

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?

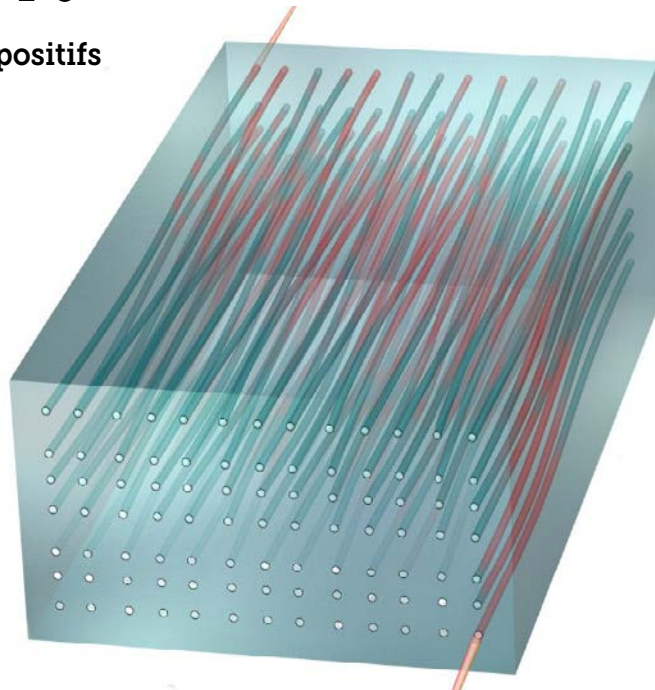


Illustration d'un réseau de guides d'ondes dans un bloc de verre sculpté au laser. Il permet de simuler un espace à quatre dimensions dans l'expérience de l'équipe de Mikael Rechtsman. Dans ce système, la lumière joue le rôle du courant électrique et se propage dans le réseau en accord avec les prédictions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

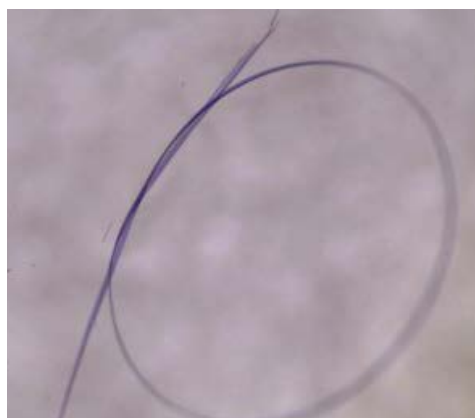
Attirampakkam, en Inde, le débitage Levallois se pratiquait il y a quelque 385 000 ans, a constaté l'équipe de Kumar Akhilesh, préhistorien au centre Sharma, à Chennai. L'apparition de cette technique de taille de la pierre produisant de petits éclats tranchants, dont certains peuvent servir de pointes, 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

EN IMAGE

ON A SÉQUENCÉ LE GÉNOME GÉANT DE L'AXOLOTL

L'axolotl semble curieux, mais c'est un animal de laboratoire commun. Prélevé dans la nature pour la première fois vers 1800 par le naturaliste et explorateur allemand Alexander von Humboldt, *Ambystoma mexicanum* est élevé en laboratoire depuis 1864. Pourquoi cet animal, un amphibien endémique du Mexique, est-il intéressant? Parce que l'évolution des vertébrés terrestres a commencé par une transformation de certains poissons tétrapodes en amphibiens, de sorte que le corps des amphibiens modernes est organisé d'une façon proche de celle du corps de nos premiers ancêtres terrestres. L'axolotl est en outre une salamandre dont il a les talents naturels, par exemple celui de régénérer un membre sectionné. L'annonce du séquençage de son génome par une équipe dirigée par Eugene Myers, de l'institut Max-Planck pour la biologie cellulaire et la génétique, à Dresde, n'est donc pas une nouvelle anodine.

Elle l'est d'autant moins que l'axolotl est doté d'un génome géant: son ADN est composé de 32 milliards de nucléotides, soit dix fois plus que le génome humain! Dans un tel cas, les répétitions de séquences d'ADN sont légion, ce qui rend très difficile l'association des séquences produites par millions dans les machines de séquençage. Pour reconstituer le génome de l'axolotl, les chercheurs ont donc développé un logiciel, nommé Marvel, qui intègre une correction des superpositions trompeuses de séquences.

Eugene Myers et ses collègues estiment que le génome de l'axolotl contient quelque 23 000 gènes codant des protéines, un peu plus que dans le génome humain. Le reste est en grande partie constitué de séquences répétées. Autre constatation, le gène *Pax3*, qui joue un rôle essentiel dans un stade du développement embryonnaire chez les autres vertébrés terrestres, manque à l'axolotl. Son rôle est, semble-t-il, assuré par un autre gène, *Pax7*. Reste maintenant le plus difficile: comprendre comment les particularités du génome de l'axolotl sont liées aux facultés de régénération de cette salamandre. ■

F. S.

S. Nowoshilow *et al.*, *Nature*, vol. 554, pp. 50-55, 2018





© Magnetix/Shutterstock.com

SCIENCE DES MATÉRIAUX

DES PLUMES
SUPERNOIRES

Le plumage de certains oiseaux de paradis est d'un noir profond et intense, un «supernoir». Dakota McCoy, de l'université Harvard, et ses collègues ont étudié la structure de leurs plumes dont la profondeur du noir rivalise avec celle de certains matériaux artificiels spécialement conçus à cet effet.

L'absorption de la lumière par les pigments du matériau donne les teintes noires. Mais une structuration nano et micrométrique peut optimiser cette absorption. En effet, chaque fois que la lumière atteint une surface, une partie est réfléchi, l'autre est transmise et donc absorbée par le matériau. Ainsi, plus la lumière rencontre de surfaces, plus elle est absorbée et plus le noir obtenu est intense.

Dakota McCoy et ses collègues ont analysé les plumes de cinq espèces d'oiseaux de paradis présentant une couleur «supernoire». Leurs coefficients d'absorption sont compris entre 99,69 % et 99,95 %. Ils rivalisent ainsi avec le Vantablack, un matériau artificiel dont le coefficient d'absorption est de 99,965 %.

Les chercheurs ont analysé la structure de ces plumes. Dans une plume d'un noir normal, les barbules, le réseau de filaments bordant les barbes des plumes, forment un motif de peigne régulier dans un plan. Dans une plume super-



Le paradisier festonné (*Ptiloris paradiseus*), un passereau australien, présente un plumage supernoir.

noire, les barbules sont courbées et sortent du plan de la plume, surtout près de la pointe de celle-ci. Et, plus étonnant, les barbules portent des picots micrométriques. L'ensemble crée un réseau dense de microbranches et de cavités dans lequel la lumière est diffusée un grand nombre de fois. D'où une absorption très efficace.

L'efficacité d'absorption des plumes est aussi directionnelle: d'après les chercheurs, les mâles se positionneraient face aux femelles pour maximiser l'effet «supernoir». ■

S. B.

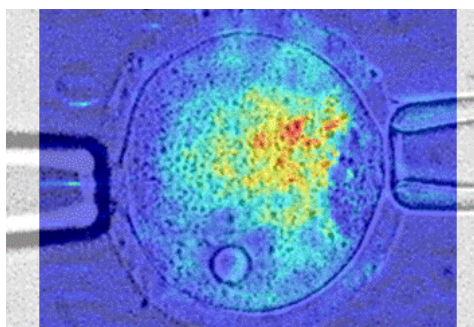
D. E. McCoy et al., *Nature Communications*, vol. 9, article 1, 2018

TECHNOLOGIE

SISMOLOGIE
CELLULAIRE

L'élastographie est une technique d'imagerie médicale utilisée pour mesurer l'élasticité des tissus biologiques et pour détecter des pathologies telles que des tumeurs ou des fibroses. Son principe: faire traverser le tissu observé par des ondes de cisaillement, analyser sa réaction et en déduire son élasticité. Pol Grasland-Mongrain, de l'université de Montréal, et ses collègues ont eu l'idée d'adapter cette méthode pour étudier des cellules et passer ainsi de l'échelle centimétrique à l'échelle micrométrique.

Pour y parvenir, ils ont maintenu, à l'aide d'une micropipette, une cellule (un ovocyte de souris) sous un microscope optique muni d'une caméra ultrarapide. Une seconde micropipette, reliée à un dispositif piézoélectrique, était aussi en contact avec la cellule. «Cette pipette vibre



Une micropipette induit des vibrations dans une cellule pour en mesurer l'élasticité.

et induit ainsi des ondes de cisaillement dans toute la cellule», explique l'un des auteurs de l'étude, Stefan Catheline, de l'Inserm à Lyon. L'analyse des déformations de la cellule permet de cartographier l'élasticité de sa structure. Les chercheurs envisagent de nombreuses applications, comme identifier des tumeurs. ■

DONOVAN THIEBAUD

P. Grasland-Mongrain et al., *PNAS*, en ligne le 16 janvier 2018

EN BREF

AUX ORIGINES
DE L'ÉLÉPHANT
DE BORNEO ?

Deux hypothèses s'affrontaient pour expliquer quand et comment l'éléphant de Bornéo est arrivé sur cette île. L'une suggérait une introduction par l'homme au XVIII^e siècle. Mais une analyse d'ADN mitochondrial indiquait, elle, une arrivée il y a 300 000 ans. Lounès Chikhi, de l'université Paul-Sabatier, à Toulouse, et ses collègues ont réalisé une nouvelle étude qui conclut que l'éléphant est arrivé lors de la dernière glaciation (il y a entre 18 300 et 11 400 ans), à une époque où le niveau des mers était bas.

UN LANCEUR
SUPERPUISSANT

L'entreprise SpaceX, du milliardaire et entrepreneur Elon Musk, a réussi le premier décollage de son nouveau lanceur, Falcon Heavy, dont les boosters se sont posés au sol avec succès (contrairement au corps central qui s'est écrasé en mer accidentellement). Cette récupération des éléments de la fusée diminue les coûts du lanceur. La charge utile est de 68,3 tonnes en orbite basse et 26,7 tonnes en orbite de transfert géostationnaire. Ce qui en fait le plus puissant lanceur actuel.

DU BOIS DUR
COMME DE L'ACIER

Jianwei Song, de l'université du Maryland, et ses collègues ont développé une nouvelle méthode pour densifier le bois et le rendre très résistant: grâce à un traitement chimique suivi d'un chauffage sous forte pression, de nombreuses liaisons hydrogène s'établissent entre les molécules de cellulose. La rigidité est ainsi multipliée par 11, la dureté par 10. La résistance à l'humidité est aussi accrue. De quoi envisager de nombreuses applications.

LA LEÇON DU MOUSTIQUE

Chassez un moustique, il apprendra... à vous fuir. C'est ce qu'ont montré Clément Vinauger, de l'université de Washington, à Seattle, et ses collègues en exposant des moustiques *Aedes aegypti* à l'odeur d'un humain et à un choc mécanique simulant une défense vigoureuse. Les moustiques étaient par la suite fortement repoussés par cette odeur. Les chercheurs suspectaient un neurotransmetteur, la dopamine, d'intervenir dans cet apprentissage. Pour le vérifier, ils ont renouvelé leur expérience avec des moustiques mutants chez lesquels le récepteur de la dopamine le plus abondant était neutralisé. Malgré les chocs reçus, les moustiques étaient toujours attirés par l'odeur humaine! La dopamine serait donc un élément clé de cet apprentissage. Et s'acharner contre le moustique qui hante vos nuits ne serait pas complètement vain... ■

CLAIRE HEITZ

C. Vinauger et al., *Current Biology*, vol. 28(3), pp. 333-344, 2018

EXOPLANÈTE ATYPIQUE

Un Jupiter chaud est une exoplanète semblable à Jupiter, mais très proche de son étoile. Du fait des forces de marée que cette dernière exerce, la planète est en verrouillage gravitationnel et présente toujours la même face à son étoile, tout comme la Lune montre toujours le même côté à la Terre. Par ailleurs, la face éclairée du Jupiter chaud est beaucoup plus chaude que celle dans l'ombre. Mais la zone la plus chaude de la surface n'est pas le point sub-stellaire (le point situé face à l'étoile), car des vents violents la décalent vers l'est. C'est du moins ce qui avait été constaté sur bon nombre de Jupiters chauds. Toutefois, Lisa Dang, de l'université McGill, à Montréal, et ses collègues ont découvert une exception, l'exoplanète CoRoT-2b.

Pour expliquer le décalage vers l'ouest de sa zone la plus chaude, une hypothèse est que la planète n'est pas encore totalement verrouillée, mais d'autres pistes sont aussi considérées. Des hypothèses à explorer pour mieux comprendre ces planètes extrêmes. ■

LUCAS STREIT

L. Dang et al., *Nature Astronomy*, en ligne le 22 janvier 2018

LA PLUS ANCIENNE TOMBE SCYTHE



Le tumulus d'Arzhan 0 est situé dans la partie de la Sibérie où serait née la culture des Scythes. La tombe circulaire se distingue du paysage marécageux qui l'entoure par les végétaux qui y poussent.

L'archéologie progresse pour montrer que la culture des Scythes – un peuple de cavaliers nomades – est née il y a quelque 3000 ans en Sibérie. Avec des collègues, Gino Caspari, de l'université de Berne, a réussi à identifier la plus ancienne tombe princière scythe de Sibérie jamais trouvée. Elle remonte à l'âge du Bronze.

Cette structure circulaire d'environ 150 mètres de diamètre est isolée en terrain marécageux, à cinq heures de progression difficile en véhicule tout-terrain du plus proche point habité. Après avoir vérifié sur des images satellitaires qu'elle ressemble à un kourgane – c'est-à-dire, en russe, à un tumulus funéraire –, les chercheurs sont allés sur place pour la sonder. Ils ont pu prouver que ce tumulus, nommé Arzhan 0, a la même structure qu'Arzhan 1, situé à 10 kilomètres au nord-est. Or Arzhan 1 est d'une importance majeure, car c'est après sa fouille, dans les années 1970 par l'archéologue soviétique Mikhail Gryaznov, que l'on a commencé à comprendre où chercher les origines de la culture scythe: en Sibérie, du côté du haut plateau traversé par la rivière Uyk.

Arzhan 1 a été pillé, mais les chercheurs soviétiques ont établi qu'un prince et sa compagne y ont été inhumés accompagnés de très riches offrandes funéraires après un énorme banquet au cours duquel des personnes et des centaines de chevaux ont été sacrifiés. Arzhan 1, qui date du tournant du IX^e et du VIII^e siècles avant notre ère, passait pour la plus ancienne tombe princière scythe connue, mais la datation des bois trouvés à l'intérieur d'Arzhan 0 a révélé que cette tombe est antérieure et remonte au IX^e siècle avant notre ère.

En outre, son contenu pourrait être intact, puisqu'en réalisant leur sondage, les chercheurs ont trouvé un sol en partie gelé. Arzhan 2, un kourgane de l'âge du Fer datant du VII^e siècle avant notre ère, donne une mesure des trésors qui reposent peut-être à Arzhan 0: les archéologues allemands qui ont fouillé cette tombe au début des années 2000 y ont trouvé plus d'un millier d'objets d'or autour des deux défunts exhumés. Outre des armes magnifiquement ornées, les offrandes funéraires comprenaient des vases et des chevaux harnachés. Un collier en or massif pesait pas moins de deux kilogrammes. Que livrera Arzhan 0? À suivre! ■

F. S.

G. Caspari et al., *Archaeological Research in Asia*, en ligne le 11 novembre 2017

GÉNÉTIQUE

DES SÉQUENCES D'ADN PAS SI INUTILES

Certaines chaînes de nucléotides, conservées à l'identique dans le génome de différentes espèces, ne semblaient pas indispensables. Une étude vient de démentir cette idée.

Le dernier ancêtre commun à l'homme, à la souris et au rat vivait il y a environ 80 millions d'années. Pourtant, on retrouve dans les génomes de ces vertébrés de longues séquences d'ADN d'au moins 200 paires de nucléotides qui ont été conservées à l'identique au cours de l'évolution. Or plus de la moitié de ces séquences «ultraconservées» ne correspondent pas à l'ADN de gènes codant des protéines, mais à de l'ADN dit non codant. Une équipe menée par Diane Dickel, du Laboratoire Lawrence-Berkeley, aux États-Unis, a montré que la suppression de séquences ultraconservées chez les souris, si elle n'affecte pas leur viabilité et leur fertilité, altère néanmoins leur développement.

«La pression de sélection, au cours de l'évolution, tend à conserver des séquences aux fonctions essentielles, dont la perturbation est délétère, conduisant par exemple à la mort ou à la stérilité de l'organisme», explique Frédérique Peronnet, de l'IBPS (institut de biologie Paris-Seine). C'est pourquoi, en 2007, les chercheurs d'une équipe californienne furent les premiers surpris lorsqu'ils constatèrent que les lignées de souris chez qui on avait supprimé quatre de ces séquences ultraconservées (suppression d'une séquence différente pour chaque lignée) étaient à la fois viables et fertiles.

En partant notamment de ce résultat, Diane Dickel et ses collègues ont voulu vérifier dans quelle mesure la suppression de ces séquences ultraconservées ne provoquait pas d'altération chez la souris. Pour cela, ils se sont intéressés à quatre séquences ultraconservées situées sur le chromosome X, à proximité plus ou moins grande du gène *Arx*. Les séquences étudiées sont des «amplificateurs» de ce gène, c'est-à-dire qu'elles gouvernent son expression. Le gène *Arx*, quant à lui, joue un rôle important au cours du développement cérébral. Or il arrive que des amplificateurs soient efficaces *in vitro*, mais que, *in vivo*, leur perte ne soit pas aussi dommageable pour le développement.

En utilisant la technique d'édition génomique CRISPR-Cas9, les chercheurs ont supprimé, chez des souris, soit l'un des quatre amplificateurs, soit des combinaisons de deux d'entre eux. Les souris présentaient alors un



La suppression de certaines séquences d'ADN non codant, mais ultraconservées, auraient bien une influence négative sur le développement.

481

C'EST LE NOMBRE DE SÉQUENCES D'ADN COMPORTANT PLUS DE 200 PAIRES DE BASES QUI SONT PARFAITEMENT CONSERVÉES À LA FOIS CHEZ L'HUMAIN, LE RAT ET LA SOURIS.

retard de croissance fœtale ou une anomalie du développement cérébral. Et quand on supprimait une paire d'amplificateurs, l'effet sur le développement cérébral était plus marqué. D'après Diane Dickel et ses collègues, la perte de ces séquences ultraconservées entraînerait une altération du développement, difficilement décelable à l'échelle du laboratoire; cependant, une sélection négative s'exercerait probablement contre ces phénotypes à l'échelle de l'évolution.

«Ces résultats montrent qu'une séquence qui se conserve parfaitement ne correspond pas nécessairement à une fonction essentielle», souligne Frédérique Peronnet. «C'est une réponse cinglante à l'idée que la suppression des séquences ultraconservées n'avait pas d'impact», déclare quant à lui Stanislas Lyonnet, directeur de l'institut des maladies génétiques Imagine, à Paris. «Néanmoins, il faut être prudent et ne pas généraliser immédiatement. L'équipe de Diane Dickel a choisi un endroit bien précis sur le chromosome X, qui comporte plusieurs séquences ultraconservées. Il faut poursuivre les recherches pour voir si d'autres séquences ont une importance semblable partout dans le génome humain.» ■

ALINE GERSTNER

D. Dickel *et al.*, *Cell*, vol. 172, n° 3, pp. 491-499, 2018