximative d'une théorie plus fondamentale. Laquelle? La plupart des nombreuses pistes proposées postulent l'existence de particules massives encore jamais détectées.

Une façon de traquer celles-ci serait de mesurer leur influence sur les propriétés de l'électron, son moment dipolaire électrique par exemple. Ce moment devrait être nul si la distribution de sa charge électrique est parfaitement sphérique. Or les particules virtuelles peuvent déformer cette distribution et produire un moment dipolaire non nul. Si les particules du modèle standard engendrent une déformation minime, ce n'est pas le cas de



L'électron (en blanc dans cette vue d'artiste) est entouré d'un nuage de particules éphémères, dites virtuelles, qui influent sur ses propriétés.

certaines particules associées à des théories proposées pour dépasser le modèle standard.

John Doyle et ses collègues ont mesuré le moment dipolaire d'une molécule, le monoxyde de thorium, qui dépend de celui de l'électron. Ils en ont déduit une limite supérieure sur la valeur du moment dipolaire de l'électron, d'un ordre de grandeur plus précis que les expériences passées. Ce résultat met à mal certains modèles, comme la «Split SUSY», une variante populaire de la supersymétrie, qui offrait des perspectives de détection au LHC... ■

S. B.

Collaboration ACME, *Nature*, en ligne le 17 octobre 2018

BIOPHYSIQUE

L'ASPIRATEUR DE LA RAIE MANTA

Pour se nourrir, la raie manta (*Manta birostris*) parcourt les océans la bouche grande ouverte et aspire ainsi de grandes quantités d'eau qui contiennent des organismes planctoniques. Elle capture ces derniers grâce au filtre constitué d'un réseau de lamelles parallèles qui tapisse sa cavité buccale. L'eau traverse les pores des lamelles puis est évacuée par les branchies. L'un des aspects surprenants de ce système est sa capacité à retenir des microorganismes plus petits que les pores et à ne pas se boucher. Si l'anatomie de la raie était déjà connue, il n'en était pas de même du mécanisme de séparation des aliments et de l'eau. Pour le comprendre, Misty Paig-Tran, de l'université d'État de Californie, et ses collègues ont reconstitué à l'aide d'une imprimante 3D les lamelles du système de filtration de la raie



Chez la raie manta, les lamelles ont pour effet de canaliser les particules solides de l'eau vers le fond de la bouche.

manta. Grâce à l'observation en temps réel des écoulements dans ce système et des simulations, ils ont montré que lorsque l'eau circule entre les lamelles, les particules solides rebondissent sur ces dernières de telle façon qu'elles sont entraînées vers le fond de la bouche, où elles sont avalées. ■

WILLIAM ROWE-PIRRA

R. V. Divi et al., *Science Advances*, vol. 4(9), article eaat9533, 2018

EN BREF

UN MILLION D'ANNÉES DE MOUSSON

En analysant des sédiments de la mer d'Oman et des stalactites de Chine, l'équipe germano-américaine de Daniel Gebregiorgis a mis en évidence un lien entre l'intensité de la mousson et l'inclinaison de la Terre sur son axe au cours du dernier million d'années. Il s'avère que la chute de l'ensoleillement qui a accompagné les quelque dix périodes froides de ce million d'années explique 30 % des variations de la mousson. Il reste à expliquer les 70 % restantes.

BOÎTES QUANTIQUES SYNCHRONISÉES

Partant d'une solution colloïdale de boîtes quantiques (des nanostructures semi-conductrices), Maksym Kovalenko et ses collègues, à l'École polytechnique fédérale de Zurich, ont réussi à créer un superréseau, où ces microsources lumineuses sont alignées en 3D. Stimulées par une lumière extérieure, leurs émissions se sont alors synchronisées. La superfluorescence ainsi obtenue pourrait donner lieu à de nouvelles sources lumineuses bien plus intenses, des diodes électroluminescentes notamment.

PAS DE LACS SOUS LE GLACIER RECOVERY

Grand comme trois fois la France, le glacier Recovery, en Antarctique orientale, progresse de 100 à 400 mètres par an vers la mer de Weddell. Comment? En glissant sur les grands lacs sous-jacents que semble révéler la présence en surface de grandes zones plates? Non! Angelika Humbert et ses collègues de l'institut Alfred-Wegener, en Allemagne, ont exploré la base du grand glacier au radar et n'ont découvert aucune strate humide. Reste à résoudre l'énigme du mouvement glaciaire. Des méthodes sismiques pourraient y aider, affirment les chercheurs.

PRÉHISTOIRE

DU PLOMB CHEZ NÉANDERTAL

Ils vivaient en Ardèche il y a 250 000 ans dans une région où abonde le plomb. Élevés dans les grottes de cette zone, deux enfants néandertaliens s'y sont contaminés avec ce métal toxique. L'équipe de Marie-Hélène Moncel, du CNRS, a révélé cette exposition au plomb, la plus ancienne connue, en analysant l'émail des dents de ces jeunes Néandertaliens découvertes sur le site de Payre. Les cernes de croissances des dents ont aussi appris aux chercheurs que ces enfants sont tombés malades pendant l'hiver – phénomène fréquent sans doute – et que l'un d'eux est né au printemps. En reconstituant le profil des concentrations de baryum dans l'émail de ses dents au cours de sa croissance, les chercheurs ont montré en outre qu'il a été allaité jusqu'à l'âge de deux ans et demi, puis sevré à l'automne. On n'arrête pas le progrès... des connaissances sur les Néandertaliens! ■

F. S.

T. M. Smith *et al.*, *Sciences Advances*, vol. 4(10), eaa9483, 2018

ÉDUCATION

CRÈCHE OU NOUNOU?

Quel est le meilleur système de garde avant l'âge de trois ans pour le développement des enfants? Maria Melchior, de l'Inserm et de Sorbonne Université, à Paris, et ses collègues ont, pour la première fois en France, comparé différents modes de garde. Les chercheurs ont utilisé les données de la cohorte Eden, une étude menée auprès de 1 428 jeunes et de leur famille, vivant à Nancy et Poitiers, depuis la grossesse de leur mère jusqu'à leurs 8 ans. Chaque maman précisait le mode de garde de son enfant et remplissait un questionnaire qui évaluait ses problèmes relationnels, son hyperactivité et son inattention, ses troubles du comportement comme l'agressivité, son empathie, etc.

Résultat: les enfants ayant bénéficié d'une garde en collectivité, soit 14% des petits en France, ont environ trois fois moins de troubles émotionnels et de difficultés relationnelles après leur entrée à l'école que ceux ayant été gardés à domicile, par un proche (48% des enfants) ou par une nounou (25% des enfants). ■

BÉNÉDICTE SALTHUN-LASSALLE

R. Gomajee *et al.*, *Journal of Epidemiology and Community Health*, vol. 72, pp. 1033-1043, 2018

ASTROPHYSIQUE

UNE EXOLUNE CONFIRMÉE GRÂCE À HUBBLE?



Cette vue d'artiste représente l'exoplanète Kepler-1625b, qui serait plus grosse que Jupiter (à gauche), avec sa lune, de la taille de Neptune.

Depuis 1995, on a identifié des milliers d'exoplanètes évoluant autour d'étoiles. Mais jusqu'à présent, il n'y a eu aucune confirmation de l'existence d'une exolune, c'est-à-dire d'un satellite en orbite autour d'une planète extrasolaire. En 2017, en étudiant les données du télescope spatial *Kepler*, Alex Teachey et David Kipping, de l'université Columbia, à New York, avaient mis en évidence une anomalie dans le transit d'une planète évoluant autour de l'étoile Kepler-1625, située à environ 8 000 années-lumière de la Terre. S'agissait-il d'une exolune? Afin d'affiner leurs observations, ils ont de nouveau observé un transit de la planète. Pour rappel, le transit correspond à l'infime baisse de luminosité apparente de l'étoile lorsque la planète passe devant l'astre et occulte une partie de son rayonnement. En traquant des transits périodiques, il est possible de découvrir des exoplanètes et d'en déduire certaines caractéristiques.

Alex Teachey et David Kipping ont calculé que la durée théorique du transit de l'exoplanète Kepler-1625b devrait être de 19 heures. Ils ont fait appel au télescope spatial *Hubble* pour vérifier cette durée. Résultat: la baisse de luminosité a commencé une heure vingt plus tôt que prévu. Et trois heures après le passage de la planète devant l'étoile, les deux astronomes ont constaté une seconde chute de luminosité. Pour les deux chercheurs, la présence d'une exolune est de loin l'hypothèse la plus simple pour expliquer ces observations.

Ils ont même déterminé certaines caractéristiques de l'exolune. Si l'exoplanète a une masse estimée à plusieurs fois celle de Jupiter, son exolune ressemblerait, par sa taille, à Neptune. Les astronomes restent cependant prudents, car la courte durée d'observation allouée sur *Hubble* pour leur étude ne leur permet pas d'assurer avec certitude la présence de cet astre. Une affaire à suivre pour décrocher... la lune. ■

LAMBERT BARAUT-GUINET

A. Teachey et D. M. Kipping, *Science Advances*, vol. 4(10), article eaav1784, 2018

MICROBIOLOGIE

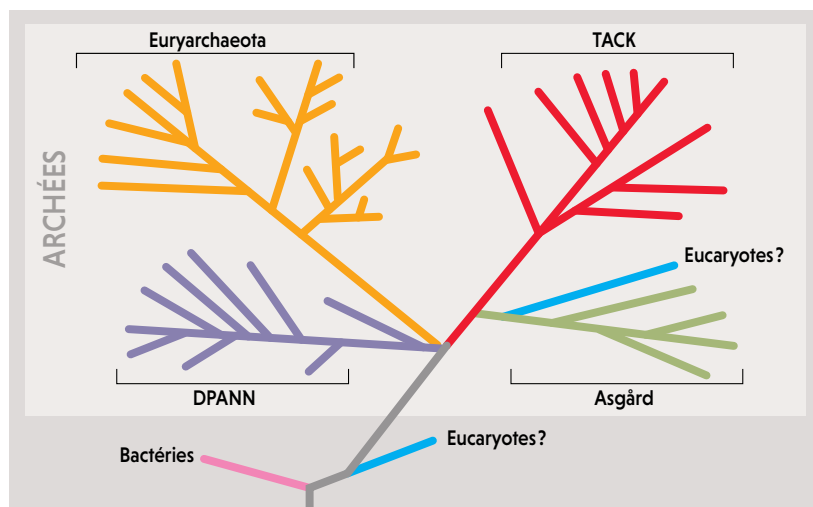
LES ARCHÉES D'ASGÅRD : SUR LA PISTE DE L'ORIGINE DES EUCARYOTES

Une famille d'archées se révèle posséder un squelette dynamique d'actine. Or on pensait que ce caractère était propre aux eucaryotes...

D'où viennent les eucaryotes, l'ensemble des organismes constitués de cellules à noyau ? Depuis trois ans, un nouveau monde – les archées dites d'Asgård – est venu alimenter les discussions autour de cette grande énigme de la biologie évolutive. Découverts dans des milieux extrêmes comme des sources hydrothermales sous-marines ou des sources chaudes terrestres, ces organismes unicellulaires sans noyau semblent être les plus proches cousins connus des eucaryotes : de fait, leurs génomes comportent plusieurs gènes proches de gènes que l'on pensait spécifiques aux eucaryotes. Chez ces derniers, les gènes en question sont impliqués dans des fonctions clés telles que le trafic intracellulaire ou le remodelage membranaire des cellules. Toutefois, personne n'avait encore pu vérifier que les gènes d'archées remplissaient les mêmes fonctions que leurs homologues eucaryotes. Mais récemment, Caner Akil et Robert Robinson, de l'Institut de biologie moléculaire et cellulaire, à Singapour, ont montré que les génomes de plusieurs de ces archées codent des protéines qui ressemblent fortement à des protéines eucaryotes, les profilines, et qui fonctionnent de façon similaire.

Une difficulté avec les archées d'Asgård est que personne n'a jamais réussi à les voir et encore moins à les cultiver : leur caractérisation repose sur l'étude du génome de l'ensemble des organismes d'échantillons prélevés dans divers endroits du globe. Pour produire des profilines d'Asgård, les deux biologistes ont donc introduit dans des bactéries *Escherichia coli* les gènes codant ces protéines de façon que les bactéries les expriment elles-mêmes. Par cristallographie aux rayons X, ils ont ensuite montré que les protéines ainsi obtenues, puis purifiées, arborent une structure similaire à celle de la profiline humaine, même si leurs séquences diffèrent sensiblement.

Chez les eucaryotes, les profilines régulent la polymérisation d'un des éléments du cytosquelette des cellules, l'actine, qui joue de multiples rôles. L'actine donne aux cellules leur forme et contribue à leur mouvement. Elle intervient aussi dans le déplacement intracellulaire de vésicules et d'organites, et dans l'endocytose



Longtemps, on a pensé que l'arbre du vivant comportait trois branches principales : les bactéries, les eucaryotes et les archées, dont, parmi ses quatre grandes familles, les archées d'Asgård. Mais depuis la découverte de ces dernières (constituées depuis 2017 de quatre branches aux noms évocateurs d'archées de Loki, de Thor, d'Odin et de Heimdall), qui portent de nombreux gènes ressemblant à ceux des eucaryotes, l'hypothèse d'un arbre à deux branches – archées et bactéries –, où les eucaryotes seraient plus proches des archées d'Asgård, fait son chemin.

et la phagocytose, deux mécanismes par lesquels les cellules ingèrent des éléments extracellulaires. Or les archées d'Asgård ont justement des gènes proches de ceux codant l'actine chez les eucaryotes. Les profilines d'Asgård réguleraient aussi un réseau d'actine ? Pour le savoir, les deux biologistes ont mis ces profilines en présence d'actine de lapin. Résultat : les profilines d'Asgård régulent la polymérisation de l'actine, même si elles ne sont pas aussi efficaces que les profilines des mammifères.

Ainsi, plusieurs archées d'Asgård, provenant de différentes lignées, contiendraient un élément que l'on pensait spécifique aux eucaryotes : un cytosquelette d'actine régulé par une profiline. Le dernier ancêtre commun des archées d'Asgård et des eucaryotes était donc probablement une cellule plus complexe qu'on ne le pensait, présentant déjà des compartiments membranaires internes et un réseau dynamique d'actine – autant d'éléments qui ont pu l'aider, il y a environ 1,8 milliard d'années, à envelopper une bactérie et à acquérir ainsi une usine à énergie, ancêtre des mitochondries des eucaryotes. La recherche de nouvelles archées se poursuit activement, avec notamment l'espoir d'observer ces mystérieuses archées d'Asgård. Car la clé de nos origines réside probablement dans cette branche encore très peu explorée de l'arbre de la vie. ■

MARIE-NEIGE GORDONNIER

C. Akil et al., *Nature*, vol. 562, pp. 439-443, 2018