

Chimie

Trois pionniers de la réparation de l'ADN

Tomas Lindahl, Paul Modrich et Aziz Sancar ont été récompensés pour la description de trois mécanismes moléculaires clés mis en œuvre dans la cellule pour réparer l'ADN.

L'ADN, qui porte une bonne part du code génétique d'une cellule, n'est pas aussi stable qu'on pourrait le penser. Que ce soit de façon spontanée, sous l'effet d'une perturbation (rayonnement ultraviolet, radicaux libres...) ou durant la réplication de l'ADN lors de la division cellulaire, il s'y produit des mutations en permanence. En général, la cellule corrige ces erreurs et elles passent inaperçues. Les trois lauréats – Tomas Lindahl, de l'institut Francis Crick et du laboratoire Clare Hall, au Royaume-Uni, Paul Modrich, de l'institut médical Howard Hughes et de l'école de médecine de l'université Duke, aux États-Unis, et

visible la relançait. Il existait donc un mécanisme qui, activé par la lumière, réparait les cellules endommagées.

Les biologistes ont peu à peu compris que tout se passait au niveau de l'ADN – les dégâts dus aux ultraviolets et les réparations photo-activées – et que la lumière réparatrice devait modifier l'ADN en activant une réaction enzymatique. Dans les années 1960, notamment, on perçoit que les réparations se font par suppression des constituants endommagés de l'ADN – on les nommera plus tard réparations par excision de nucléotides.

En 1966, chez la bactérie, trois gènes sont identifiés qui,

Entre-temps, au début des années 1970, Tomas Lindahl a ajouté une pierre à l'édifice. Il a montré que même sans ultraviolets, même sans agression extérieure, l'ADN n'est pas stable et se modifie. Spontanément, diverses réactions peuvent s'y produire : oxydation, méthylation, désamination... Ces réactions perturbent les constituants de l'ADN – les nucléotides et, plus spécifiquement, les bases A, T, G, C qui en forment le noyau dur et les distinguent les uns des autres –, ce qui augmente le risque de mutation. Tomas Lindahl a même identifié un mécanisme fréquent dans les cellules, qui conduit d'une de ces réactions à

le mécanisme chez la bactérie, puis dans les cellules humaines. Celui-ci ressemble à une chaîne de production : une enzyme détecte une base endommagée et désentortille l'ADN à cet endroit, ce qui éjecte la base. Une autre enzyme coupe l'ADN à l'endroit mutilé, et une troisième vient nettoyer le trou et le combler. Une quatrième signale l'assemblage et aide la troisième à quitter les lieux.

Parallèlement, au cours des années 1970, les biologistes comprennent aussi que même pendant la réplication de l'ADN, lors de la division cellulaire, des erreurs de copie se produisent et sont corrigées, par un mécanisme que l'on nomme réparation de mésappariements. Paul Modrich explicite le mécanisme dans les années 1980 grâce à un test *in vitro*, hors des cellules, qu'il a mis au point.

La machinerie comporte elle aussi plusieurs enzymes : l'une d'elles repère l'erreur sur l'ADN et s'y lie, une autre lui indique sur quel brin d'ADN se trouve le problème (lorsqu'il se réplique, l'ADN forme deux brins enlacés – le brin répliqué et sa réplique –, et seule la réplique porte l'erreur), d'autres encore coupent le brin, l'écartent et le « réécrivent » correctement...

Toutes ces découvertes faites chez les bactéries ont depuis eu leurs pendant dans les cellules de mammifères. Elles ont mis en évidence la multiplicité des mécanismes en œuvre dans les cellules pour réparer l'ADN et ont notamment permis de mieux comprendre le lien entre plusieurs maladies, telles que certaines formes héréditaires de cancer colorectal, et des mutations sur des enzymes clés pour ces mécanismes.

Marie-Neige Cordonnier

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2015/



La cellule corrige en permanence les erreurs apparaissant sur l'ADN, tel ce nucléotide anormal.

Aziz Sancar, de l'université de Caroline du Nord – ont chacun explicité un des mécanismes moléculaires qui permettent à la cellule d'effectuer ces corrections.

L'histoire a probablement commencé à la fin des années 1940, quand on s'est aperçu que les cellules étaient capables de se réparer. Albert Kelner, aux États-Unis, étudiait comment les bactéries réagissaient à une exposition aux ultraviolets (on savait déjà que les ultraviolets peuvent tuer les cellules). Il observa que les ultraviolets interrompaient leur croissance, mais que la lumière

lorsqu'ils sont défectueux, empêchent les cellules de se réparer après une exposition aux ultraviolets. Reste à savoir comment ils fonctionnent. Dans les années 1970, Aziz Sancar met au point une technique qui lui permet d'identifier les protéines codées par ces trois gènes et leurs fonctions. Le mécanisme qu'il explicite en 1983 est bien une histoire d'excision : les enzymes repèrent la région endommagée, la coupent et l'éliminent, tandis qu'une autre enzyme vient réécrire la partie manquante de l'ADN.

une mutation de l'ADN. Or cette mutation n'est pas quelconque : une base C se transforme en une base... U, pourtant absente du code de l'ADN. Cela signifie donc que la cellule corrige cette erreur. Tomas Lindahl se convainc lui aussi que le mécanisme en jeu dans ce type de réparation est une réaction enzymatique.

Les découvertes s'enchaînent alors. En 1974, il découvre une première enzyme chez les bactéries, puis toute une famille qui orchestre ce qui devient le mécanisme de réparation par excision de base. Il reconstitue

Médecine

La lutte contre les maladies parasitaires récompensée

Les lauréats du prix Nobel de médecine ont découvert des traitements contre les filarioses, dues à des vers nématodes, et le paludisme, ces affections étant parmi les plus dévastatrices. La parasitologie est enfin honorée.

Le prix Nobel de médecine 2015 a été décerné d'une part à l'Irlandais William Campbell (université Drew à Madison, aux États-Unis) et au Japonais Satoshi Ōmura (université Kitasato, au Japon), d'autre part à la Chinoise Youyou Tu (Académie chinoise de médecine traditionnelle).

Les deux premiers ont découvert un nouveau type de médicament, l'ivermectine et ses dérivés, actifs contre l'onchocercose (ou cécité des rivières), due au ver nématode *Onchocerca volvulus*, un membre du groupe des filaires. Cette affection touche 37 millions d'individus, surtout en Afrique, mais aussi en Amérique centrale, là où vivent les insectes vecteurs, des diptères du groupe des Simuliidés, notamment l'espèce *Simulium damnosum*.

Le microbiologiste Satoshi Ōmura s'intéresse depuis longtemps aux *Streptomyces*, un groupe de bactéries du sol connues pour produire de nombreux composés antimicrobiens,

par exemple la streptomycine. Le Japonais a réussi à isoler plusieurs souches bactériennes et à les cultiver en laboratoire.

Le parasitologue William Campbell a ensuite montré qu'une substance produite par ces bactéries était efficace contre des parasites d'animaux domestiques. Le produit en question, l'ivermectine, a alors été amélioré chimiquement en un nouveau composé, l'ivermectine. Testée chez des humains, cette substance s'est révélée active contre les larves des parasites de l'onchocercose. Elle est aussi efficace contre d'autres filarioses. Toutefois, des indices laissent présager l'apparition de souches résistantes. L'espoir viendra peut-être de la moxidectine, un composé plus performant en cours de test.

Le paludisme est une autre parasitose très répandue : on compte quelque 200 millions de malades dans le monde et environ 600 000 décès chaque année. Cette fois, l'agent

est un parasite unicellulaire du genre *Plasmodium* transmis par les moustiques anophèles.

Youyou Tu a identifié un nouveau composé efficace et à même de remplacer les molécules (la chloroquine et la quinine) devenues obsolètes. Elle a passé au crible les herbes traditionnelles utilisées en Chine contre le paludisme et a repéré un bon candidat, un extrait de l'armoise annuelle, *Artemisia annua*. Le principe actif – l'artémisinine – a ensuite été isolé et son efficacité prouvée. L'artémisinine et ses dérivés sont aujourd'hui prescrits dans le cas de thérapies combinées à base d'artémisinine (ACT) qui consistent à associer la molécule d'origine végétale à un composé qui potentialise la première et freine l'apparition de résistances. Les ACT sont les seuls traitements contre le paludisme recommandés par l'OMS.

Loïc Mangin

www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2015/



Un anophèle, vecteur du parasite du paludisme.

Physique

Les neutrinos de nouveau à l'honneur

Takaaki Kajita et Arthur McDonald se partagent le prix Nobel de physique pour leur rôle dans la mise en évidence expérimentale de l'oscillation des neutrinos.

Prédits en 1930 par Wolfgang Pauli, les neutrinos n'ont été observés pour la première fois qu'en 1956. Ces particules interagissent très faiblement avec la matière, ce qui les rend difficiles à détecter. Des détecteurs gigantesques sont nécessaires.

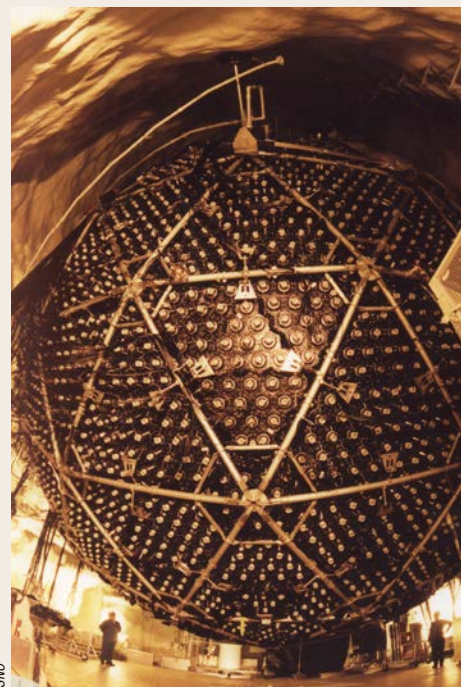
On a mesuré les propriétés de ces particules à l'aide de nombreuses expériences. Par exemple, les physiciens pensaient que les neutrinos avaient une masse nulle, comme les photons. Mais rien n'excluait que leur masse

soit non nulle, mais très petite. Comment le vérifier ? Une masse non nulle autorisait, en théorie, un phénomène nommé oscillation des neutrinos. Il existe trois types – ou « saveurs » – de neutrinos : le premier est associé à l'électron ; on le qualifie de neutrino électronique. Les deux autres, le neutrino muonique et le neutrino tauique, sont associés aux versions plus lourdes et instables de l'électron, le muon et le tau. L'oscillation signifie qu'un neutrino peut changer de saveur spontanément.

Le Japonais Takaaki Kajita et le Canadien Arthur McDonald sont récompensés pour leur contribution majeure aux expériences *Super-Kamiokande*, au Japon, et *SNO (Sudbury Neutrino Observatory)*, au Canada, qui ont confirmé le phénomène d'oscillation des neutrinos. Avec leurs équipes, ils ont ainsi démontré que ces particules ont une masse.

S. B.

www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2015/



Le détecteur de neutrinos SNO, au Canada.

Le dilemme du mouton

Dans un champ, les moutons ont des comportements collectifs qui alternent entre des phases où les ovins se dispersent lentement et d'autres où ils se regroupent très vite. Francesco Ginelli, de l'université d'Aberdeen en Écosse, et ses collègues ont modélisé la dynamique des moutons. Ils montrent que l'animal imite ses voisins, ce qui conduit à un équilibre entre le besoin de maximiser l'espace exploré pour trouver de la nourriture et la volonté de rester en contact avec ses congénères pour bénéficier de la protection du groupe en cas de menace.

Nos ancêtres dormaient peu

Nos ancêtres africains dormaient-ils bien plus que nous ? Il semble que non, selon l'équipe de Jerome Siegel, de l'université de Californie à Los Angeles, qui a étudié trois sociétés préindustrielles résidant à des latitudes tropicales en Afrique ou en Amérique. Ces populations, dont les chercheurs estiment le rythme de sommeil proche de celui de nos ancêtres, se couchent plus de trois heures après le soleil, dorment un peu moins de six heures et demie par nuit et font assez peu de siestes. Reste que dans nos sociétés, de multiples études pointent un manque de sommeil néfaste.

Une naine blanche affamée

De nombreuses étoiles terminent leur vie sous la forme de naine blanche. Contrairement à ce qu'on pensait, l'atmosphère de certaines naines blanches est riche en éléments lourds. Andrew Vanderburg, du centre d'astrophysique Harvard-Smithsonian, et ses collègues ont confirmé l'explication la plus probable : grâce au télescope spatial *Kepler*, ils ont découvert des petites planètes laissant une traînée de débris autour de la naine blanche WD 1145+017. Cet astre se nourrit de ces débris et s'enrichit ainsi en éléments lourds.

Climatologie

Volcans et climat global : un impact mieux simulé

Pour les climatologues, les cernes des arbres sont une précieuse mémoire du climat. On peut par exemple y lire les variations de température ou de pluviométrie d'une année à l'autre. L'étude de ces anneaux de croissance – la dendrochronologie – permet ainsi d'estimer la baisse de température à l'échelle du globe qui accompagne des éruptions volcaniques massives, telles celles du Samalas en 1257 et du Tambora en 1815 (les plus importantes depuis 1500 ans, toutes deux en Indonésie). Cependant, les données dendrochronologiques et les simulations numériques livrent des résultats quantitatifs différents.

Une équipe menée par Markus Stoffel, de l'université de Genève, a affiné l'analyse des cernes.

Jusqu'à présent, les spécialistes s'appuyaient sur l'épaisseur annuelle des cernes, mais l'équipe de Markus Stoffel a montré que la partie sombre (le bois tardif fabriqué au cours de l'été) est plus sensible aux variations exceptionnelles des conditions climatiques.



En 1991, l'éruption du Pinatubo a entraîné une baisse de température moyenne d'environ 0,4 °C.

Les chercheurs ont reconstruit un registre corrigé de la température estivale de ces 1500 dernières années. Les éruptions volcaniques y sont clairement décelables, corrélées à des baisses de température.

Parallèlement, l'équipe de Myriam Khodri, de l'institut Pierre-Simon-Laplace, a précisé les simulations en intégrant un modèle physique détaillé qui décrit le cycle d'évolution des aérosols, de leur formation lors de l'éruption jusqu'à leur sédimentation. Sans ces améliorations, les simulations surestimaient la baisse des températures.

Les deux équipes ont montré un bon accord quantitatif entre les deux méthodes.

S. B.

Nature Geoscience,
en ligne le 31 août 2015

Insolite

Un utérus moderne de 48 millions d'années

Une jument gestante fossilisée il y a 48 millions d'années prouve que l'utérus mammifère était alors déjà proche de sa configuration actuelle. En grande partie conservé, l'appareil reproducteur de cette jument mise au jour sur le site allemand de Messel consiste en une masse sombre enfermant le fœtus (*ellipse*), qui dessine l'utérus. Son examen indique que le système de reproduction des mammifères a évolué bien plus tôt qu'on ne le soupçonnait, probablement à l'époque où les mammifères couraient encore entre les pattes des dinosaures.



Jens Lorenz-Franzen, Institut de recherche Senckenberg

Physique



Une expérience de Bell sans faille

L'existence de l'intrication et de la non-localité quantiques a été testée de nombreuses fois. Mais jusqu'à présent, tous les dispositifs souffraient de failles subtiles. Une nouvelle expérience évite ces écueils.

Albert Einstein est connu pour avoir émis de nombreuses objections à la physique quantique, en particulier à une de ses prédictions, l'intrication quantique. En 1935, avec Boris Podolsky et Nathan Rosen, il a formulé ses critiques sous la forme d'un paradoxe, le paradoxe EPR. Selon ces trois physiciens, l'intrication quantique de deux particules impliquait l'existence d'une interaction se propageant plus vite que la lumière. Pour éviter le conflit avec la théorie de la relativité restreinte, il faut alors supposer que la physique quantique décrit la réalité de façon incomplète et qu'il existe des variables cachées, inconnues des physiciens, qui donnent l'illusion de l'intrication quantique.

Le physicien danois Niels Bohr, lui, ne pensait pas qu'il y avait conflit avec la relativité restreinte. Selon lui, l'intrication quantique est un phénomène non local : il ne dépend pas des positions des particules dans l'espace. Un système intriqué forme un tout dont on ne peut pas décrire séparément les composants.

Des expériences ont été conçues pour confirmer la non-localité de l'intrication, mais toutes présentent des failles,

ou échappatoires. Une équipe menée par Ronald Hanson, de l'université de Delft, aux Pays-Bas, a conçu une nouvelle expérience sans faille.

L'intrication quantique lie l'état de deux particules ou plus, même si elles sont très éloignées les unes des autres. Prenons un système intriqué de deux particules dont les spins (leurs moments cinétiques intrinsèques) sont toujours opposés. Lorsqu'on mesure le spin d'une des particules, le résultat est aléatoire (une orientation ou l'autre). Mais instantanément, le spin de la seconde particule prend l'orientation opposée, même si les particules sont trop éloignées l'une de l'autre pour avoir le temps d'échanger une information (à la vitesse de la lumière au plus).

Le débat lancé par Einstein et Bohr a peu évolué jusqu'en 1964, lorsque le physicien nord-irlandais John Bell propose un principe d'expérience pour trancher la question. Il établit des inégalités, dites de Bell, qui sont évaluées au cours de l'expérience. Si les inégalités sont violées, alors l'hypothèse des variables cachées sera exclue ; il faudra se résoudre à admettre le caractère non local de la nature.

En 1982, l'équipe d'Alain Aspect, de l'Institut d'optique à

Orsay, met au point une expérience pour vérifier les inégalités de Bell. Elle fait appel à une source de paires de photons intriqués dont on mesure la polarisation avec deux instruments assez éloignés l'un de l'autre pour éviter l'« échappatoire de communication » (ou échappatoire de localité), c'est-à-dire une communication à la vitesse de la lumière entre les photons intriqués.

L'équipe d'Alain Aspect a montré que les inégalités de Bell sont violées, ce qui confirmait le caractère non local de la physique quantique. Cependant, cette conclusion nécessite de faire une hypothèse, car cette expérience souffre d'une « échappatoire de détection ». En effet, les photons sont facilement absorbés et tous ne sont pas détectés. On peut imaginer que les photons détectés violent artificiellement les inégalités de Bell, ce qui ne serait pas le cas de l'ensemble des photons. Pour que l'expérience d'Alain Aspect soit concluante, il faut supposer que l'échantillon constitué par les photons intriqués détectés est représentatif.

Ronald Hanson et son équipe ont mis au point un système qui traite les deux failles en même temps. L'idée avait déjà été

suggérée par Bell. Il faut un sous-système qui assure que le dispositif quantique est prêt à être mesuré.

L'expérience comprend deux diamants – distants de près de 1,3 kilomètre –, qui présentent des défauts dans le réseau cristallin. Ces défauts constituent des systèmes quantiques individuels dotés chacun d'un spin électronique. Les physiciens forcent les diamants à émettre des photons intriqués avec l'état de spin du défaut. Ces photons sont guidés vers un dispositif placé entre les deux sites initiaux afin d'être détectés. La mesure de ces photons transforme (instantanément) leur intrication avec les spins des défauts en une intrication entre ces spins et assure que cette nouvelle intrication est prête à être mesurée. L'échappatoire de détection est fermée dans l'expérience, car les spins sont mesurés à chaque fois. Ces mesures sont effectuées en moins de 4 microsecondes pour empêcher l'échappatoire de communication. Les physiciens ont étudié 245 paires de spins de défauts dans cette expérience et ont alors montré que les inégalités de Bell étaient violées. La physique quantique est bien non locale.

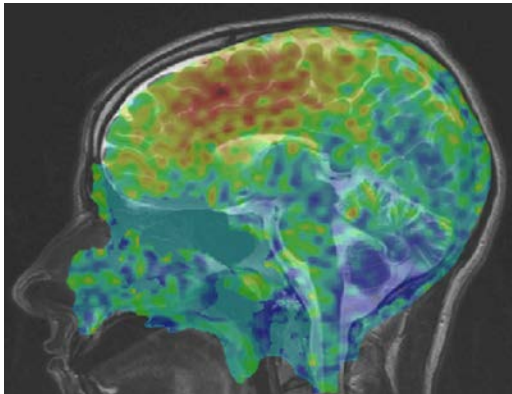
S. B.

Nature, en ligne le 21 octobre 2015

Neurosciences

Palper virtuellement le cerveau

Une nouvelle méthode d'imagerie se révèle capable de localiser des zones plus ou moins dures dans le cerveau. Elle pourrait être utile pour détecter des tumeurs ou les maladies neurodégénératives, telles que la maladie d'Alzheimer.



En mesurant les vibrations naturelles du cerveau par IRM et en déterminant leurs longueurs d'onde (*croissantes du bleu au rouge*), les chercheurs calculent l'élasticité des tissus, susceptible de trahir la présence de certaines maladies.



© Inserm/Stefan Catheline

1
millimètre

C'est l'amplitude maximale des vibrations naturelles créées par la circulation du sang et du liquide céphalorachidien dans le cerveau

Est-ce le début de la sismologie cérébrale ? C'est en tout cas des techniques des sismologues que s'est inspirée l'équipe de Stefan Catheline, de l'Inserm, pour élaborer une nouvelle méthode d'imagerie, qui vise à mesurer les variations d'élasticité dans le cerveau.

Ces informations, habituellement recueillies par palpation dans les autres régions du corps, sont précieuses pour le diagnostic de diverses maladies. La palpation permet par exemple de repérer des zones plus dures qui correspondent à des tumeurs. Depuis le début des années 2000, des méthodes virtuelles sont disponibles. Le principe est de créer une petite vibration à la surface de la peau et d'analyser sa propagation par des techniques d'imagerie. On remonte ainsi aux propriétés mécaniques des différents tissus.

Ces méthodes sont cependant difficiles à appliquer au cerveau, isolé de l'extérieur par le crâne et le liquide céphalorachidien. On y parvient tout de même, mais avec une faible précision et au

prix de vibrations assez fortes, qui véhiculent une grande énergie acoustique. De ce fait, la technique n'est pas utilisée pour des examens cliniques de routine.

Les chercheurs se sont alors inspirés des sismologues, qui savent depuis peu reconstruire les propriétés des profondeurs terrestres en analysant le bruit sismique. Ce dernier résulte des innombrables sources qui font faiblement vibrer le sol, tel le choc des vagues sur la côte. Le cerveau aussi est agité d'un bruit sismique, car la pulsation du sang dans les artères et la circulation du liquide céphalorachidien y créent de multiples vibrations.

Les auteurs de l'étude ont partiellement reconstitué ces vibrations en prenant une image de l'intérieur du cerveau toutes les secondes et demie, grâce à l'imagerie par résonance magnétique (IRM). Ils ont ensuite calculé l'élasticité des zones traversées par les « ondes sismiques cérébrales » grâce aux algorithmes utilisés en sismologie.

Les chercheurs ont d'abord validé leur méthode sur un matériau d'élasticité connue, puis chez deux volontaires humains. À quelques exceptions près, ils ont obtenu des valeurs en accord avec les techniques fondées sur des vibreurs. Cependant, de nombreux essais précliniques et cliniques sont encore nécessaires pour prouver l'efficacité de la méthode.

Selon Stefan Catheline, la résolution est déjà suffisante pour le diagnostic de diverses maladies. « La maladie d'Alzheimer, la sclérose en plaques et les tumeurs impliquent des changements dans la dureté des tissus cérébraux », explique-t-il. Les caractéristiques de ces changements restent à préciser, car peu d'études ont mesuré ce paramètre dans le cerveau, mais les « vibrations inexploitées qui emplissent les tissus vivants », selon les termes des chercheurs, sont déjà pleines de promesses.

G. J.

A. Zargani et al., PNAS, en ligne le 5 octobre 2015

Astrophysique

Tchouri, deux corps en un

En juillet 2014, les images de la caméra OSIRIS de la sonde *Rosetta* ont révélé la forme en deux lobes de la comète Tchouri, avec une « tête » et un « corps » reliés par un mince cou. Quelle est l'origine de cette structure étonnante ? Deux scénarios ont été avancés : la fusion de deux objets ou l'érosion par dégazage au niveau du cou.

Les astrophysiciens ont étudié 103 zones plates ressemblant à des terrasses sur les deux lobes. Ces structures suggèrent que le noyau de la comète est constitué de strates, comme un oignon. En construisant un modèle en trois dimensions indiquant l'inclinaison des plans, les chercheurs ont montré que la comète est un assemblage de deux systèmes de stratification, chacun centré sur l'un des deux lobes. Tchouri est donc née de la fusion de deux corps cométaires.

S. B.

M. Massironi et al., *Nature*, en ligne le 28 septembre 2015

Préhistoire

Le cousin africain des Sardes

L'équipe d'Andrea Manica, de l'université de Cambridge, a séquencé le tout premier génome africain fossile : celui d'un chasseur-cueilleur enterré dans la grotte éthiopienne de Mota il y a 4500 ans. Très proche du génome des Aris, un peuple local, il contient aussi 4 à 7 % de gènes absents chez tous les Subsahariens. Il s'avère que ces gènes coïncident presque avec ceux des Sardes actuels, que l'on sait hérités directement de ceux des premiers paysans en Europe, originaires du Proche-Orient.

Comme les Sardes, le chasseur de Mota descend donc des premiers agriculteurs proche-orientaux, qui ont investi l'Europe il y a quelque 7500 ans. Cette constatation rejoint les résultats, publiés en 2014, du Projet d'étude des variations du génome africain auquel participe Andrea Manica. Ses chercheurs avaient été très surpris de constater que les génomes de 1481 Subsahariens provenant de 18 groupes ethnolinguistiques différents conduisaient à inférer l'existence, il y a plus de 7500 ans, d'un flux de gènes entre Eurasie et Afrique. Cet héritage génique des premiers paysans proche-orientaux est aujourd'hui commun aux Européens et aux Africains subsahariens.

François Savatier

M. Gallego Llorente et al., *Science*, en ligne le 8 octobre 2015

Géophysique

Comment se forment les orgues de basalte

En Irlande du Nord, les touristes ne manquent pas d'aller voir la Chaussée des géants. Cet orgue basaltique, avec ses 40 000 colonnes hexagonales, est le fruit du refroidissement d'une ancienne coulée de lave. Martin Hofmann, de l'université technique de Dresde, en Allemagne, et ses collègues ont modélisé la formation de tels motifs hexagonaux.

Lorsque de la lave se refroidit ou de la boue sèche, la partie supérieure se contracte et se fissure, ce qui libère de l'énergie liée à la tension mécanique. Ces failles sont disposées, *a priori*, de façon aléatoire. Cependant, comme elles libèrent surtout la tension perpendiculaire à leur direction, elles se connectent en général à angle droit : on parle de jonction T.

Dans des milieux qui sont asséchés ou gelés périodiquement,

on observe que les jonctions T se déforment et se déplacent, ce qui les transforme en jonctions Y aux angles de 120°. Les motifs hexagonaux en résultent.

Dans le basalte, des jonctions T se forment en surface, mais la transition entre jonctions T et Y se produit en profondeur, alors que les fractures se propagent dans la lave se refroidissant.

Martin Hofmann et ses collègues ont calculé l'énergie libérée lorsqu'une fracture se propage. Ils ont supposé que la forme des jonctions pouvait changer. Ils montrent ainsi que si la jonction se déforme de T vers Y, l'énergie libérée augmente de 7 %. La tension dans le basalte est ainsi mieux dissipée et la configuration plus stable. Les chercheurs ont confirmé leur résultat avec des simulations numériques.

S. B.

Phys. Rev. Lett., vol. 115, 154301, 2015



La Chaussée des géants, en Irlande du Nord, exhibe un spectaculaire orgue basaltique de quelque 40 000 colonnes hexagonales.

Des ultrasons pour absorber les médicaments

Certaines maladies du système digestif (inflammation chronique, maladie de Crohn, etc.) sont traitées avec des médicaments administrés lors de lavements. Or le médicament met parfois plusieurs heures à être absorbé. Pour accélérer le processus, Robert Langer, du MIT, et ses collègues ont utilisé des ultrasons. Ces ondes sonores créent un phénomène de cavitation transitoire : des bulles se forment et implosent dans le fluide porteur du médicament. Cela produit des microjets qui pénètrent plus facilement les tissus.

Gros comme un cerveau d'éléphant préhistorique

La recette pour évaluer la taille d'un cerveau d'éléphant préhistorique ? Classiquement, on re-tranche 20 % au volume de la boîte crânienne, pour tenir compte des tissus non cérébraux tels que les enveloppes protectrices. Toutefois, le paléontologue Julien Benoit, de l'université Montpellier 2, a montré

que ce chiffre devrait plutôt être de l'ordre de 11 %. Pour ce faire, il a analysé plus de 600 spécimens de mammifères actuels, issus de 23 espèces, et en a déduit la différence moyenne entre le volume du crâne et celui du cerveau en fonction de la taille de l'animal. Les éléphants préhistoriques avaient donc un cerveau plus gros qu'on ne le pensait...

Suivez les dernières actualités de Pour la Science sur les réseaux sociaux



Retrouvez plus d'actualités sur www.pourlascience.fr

ÉCLAIRAGE

Human Brain Project : les raisons d'un échec

Deux ans après son lancement, doté de plus d'un milliard d'euros, le projet de simulation du cerveau humain bat de l'aile. Est-ce dû à un problème de gestion ou a-t-on atteint les limites de la Big Science ?

Stefan Theil

Depuis des décennies, Henry Markram rêvait de modéliser le fonctionnement du cerveau humain. En 1994, postdoctorant à l'institut Max Planck pour la recherche médicale de Heidelberg, en Allemagne, il était devenu le premier scientifique à mesurer les signaux électriques entre deux neurones fraîchement prélevés sur un rat. Ces recherches avaient montré comment les synapses se renforcent ou s'affaiblissent, ce qui avait permis d'étudier et de modéliser les processus d'apprentissage du cerveau. Henry Markram avait ainsi acquis le statut d'expert scientifique au sein de l'institut Weizmann à Rehovot, en Israël, et en 1998, devenu professeur, il était l'un des chercheurs les plus respectés du domaine.

Puis la frustration est apparue. Malgré les dizaines de milliers d'articles publiés chaque année en neurosciences par des chercheurs du monde entier, ni la compréhension des fonctions fondamentales du cerveau ni les compétences en matière de traitement des troubles cérébraux ne semblaient progresser. La consternation de Henry Markram était aussi personnelle. Alors qu'il vivait encore en Allemagne, son fils Kai avait été diagnostiqué autiste. Et, comme il l'a raconté au *Guardian* en 2013, il voulait « pouvoir pénétrer le cerveau modélisé de [son] fils pour voir le monde comme celui-ci le percevait ». Le seul moyen d'y parvenir, pensait-il alors, était de modéliser les circuits de l'ensemble du cerveau humain.

En 2009, lors d'une conférence TED, il expose pour la première fois au grand public la manière dont, selon lui, on peut simuler sur un superordinateur les 86 milliards de neurones d'un cerveau et les 10^{12} synapses qui les connectent. « On peut y arriver en dix ans », promet-il, laissant entendre qu'un tel modèle mathématique pourrait même être doué de conscience. Les applications qu'il envisage sont nombreuses : découverte de nouveaux médicaments, substituts pour certaines expérimentations sur l'animal, étude de pathologies telles que la maladie d'Alzheimer. Sans compter l'élan que le projet donnerait à la technologie pour la construction d'ordinateurs plus performants et la création de robots dotés de compétences cognitives, voire d'intelligence.

Dérapage

Nombre de neuroscientifiques expriment leur scepticisme, mais Henry Markram bénéficie à l'époque de nombreux appuis. Sa vision semble être confortée en janvier 2013, quand l'Union européenne lui accorde 1,2 milliard d'euros répartis sur dix ans pour réaliser son objectif. Moins de deux ans plus tard, il règne sur le *Human Brain Project* (projet Cerveau humain) une grande confusion. Le projet est devenu un sujet de controverse, voire de dérision. Plusieurs scientifiques proches de Henry Markram le décrivent comme un génie qui aurait dérapé. Il perd sa fonction à la tête du

projet et a l'obligation de ne plus parler à la presse. Selon le nouveau directeur général, Christoph Ebell, il n'assiste plus aux réunions internes du projet et délègue une personne pour échanger avec l'équipe de direction.

Le *Human Brain Project* a provoqué un schisme au sein de la communauté neuroscientifique européenne. En juillet 2014, une lettre ouverte attaquant le projet sur les plans scientifique et managérial recueille vite plus de 800 signatures dans le milieu de la recherche. En mars 2015, les signataires menacent de le boycotter. Henry Markram lance alors une médiation pour répondre à ses détracteurs. Un comité de 27 scientifiques examine les arguments des deux parties. Hormis deux personnes, le groupe est d'accord avec les critiques exprimées. Dans leur rapport, les médiateurs appellent à une refonte du projet, à la création d'une nouvelle structure de coordination et à un changement d'orientation scientifique. La réorganisation du projet est en cours.

La plupart des rapports sur les dérives de cet ambitieux projet pointent Henry Markram et son style de management, mais pas seulement. Tous s'accordent à dire que Henry Markram essaie de faire du bon travail scientifique. Et malgré les nombreux dysfonctionnements survenus au siège du projet, en Suisse, la principale source de problèmes se situerait à 500 kilomètres au nord, à Bruxelles. Là, au sein de la Commission européenne, le système