

associé en Eurasie aux Néandertaliens, dont il constitue un marqueur. Comme la strate où a été trouvé Misliya-1 est bien antérieure à l'arrivée des Néandertaliens au Proche-Orient, les chercheurs avancent que l'apparition du débitage Levallois en Eurasie pourrait être « associée à l'apparition des *H. sapiens* » au Levant. Il s'agit là d'une évolution notable du point de vue des paléanthropologues sur le Moustérien.

La sortie d'Afrique précoce de certains *Homo sapiens* archaïques suggérée par Misliya-1 a aussi l'avantage de régler plusieurs difficultés posées par l'hypothèse d'une expansion d'*H. sapiens* en Eurasie ayant démarré il y a seulement 80 000 ans : la présence d'*H. sapiens* dans le sud de la Chine il y a plus de 100 000 ans et le fait que les Néandertaliens de l'Altai sibérien étaient déjà métissés avec des *H. sapiens* il y a 100 000 ans.

Cela rejoint une idée déjà proposée. Il existe au Levant une culture matérielle qui semble intermédiaire entre l'Acheuléen (l'industrie lithique caractéristique du Paléolithique inférieur) et l'industrie moustérienne : la culture acheuléo-yabroudienne, qui a prospéré il y a entre 350 000 et 200 000 ans. Or un crâne partiel fossile découvert dans les années 1920 sur le site de Mugharet el-Zuttiyeh, en Galilée, en relève. Ce crâne, celui de l'« Homme de Galilée », est d'abord passé pour celui d'un Néandertalien. Toutefois, dans les années 1980, après avoir réétudié tous les fossiles du Levant, le paléanthropologue français Bernard Vandermeersch avait souligné son impression, partagée par nombre de collègues, que le crâne en question, quoique archaïque, était de type *sapiens*.

Avec d'autres observations, notamment le fait qu'on ne connaissait au Levant aucun fossile néandertalien d'âge comparable à celui de l'homme de Galilée, Bernard Vandermeersch en avait déduit qu'une très ancienne population d'*H. sapiens* archaïques s'était établie au Proche-Orient bien avant 130 000 ans – époque à partir de laquelle un réchauffement du climat a attiré au Proche-Orient une population néandertalienne allochtone. Celle-ci s'est ensuite mélangée avec les habitants *sapiens* du Proche-Orient, donnant lieu aux premiers métissages d'*H. sapiens* et d'*H. neanderthalensis*. ■

FRANÇOIS SAVATIER

I. Herskovitz et al.,
Nature, vol. 359, pp. 456-459, 2018

Des primates clonés pour la première fois

Le 8 février 2018, une équipe chinoise de l'Institut de neuroscience à Shanghai a annoncé avoir cloné des macaques crabiers (*Macaca fascicularis*). C'est la première fois que le clonage porte sur des primates, et la question éthique est de nouveau posée. Éclairage par le biologiste et philosophe Georges Chapouthier.



Propos recueillis par FRANÇOIS SAVATIER

GEORGES CHAPOUTHIER,
neurobiologiste et
directeur de recherche
émérite au CNRS

Comment les chercheurs chinois ont-ils procédé pour cloner des macaques ?

Qiang Sun et ses collègues ont procédé par « transfert de noyau de cellules somatiques », c'est-à-dire qu'ils ont remplacé les noyaux d'ovocytes de macaque crabier soit par des noyaux de cellules de macaques adultes, soit par des noyaux de cellules fœtales différenciées – des fibroblastes. Ils ont ensuite créé un environnement chimique favorable au développement des germes représentés par ces ovocytes modifiés. De précédents travaux leur ont inspiré une recette favorisant la reprogrammation de ces cellules. Sur un total de 417 essais, cette recette a conduit à la mise au monde, par une mère porteuse, de deux bébés macaques, issus d'ovocytes à noyaux de fibroblaste...

Depuis Dolly, la brebis clonée en 2007, quel est le bilan du clonage reproductif ?

Pour le moment, assez maigre. Avant ce clonage de macaques, 23 espèces de mammifères ont été clonées, avec le même manque d'efficacité : le mouton avec Dolly, la vache, le chien, la souris, etc. Avec le recul, on constate que les techniques de clonage restent très inefficaces, et les travaux chinois l'illustrent bien. Par ailleurs, les animaux nés semblent vieillir prématurément et en mauvaise santé. Dolly n'a vécu que sept ans au lieu de douze, typiquement, pour un mouton ; et les souris clonées sont obèses... Enfin, on parvient très difficilement à cloner des mâles.

Le clonage est-il malgré tout utile ?

Peu. On peut citer le cas de ce propriétaire de chat tout heureux d'avoir obtenu une copie de son animal ! Ou encore la tentative de clonage presque réussie – presque, car le bébé cloné est

mort d'infection au bout de 48 heures – d'un gaur, une espèce menacée de bovidé sauvage d'Asie du Sud-Est.

Pourquoi alors cloner des primates ?

Les auteurs disent ouvrir la voie vers l'utilisation, en recherche fondamentale ou appliquée, de primates modèles génétiquement uniformes. Selon eux, ces animaux seront utiles dans l'étude par édition génomique (dans la pratique, on modifierait les gènes des fibroblastes avant le transfert de leur noyau) de certaines maladies spécifiques aux primates qu'ils qualifient de « maladies à défauts génétiques définis ». Tout cela reste vague, comme l'intérêt pratique du clonage reproductif, non seulement parce qu'il est très peu efficace, mais aussi parce que l'uniformité génétique qu'il produit est discutable. Il ne faut pas oublier qu'il faut des ovocytes pour produire des clones ; or leur cytoplasme (tout ce que contient la membrane cellulaire, hors le noyau) a une influence sur l'individu produit, notamment via l'ADN des mitochondries. Et la mère porteuse exerce aussi une influence épigénétique sur l'embryon. En comparaison, les lignées expérimentales de souris ou autres obtenues par croisements entre frères et sœurs ont des gènes rigoureusement identiques et ont connu des influences épigénétiques très proches. Mais la recherche continue et les techniques de clonage finiront par s'améliorer...

Ce qui augmentera le risque que des humains soient un jour clonés ?

Oui, toutefois un tel clonage ne sera pas le fait de chercheurs institutionnels, mais de quelque savant dévoyé au service d'une secte, voire d'un entrepreneur cherchant à proposer une nouvelle façon de se reproduire. De toute façon, même efficace, le clonage reproductif produira une vie peu robuste et moins diverse, donc très problématique quant à la perpétuation de l'espèce, qu'il s'agisse d'humains ou d'animaux.

Z. Liu et al., *Cell*, vol. 172, pp. 1-7, 2018

PHYSIQUE

L'EFFET HALL QUANTIQUE... EN DIMENSION 4!

Deux équipes de physiciens ont créé des dispositifs permettant de simuler l'effet Hall quantique tel qu'il se manifesterait dans un espace à quatre dimensions.

Est-il possible de mettre en évidence un phénomène qui, en théorie, ne se manifesterait que dans un espace à quatre dimensions? Cela semble impossible, car nous vivons dans un monde tridimensionnel. Et pourtant, l'équipe d'Immanuel Bloch, de l'institut Max-Planck de physique quantique, près de Munich, et celle de Mikael Rechtsman, de l'université d'État de Pennsylvanie, viennent d'y parvenir: ils ont observé les caractéristiques de l'effet Hall quantique en dimension 4 dans deux dispositifs très différents.

Le physicien américain Edwin Herbert Hall a découvert l'effet qui porte son nom en 1879. Il a montré que lorsqu'un matériau est parcouru par un courant électrique en présence d'un champ magnétique, il se crée dans le matériau une tension perpendiculaire au champ magnétique. Cette tension transversale, la tension de Hall, dépend notamment de la résistance de Hall. Cette dernière, ou son inverse la conductance de Hall, est liée aux propriétés du matériau.

Un siècle plus tard, le physicien allemand Klaus von Klitzing a découvert que l'effet Hall a un pendant quantique. Lorsque l'épaisseur du matériau est très réduite, de sorte que les électrons se déplacent uniquement dans deux dimensions, que la température est proche du zéro absolu et que le champ magnétique est intense, la conductance de Hall prend des valeurs discrètes; elle s'exprime comme le multiple entier d'un coefficient qui ne dépend que de grandeurs fondamentales, la charge électrique de l'électron et la constante de Planck.

L'effet Hall quantique n'existe (en général) pas en dimension 3. En 2000, Shou-Cheng Zhang et Jianping Hu de l'université Stanford, aux États-Unis, et d'autres, ont montré qu'il était possible de généraliser l'effet Hall quantique dans un espace à quatre dimensions. Celui-ci aurait des propriétés spécifiques, par exemple un courant de Hall non linéaire. Mais l'espace physique étant limité à trois dimensions, ce résultat théorique n'était-il qu'une curiosité mathématique?

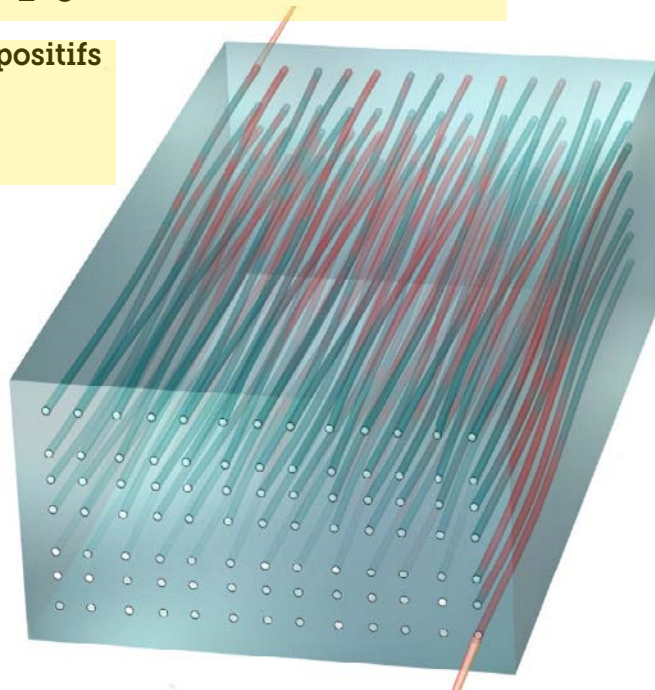


Illustration d'un réseau de guides d'ondes dans un bloc de verre sculpté au laser. Il permet de simuler un espace à quatre dimensions dans l'expérience de l'équipe de Mikael Rechtsman. Dans ce système, la lumière joue le rôle du courant électrique et se propage dans le réseau en accord avec les prédictions de l'effet Hall quantique dans un espace de dimension 4.

L'équipe d'Immanuel Bloch s'est inspirée de travaux du Britannique David Thouless, qui a montré que certains effets dynamiques périodiques appliqués à un système unidimensionnel étaient mathématiquement équivalents à l'effet Hall quantique en dimension 2. Le groupe a alors combiné deux de ces systèmes. L'ensemble, constitué de réseaux d'atomes ultrafroids piégés par des lasers, réalise l'analogue d'un système quadridimensionnel. Immanuel Bloch et ses collègues ont alors observé la non-linéarité du courant de Hall prédite par la théorie.

L'équipe de Mikael Rechtsman, elle, a fait appel à des guides d'ondes photoniques. En effet, il a été montré ces dernières années qu'un motif complexe de guides d'ondes permettait de créer des «dimensions artificielles». Les chercheurs ont conçu leur système pour imiter un espace quadridimensionnel et ont pu observer l'effet Hall attendu.

À quoi peut servir ce résultat? D'après Mikael Rechtsman, il existe dans l'espace tridimensionnel de nombreux systèmes physiques qui présentent des «dimensions cachées». Ce serait le cas, par exemple, de certains alliages métalliques ayant une structure de quasi-cristal. ■

SEAN BAILLY

M. Lohse et al., *Nature*, vol. 553, pp. 55-58, 2018 ;
O. Zilberberg et al., *ibid.*, pp. 59-62

L'EMPREINTE CARBONE... DES BOUILLOIRES !

Autour d'Alejandro Gallego-Schmid, de l'université de Manchester, une équipe de chercheurs a mesuré les performances des différentes bouilloires commercialisées en Europe. Il s'avère que l'empreinte écologique des bouilloires ne dépend que marginalement de leur fabrication : la principale contribution à l'émission de dioxyde de carbone des bouilloires est tout simplement liée au chauffage de trop grandes quantités d'eau. Les chercheurs ont en effet montré que 33 % de l'énergie consommée par une bouilloire sert à chauffer de l'eau inutilement. Si chaque utilisateur européen ne faisait bouillir que la stricte quantité d'eau dont il a besoin, on éviterait l'émission de 4 226 kilotonnes de dioxyde de carbone par an, soit plus du double des émissions de Malte.

LEVALLOIS EN INDE

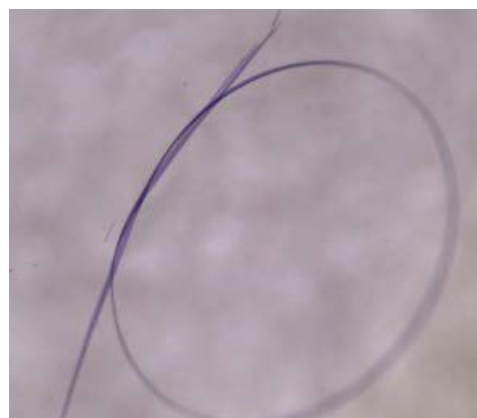
Attirampakkam, en Inde, le débitage Levallois se pratiquait il y a quelque 385 000 ans, a constaté l'équipe de Kumar Akhilesh, préhistorien au centre Sharma, à Chennai. L'apparition de cette technique de taille de la pierre produisant de petits éclats tranchants, dont certains peuvent servir de pointes, est l'un des marqueurs de la fin des cultures acheuléennes typiques du Paléolithique inférieur. Ainsi, le débitage Levallois – ce marqueur d'une transition culturelle d'origine africaine déjà parvenue au Proche-Orient et en Europe il y a 300 000 ans – était déjà présent en Inde il y a près de 400 000 ans. Qui en fut l'initiateur ? Des humains d'origine africaine, c'est certain. Des *Homo sapiens* ? Peut-être, mais cela dépend de la date à laquelle on fait remonter notre espèce, dont le plus vieux fossile date de seulement 320 000 ans.

DES CRISTAUX ÉLASTIQUES

Si la plupart des matériaux cristallins sont durs et cassants, certains font exception et sont dits plastiques. Ils peuvent être tordus, sans se casser, sous de fortes contraintes mécaniques. Mais le diacétylacétonate de cuivre, [un complexe organométallique noté $\text{Cu}(\text{acac})_2$], lui, est exceptionnel : ses cristaux prennent la forme de très longues aiguilles qui sont aussi flexibles qu'un fil de nylon. Anna Worthy, Arnaud Grosjean et leurs collègues de l'université du Queensland, en Australie, ont élucidé le mécanisme qui donne à ce matériau sa souplesse.

Les chercheurs ont étudié des cristaux de $\text{Cu}(\text{acac})_2$ par diffraction aux rayons X. Ils ont obtenu la structure atomique du complexe et la façon dont il s'agence au sein du matériau. Composés d'unités à ion cuivre Cu^{2+} central, entouré de deux ions acétylacétonate riches en électrons, ils ont une structure plane, de forme carrée. Le matériau est ainsi constitué d'un empilement de ces unités, qui réalisent toutes un angle de $41,3^\circ$ par rapport à l'axe de plus grande longueur de ce cristal presque filiforme.

Lorsque le cristal est tordu, cette architecture est globalement conservée et la distance entre les complexes ne varie pas. En revanche, les scientifiques ont observé une très légère rotation de



Grâce à sa structure particulière, le diacétylacétonate de cuivre peut être tordu à volonté et de façon réversible.

chaque structure organométallique sur elle-même : sous contrainte mécanique, l'angle de $41,3^\circ$ peut augmenter, ce qui raccourcit la fibre cristalline, ou au contraire diminuer, ce qui la rallonge. Les modifications sont infinitésimales à l'échelle microscopique, mais, cumulées sur des distances macroscopiques, elles expliquent la grande flexibilité du cristal. Contrairement aux autres cristaux ayant des propriétés plastiques, ce matériau est flexible, c'est-à-dire que ces transformations sont totalement réversibles : si la contrainte mécanique est supprimée, les complexes reprennent leur orientation d'origine. ■

MARTIN TIANO

A. Worthy et al., *Nature Chemistry*, vol. 10, pp. 65-69, 2018

DES SALMONELLES AU MEXIQUE AU XVI^e SIÈCLE

Quelques documents d'époque décrivent une épidémie du nom de «cocoliztli» qui a décimé entre 45 et 60 % des Aztèques du Mexique dans les années 1545-1550. Le pathogène en cause restait à identifier. Pour ce faire, l'équipe de Johannes Krause, de l'institut Max-Planck des sciences de l'histoire humaine, à Iéna, en Allemagne, a utilisé une nouvelle approche de séquençage massif à haut débit d'ADN. Les chercheurs ont utilisé des échantillons trouvés dans les dents de 24 squelettes enterrés dans la zone de l'épidémie. Ils ont ainsi retrouvé la trace d'une salmonelle de sérotype Paratyphi C, qui pourrait avoir joué un rôle dans l'épidémie en question.

Les chercheurs ont aussi mis au jour, sur cette souche, des facteurs de virulence, tels qu'une protéine facilitant l'agrégation bactérienne, qui expliqueraient la mortalité élevée

liée à l'épidémie. Ils émettent donc l'hypothèse que des colons européens, porteurs sains du pathogène, auraient contaminé une population plus fragile. François-Xavier Weill, de l'institut Pasteur à Paris, nuance cette conclusion : « Cette interprétation va trop loin. Le débat est ouvert sur la signification pathogénique de la présence de Paratyphi C chez les victimes. De plus, la technique utilisée ne détecte pas les virus à ARN, comme Ebola, qui seraient aussi de bons candidats. » Autre point restant en suspens : l'étude ne permet pas d'infirmer une présence plus ancienne de salmonelles Paratyphi C sur le continent américain, du fait d'un échantillonnage assez modeste. ■

NOËLLE GUILLON

A. Vagene et al., *Nature Ecology and Evolution*, en ligne le 15 janvier 2018