

certaines tissus typiques des voies respiratoires, comme des anneaux de cartilage et des cellules épithéliales (des couches cellulaires superficielles tapissant l'intérieur de la trachée). Ces travaux ont montré que l'aorte intervient dans cette régénération. D'une part, elle produit des facteurs de croissance qui favoriseraient la prolifération des cellules de la trachée de l'hôte situées de part et d'autre du greffon. D'autre part, elle libère des messagers chimiques (des cytokines) et des molécules chimioattractives qui entraînent la migration de cellules souches de la moelle osseuse et la production de cartilage. Forts de ces résultats encourageants, Emmanuel Martinod et son équipe ont voulu tester la méthode chez l'homme.

À partir de 2009, après trois ans de demandes d'autorisation, le chirurgien thoracique a effectué les premières greffes d'aorte humaine. Sur les treize patients volontaires, un seul patient est décédé – à la suite d'un AVC –, mais aucun lien n'a pu être établi avec l'opération. Chez les autres patients, du cartilage s'est formé en quelques mois et, au bout de dix-huit mois, le stent, un petit grillage tubulaire en silicone placé à l'intérieur de l'aorte pour éviter son écrasement, a pu être retiré. Huit patients ont ainsi recouvré une respiration normale grâce à l'aorte greffée.

Une biopsie réalisée sur une patiente ayant reçu l'aorte d'un donneur masculin a mis en évidence un autre résultat surprenant. Environ trente-neuf mois après l'opération, aucun gène SRY (présent uniquement chez l'homme) n'a été détecté. L'explication avancée est que les cellules masculines du greffon auraient progressivement disparu au profit des cellules féminines de l'hôte. Ces dernières auraient colonisé le milieu, s'appropriant complètement l'organe greffé.

Les résultats de l'équipe d'Emmanuel Martinod ont été accueillis avec beaucoup d'enthousiasme dans la communauté médicale, laquelle en souligne d'autant plus la rigueur scientifique que le souvenir de la fraude de Paolo Macchiaroni est encore dans tous les esprits. Dans les années 2010, ce médecin italien avait en effet annoncé avoir transplanté avec succès une trachée bioartificielle chez plusieurs patients, mais ses résultats s'étaient révélés une vaste escroquerie. ■

CORALINE MADEC

E. Martinod et al., *JAMA*, en ligne le 20 mai 2018

Neutrino stérile : l'hypothèse relancée ?

L'expérience américaine *MiniBooNE* confirmerait des résultats obtenus dans les années 1990, qui suggéraient l'existence d'un quatrième type de neutrino. Mais d'autres expériences excluent cette conclusion. Thierry Lasserre, spécialiste des neutrinos, nous présente son analyse de la situation.



Propos recueillis par SEAN BAILLY

THIERRY LASSERE
physicien du CEA
à Saclay

Quel est le principe de l'expérience *MiniBooNE* ?

Dans la plupart des expériences sur les neutrinos, l'objectif est d'étudier leurs « oscillations ». En effet, il existe trois types (ou saveurs) de neutrinos – électronique, muonique et tauique – et ces particules passent spontanément de l'un à l'autre. Dans le cas de *MiniBooNE*, installée au Fermilab, près de Chicago, les chercheurs étudient depuis 2002 la transformation de neutrinos muoniques en neutrinos électroniques.

Récemment, la collaboration *MiniBooNE* a publié de nouveaux résultats. Elle a trouvé un excès important (d'environ 380 neutrinos électroniques) par rapport à ce qui était attendu dans le cadre du modèle standard de la physique des particules. Une explication possible serait l'existence d'un quatrième type de neutrino, dit stérile, qui interagit encore moins avec la matière ordinaire que les autres neutrinos. Les neutrinos initiaux oscilleraient entre les types muonique et stérile, et se transformeraient en neutrinos électroniques juste avant d'arriver dans le détecteur.

Ce résultat confirmerait donc celui de l'expérience *LSND*...

C'était un des objectifs de *MiniBooNE*. Dans les années 1990, l'expérience *LSND* avait obtenu des résultats qui suggéraient l'existence de neutrinos stériles. Mais aucune autre expérience de neutrinos n'avait obtenu un indice équivalent. Les physiciens ont donc conçu *MiniBooNE* spécifiquement pour mettre à l'épreuve cette hypothèse. Les premiers résultats de *MiniBooNE* semblaient contredire *LSND*, mais maintenant, ses récentes données renforcent cette piste. D'un point de vue statistique, la mesure est solide. L'excès de neutrinos électroniques est bien réel. Il reste donc à examiner si la cause en est

une nouvelle particule non prévue dans le cadre du modèle standard ou s'il s'agit d'autre chose, par exemple une mauvaise maîtrise du bruit de fond. Il faut bien voir que ces mesures sont difficiles et que de nombreux phénomènes naturels perturbent l'expérience et sont compliqués à modéliser.

Quelle est la situation par rapport aux autres expériences de neutrinos ?

Si l'on suppose qu'il existe bien un neutrino stérile, il est caractérisé par deux paramètres : sa masse et son angle de mélange qui détermine comment il oscille vers les trois autres types de neutrinos. Les physiciens établissent alors les valeurs de ces paramètres qui sont compatibles ou exclues par les expériences. Et ce qu'on voit, c'est que certaines grandes expériences de neutrinos, notamment *IceCube*, excluent les paramètres des neutrinos stériles de *MiniBooNE* avec un très fort niveau de confiance statistique.

Mais par ailleurs, les expériences menées auprès de réacteurs nucléaires présentent aussi une anomalie qu'il est possible d'interpréter comme l'effet d'un neutrino stérile. Quand on compare les données de *LSND* et celles des expériences en réacteur, les masses autorisées pour le neutrino stérile étaient compatibles. Avec *MiniBooNE*, ce n'est plus le cas. Or l'anomalie dans les réacteurs est elle-même sujette à débat : neutrino stérile ou incertitude dans les processus nucléaires de fission de l'uranium et du plutonium qui produisent les neutrinos ? La question reste ouverte.

Que faut-il donc penser de ce résultat ?

La situation est confuse. Mais le point positif est qu'il suscitera des idées, des discussions. Malheureusement, il faudra probablement attendre au-delà de 2020 pour en savoir plus, avec par exemple le programme *SBN*, prévu à Fermilab, qui sera composé de plusieurs détecteurs. ■

A. A. Aguilar-Arevalo et al., en ligne le 31 mai 2018
<https://arxiv.org/abs/1805.12028>

ARCHÉOLOGIE

LE BLÉ EN CHINE, UN CADEAU DES STEPPES?

Les datations de grains de blé calcinés découverts au sein du noyau historique chinois suggèrent que des nomades d'Eurasie auraient apporté le blé en Chine.

Depuis quand cultive-t-on du blé en Chine? Si l'on se fonde sur la date que propose une équipe internationale dirigée par Pavel Tarasov, de l'université libre de Berlin, l'exploitation de cette céréale aurait commencé vers le milieu du III^e millénaire avant notre ère.

Beaucoup plus facile à exploiter que le riz, le blé a été cultivé très tôt en Chine, mais bien plus tardivement que sa domestication au Proche-Orient, qui remonte au moins à 8500 avant notre ère. Comme il a été introduit directement sous la forme déjà domestiquée du froment (*Triticum aestivum*), l'idée a été émise que la culture de cette céréale se serait diffusée progressivement du Proche-Orient jusqu'en Extrême-Orient, de la même façon qu'elle s'est diffusée du Proche-Orient à l'Europe.

Des partisans de cette théorie ont soutenu, sur la base de l'étude de quelques vestiges anciens de blé chinois, qu'à mesure de la diffusion, la taille des grains a diminué au long du chemin. Pour tester cette affirmation, Pavel Tarasov et ses collègues ont étudié dix grains de blé calcinés anciens provenant de la région du bas cours du fleuve Jaune. Ils ont comparé leurs largeurs et longueurs aux dimensions moyennes des grains actuels de plusieurs régions d'Asie centrale et occidentale. Au moins cinq de ces grains sont bien plus longs que des grains actuels plus occidentaux, ce qui contredit l'idée qu'une propagation depuis l'Ouest de l'Eurasie aurait produit du blé à grains de plus en plus courts.

Par ailleurs, l'équipe de Pavel Tarasov soutient que le blé aurait été introduit en Chine par le biais d'échanges avec des cultures géographiquement distantes. Pour trouver des arguments en faveur de cette hypothèse, elle a daté au radiocarbone six des dix grains calcinés provenant du bas cours du fleuve Jaune. Trois d'entre eux remontent à plus de deux mille ans avant notre ère, ce qui en fait les plus anciens grains de blé chinois. Cela suggère que cette région est le foyer à partir duquel le blé a diffusé en Chine.

Afin de le confirmer, l'équipe de Pavel Tarasov a cherché à retracer la progression du blé en Chine. Sur la base des grains anciens qu'elle a datés et de soixante-dix autres grains anciens dont les âges avaient déjà été



Contrairement aux idées reçues, la Chine est le pays qui consomme le plus de blé au monde ; elle en produit aussi énormément, et cela depuis l'âge du Bronze.

1/6

DE LA PRODUCTION
MONDIALE LORS DES
BONNES ANNÉES :
LA CHINE EST LE PLUS
GRAND PRODUCTEUR
DE BLÉ DU MONDE.
CE PAYS STOCKE
À PEU PRÈS LA MOITIÉ
DE SA RÉCOLTE
CHAQUE ANNÉE.

déterminés, elle a échafaudé un modèle probabiliste de l'arrivée du blé dans cinq grandes régions de la Chine. Il en ressort que le blé est probablement apparu dans le bas cours du fleuve Jaune vers 2600 avant notre ère, puis quelque sept cents ans plus tard dans le Xinjiang (donc à l'ouest) et mille ans plus tard dans le cours moyen du fleuve Jaune et au Tibet.

Les chercheurs proposent une interprétation de ce schéma de diffusion. Des nomades des steppes (pas encore cavaliers) seraient très tôt venus du nord échanger avec les élites du Nord-Est de la Chine et auraient ainsi introduit le blé, mais aussi le cheval, le mouton, la chèvre et la métallurgie du bronze, dans laquelle ils excellaient. L'arrivée du blé serait donc l'un des marqueurs de l'entrée de la Chine dans l'âge du Bronze. Comme en Mésopotamie et autour de la Méditerranée, le développement de la métallurgie en Chine traduit l'émergence des élites guerrières à l'origine des premiers États. Accompagnée, comme partout ailleurs dans le monde, d'une intensification de la guerre, l'entrée du Nord-Est de la Chine dans l'âge du Bronze a été à l'origine, au III^e millénaire avant notre ère, des premières confédérations de tribus huaxia, qui ont donné le noyau han. ■

FRANÇOIS SAVATIER

T. Long et al., *Nature Plants*, vol. 4, pp. 272-279, 2018

L'ÉRUPTION À HAWAII

Au milieu du quartier résidentiel de Leilani (1 560 habitants) dans le district de Puna, à Hawaï, une fissure s'est ouverte le 3 mai 2018 d'où a bientôt jailli une fontaine de lave de 50 mètres de haut. Depuis, 14 événements répartis tout au long de la fissure ne cessent d'émettre des laves. Celles-ci, après avoir détruit des dizaines de maisons, ont atteint la mer, au contact de laquelle elles créent de dangereuses vapeurs acides. À la date du 5 juin, les laves émises couvraient 21,2 kilomètres carrés.

DES ÉTOILES DANS L'UNIVERS JUVÉNILE

Gâce à l'observatoire ALMA et au VLT, Nicolas Laporte, de l'University College de Londres, et ses collègues ont étudié la galaxie MACS1149-JD1 telle qu'elle était 500 millions d'années après le Big Bang. La présence d'oxygène ionisé dans cette galaxie suggère qu'une génération d'étoiles y avait déjà produit cet élément et a disparu en rejetant l'oxygène dans le milieu interstellaire. D'après des modèles stellaires, ces étoiles existaient déjà 250 millions d'années après le Big Bang.

LE PARASITE QUI S'ADAPTE AU CLIMAT

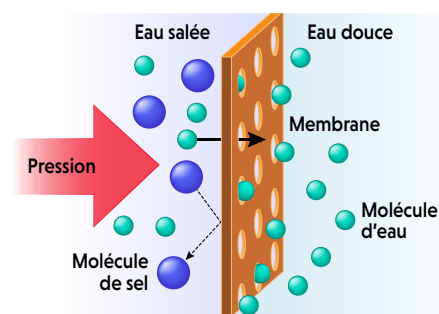
Le champignon *Ophiocordyceps unilateralis* parasite des fourmis. Il manipule sa proie de telle sorte qu'elle se fixe à des feuilles ou à des brindilles, d'où il dissémine ses spores. Raquel Loreto, de l'université d'État de Pennsylvanie, et ses collègues suggèrent que le parasite serait apparu en Asie il y a environ 50 millions d'années. La proie se fixait alors aux feuilles d'arbres tropicaux. Un refroidissement climatique, il y a 47 millions d'années, et l'arrivée d'arbres de régions tempérées ont conduit le parasite à s'adapter et à privilégier la fixation aux brindilles plutôt qu'aux feuilles, qui tombent.

DESSALEMENT AMÉLIORÉ

En 1952, le mathématicien anglais Alan Turing a proposé une théorie de la morphogenèse, susceptible d'expliquer par exemple la formation des taches de la fourrure du guépard. Cette théorie et les «structures de Turing» qu'elle décrit ont inspiré Zhe Tan et son équipe de l'université Zheijang, en Chine, pour développer des dispositifs améliorés de dessalement de l'eau de mer.

Une telle production d'eau douce est un enjeu majeur, en particulier dans des zones arides, et une technique répandue de dessalement repose sur l'osmose inverse, système de filtrage à travers une membrane qui ne laisse passer que les molécules d'eau (voir la figure).

Comment concevoir des membranes plus performantes que celles disponibles? Zhe Tan et ses collègues ont fait appel au principe des structures de Turing, qui est d'utiliser un mélange contenant un activateur et un inhibiteur de réactions chimiques particulières. Si l'inhibiteur diffuse plus rapidement que l'activateur, des structures de Turing peuvent apparaître: d'infimes perturbations de l'homogénéité du mélange s'amplifient et conduisent à la formation de motifs répartis presque périodiquement, tel un pelage présentant des taches ou des bandes colorées.



Dans la technique d'osmose inverse, une membrane filtre l'eau salée en bloquant les ions sodium et chlorure du sel.

L'équipe de Zhe Tan a ainsi synthétisé des membranes de type polyamide à l'interface de deux liquides, l'un contenant un activateur et l'autre un inhibiteur. Les membranes formées présentent alors des structures de Turing – dont la taille est de quelques dizaines de nanomètres – correspondant à des zones d'épaisseurs (donc de perméabilités) différentes, alors que les membranes polyamides classiques sont lisses et homogènes.

La perméabilité des nouvelles membranes vis-à-vis de l'eau est augmentée, sans que cela vienne au détriment de la sélectivité des ions du sel, qui restent, à perméabilité comparable, dix fois mieux arrêtés qu'avec les membranes existantes. ■

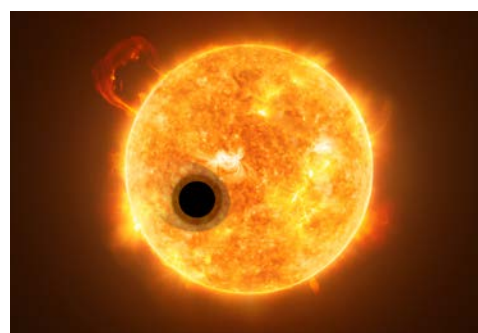
MARTIN TIANO

Z. Tan et al., *Science*, vol. 360, pp. 518-521, 2018

HÉLIUM SUR EXOPLANÈTE

Lors d'un transit, une planète passe devant son étoile et occulte une partie de sa lumière. Si la planète est dotée d'une atmosphère, la lumière stellaire qui traverse le gaz est partiellement absorbée. En utilisant ce phénomène, l'équipe de Jessica Spake, de l'université d'Exeter, au Royaume-Uni, a identifié pour la première fois la présence d'hélium dans l'atmosphère d'une exoplanète, WASP-107b, grâce aux observations dans l'infrarouge du télescope spatial *Hubble*.

L'exoplanète WASP-107b est presque aussi grosse que Jupiter, mais de masse environ huit fois plus faible. Sa gravité retiendrait donc mal l'atmosphère, qui s'échapperait dans l'espace. En combinant les données de *Hubble* avec un modèle radiatif de la haute atmosphère de WASP-107b, les chercheurs concluent que la



La lumière de l'étoile traversant l'atmosphère de la planète WASP-107b a permis d'y détecter la présence d'hélium.

planète perdrait son atmosphère à un rythme compris entre 0,1 et 4 % de sa masse totale par milliard d'années. Une étude qui permet de mieux comprendre la dynamique des atmosphères et le phénomène d'échappement. ■

LAMBERT BARAUT-GUINET

J. J. Spake et al., *Nature*, vol. 557, pp. 68-70, 2018