

Prix Nobel de chimie

Les quasi-cristaux

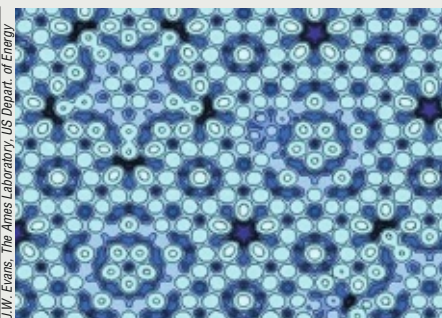
Le prix Nobel de chimie a été attribué à Daniel Shechtman, pour la découverte des quasi-cristaux. À la fin du XVIII^e siècle, le Français René Just Haüy proposa que, dans un cristal, les atomes sont disposés selon un motif simple (une maille unitaire), qui se répète de façon périodique dans le matériau. Cette répétition périodique devint la condition *sine qua non* de l'existence des cristaux. Or pour qu'un ordre à petite échelle puisse se retrouver à grande échelle, celle du cristal, la maille doit obéir à des règles de symétrie qui autorisent le pavage de l'espace.

Voyons cela dans le cas simple à deux dimensions. Avec des triangles équilatéraux (symétrie d'ordre 3), des carrés (ordre 4) ou des hexagones (ordre 6), on peut paver le plan. En revanche, avec des polygones à cinq ou sept côtés, ou plus, c'est impossible. De même, dans l'espace, des mailles de symétrie d'ordre 5, 7 ou plus ne peuvent s'agencer en un cristal.

Pourtant, le matin du 8 avril 1982, au Technion, à Haïfa en Israël, D. Shechtman fait une découverte qui contredit cette idée. En étudiant la diffraction des électrons par un alliage

d'aluminium et de manganèse refroidi rapidement, il obtient une figure typique des cristaux (une constellation de points brillants), révélant une symétrie d'ordre 10. Le cristal observé était donc interdit par la théorie! Après une longue controverse, ces étonnants résultats furent acceptés, mais il restait à comprendre comment sont organisés les atomes dans ce que l'on nomme depuis lors un quasi-cristal.

La solution vint des mathématiciens qui étudiaient les façons de paver le plan sans recourir à des répétitions d'un même motif. Au milieu des années 1970, le Britannique Roger Penrose proposa une solution simple à l'aide de deux losanges, l'un étroit et l'autre plus large. Ce pavage non périodique intrigua le cristallographe Alan Mackay qui imagina un assemblage d'atomes conforme à cette structure: la figure de diffraction qu'il obtint à partir de son modèle avait une symétrie d'ordre 10! On comprit alors qu'un quasi-cristal est un assemblage d'atomes ordonné, mais non périodique. C'est cette découverte qui vient d'être couronnée par le comité Nobel. Étonnamment, certaines mosaïques de l'art islamique médiéval,



La structure atomique de la surface d'un quasi-cristal composé d'aluminium, palladium et manganèse. Les quasi-cristaux ont une symétrie spatiale qui est interdite pour des cristaux parfaits.

par exemple à l'Alhambra, à Grenade, en Espagne, sont fondées sur cette non-périodicité. Cette propriété a longtemps été l'apanage de matériaux produits en laboratoire, mais en 2009, le premier quasi-cristal « naturel » a été découvert dans les montagnes de Koriaï, en Russie.

→ L. M.

Prix Nobel de physique

L'accélération de l'expansion de l'Univers

Le prix Nobel de physique a été attribué à Saul Perlmutter, responsable du *Supernova Cosmology Project*, ainsi qu'à Adam Riess et Brian Schmidt, responsables de l'équipe *High-Z Supernovae Search* pour avoir mis en évidence l'accélération de l'expansion de l'Univers.

Le modèle cosmologique du Big Bang est fondé entre autres sur l'observation que l'Univers est en expansion: les galaxies s'éloignent les unes des autres dans toutes les directions, et ce d'autant plus vite qu'elles sont éloignées. On pensait initialement qu'en raison de la présence de matière, l'expansion aurait dû ralentir. Mais en 1998, alors qu'ils étudiaient les supernovae lointaines pour préciser la valeur du taux d'expansion, ou constante de Hubble, les lauréats ont découvert que le rythme auquel l'Univers se dilate accélère.

Pour évaluer la vitesse d'expansion de l'Univers, les cosmologistes utilisent des explosions d'étoiles particulières, les supernovae de type Ia, qualifiées de « chandelles stan-

dards ». On peut en effet connaître facilement leur luminosité intrinsèque, et donc en déduire leur éloignement à partir de la luminosité apparente. On peut par ailleurs mesurer le décalage vers le rouge de ces supernovae, c'est-à-dire l'étirement de la longueur d'onde de la lumière émise durant son trajet, sous l'effet de l'expansion cosmique. En compa-



La supernova SN 1994D dans la galaxie NGC 4526.

rant ces deux données, on estime le taux d'expansion au fil du temps.

Dans les données obtenues par S. Perlmutter, A. Riess et B. Schmidt, les supernovae les plus lointaines étaient moins brillantes, c'est-à-dire plus éloignées que ne le laissait supposer leur décalage vers le rouge. En d'autres termes, le cosmos s'est dilaté plus vite depuis l'époque où ces supernovae ont explosé que si le taux d'expansion avait été constant: l'expansion accélère. Ce résultat a depuis été confirmé par d'autres mesures, plus précises, ainsi que par des observations indépendantes, par exemple celle du rayonnement de fond cosmologique, en micro-ondes. Pour expliquer cette accélération, les cosmologistes ont été contraints d'introduire une forme d'énergie de densité constante qui représente plus de 70 pour cent du contenu de l'Univers et dont les effets contrecarrent la gravitation: l'énergie sombre. Sa nature, encore inconnue, est aujourd'hui une question centrale de la cosmologie.

→ Ph. R.-G.

Prix Nobel de physiologie-médecine

Le système immunitaire

L'activation de l'immunité, qu'elle soit innée ou acquise, a été récompensée par le comité Nobel. Un Français, Jules Hoffmann, figure au palmarès. J. Hoffmann, l'Américain Bruce Beutler et le Canadien Ralph Steinman ont été récompensés pour avoir « révolutionné notre compréhension du système immunitaire en découvrant les principes clés de son activation ». Les deux premiers se sont intéressés à l'activation du système immunitaire inné, et le dernier, décédé quelques jours avant l'annonce du prix, au rôle des cellules dendritiques dans le système immunitaire adaptatif.

Les deux types d'immunité, innée et adaptative, constituent les défenses des mammifères contre les micro-organismes pathogènes. La première est opérationnelle rapidement, mais n'est pas spécifique. La seconde, plus lente à se mettre en place, nécessite l'intervention de lymphocytes qui produisent les anticorps et détruisent les cellules infectées. En outre, l'immunité adaptative conserve la « mémoire » des intrus, évitant une nouvelle infection par les mêmes pathogènes.

Et les mammifères ne sont pas les seuls concernés ! En 1996, J. Hoffmann mettait en évidence chez la drosophile le rôle de molécules (les récepteurs Toll) dans la reconnaissance des agents fongiques. Lorsqu'ils sont activés, ces récepteurs, insérés dans la membrane des cellules, entraînent une cascade de réactions qui aboutissent à la production de molécules... antifongiques ! Quand l'agent pathogène est une bactérie, c'est un peptide bactéricide qui est produit par l'insecte. Aujourd'hui, on connaît une vingtaine de peptides antimicrobiens synthétisés par la drosophile.

De son côté, B. Beutler identifia chez des souris un récepteur semblable aux récepteurs Toll des mouches. La cascade de réactions qui suit l'activation de ce récepteur aboutit à la fabrication d'interleukines, des molécules qui stimulent les acteurs de l'immunité. Ainsi, les mécanismes de l'immunité innée des vertébrés partagent de nombreuses analogies avec ceux de la mouche. Autre point commun, certains peptides antimicrobiens de la drosophile ont été retrouvés chez les mammifères, dont l'homme.

Chez les mammifères, l'immunité innée est complétée par une immunité adaptative. Les cellules dendritiques, mises en évidence par Steinman en 1973, font le lien entre les deux systèmes. En

maraude dans le sang, la peau et divers tissus, les cellules dendritiques jouent le rôle de sentinelles, à l'affût des intrus. Dès qu'il s'en présente un, elles le détectent, l'ingèrent et le digèrent pour en présenter ensuite des morceaux (on parle d'antigènes) à leur surface. Après avoir migré vers les ganglions, elles déclenchent l'activation des cellules de l'immunité adaptative, notamment les lymphocytes T et B qui apprennent à reconnaître ces antigènes spécifiques et à cibler leurs attaques contre le pathogène qui les porte.

Ces travaux se sont traduits par diverses applications visant à traiter et à prévenir certaines maladies.

→ L. M.



Récepteur Toll-like
TLR3 humain

Géologie

Les rivières et les arbres ont coévolué

Les rivières présentent des tracés variés, plus ou moins stables : un unique chenal rectiligne ou sinueux, ou des chenaux multiples entourant des bancs de sable, de graviers ou des îles végétalisées. Neil Davies et Martin Gibling, de l'Université Dalhousie à Halifax, au Canada, ont montré que les rivières à chenaux stables sont apparues et se sont développées au cours du Dévonien (entre 395 et 345 millions d'années), ce qui coïncide avec l'apparition et l'expansion des arbres. Ces derniers sont apparus il y a environ 375 millions d'années. Or, dans les sédiments fluviaux datés du Carbonifère (entre 345 et 200 millions d'années), les géologues ont trouvé davantage de débris de bois que dans les sédiments plus anciens. Ils en déduisent que le développement des arbres a favorisé la stabilisation des rivières.

→ Cécile Fourrage

N. S. Davies et M. R. Gibling, *Nature Geoscience*, vol. 4, pp. 629-633, 2011



Les rivières à méandres, ici en Chine, ont un tracé sinueux. La végétation contribue à leur stabilité.

Neurobiologie

Cerveau et fertilité

Les troubles de la reproduction ne cessent d'augmenter et les experts pensent que l'infertilité aura doublé d'ici dix ans. Vincent Prévot et ses collègues, du Centre de recherche Jean Pierre Aubert, à Lille (Unité Inserm 837), ont découvert un nouvel acteur de la « fonction de reproduction » : des cellules gliales (des cellules cérébrales qui ne sont pas des neurones) nommées astrocytes.

À la puberté, certains neurones de l'hypothalamus, un noyau cérébral, s'activent et libèrent l'hormone GnRH ; cette dernière favorise la sécrétion par l'hypophyse de deux hormones sexuelles, qui stimulent la croissance des organes sexuels secondaires et assurent toute la vie la fonction reproductive. Les neuroscientifiques ont montré qu'une autre hormone, la prostaglandine E2, est indispensable à l'activité électrique des neurones à GnRH. Or cette hormone est un « gliotransmetteur » : elle est produite par les astrocytes situés près des neurones. Les souris dont les astrocytes sécrètent moins de prostaglandine E2 présentent un retard de puberté et leurs neurones à GnRH sont inactifs. Les astrocytes pourraient représenter une nouvelle cible thérapeutique des troubles centraux de la fertilité.

→ B. S.-L.

J. Clasadonte et al., *PNAS*, vol. 108, pp. 16104-16109, 20 septembre 2011

Biologie

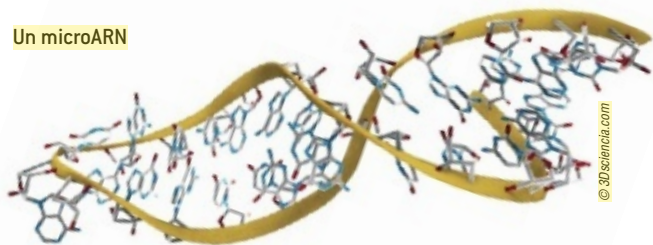
Du végétal dans l'animal

Quelle est la différence entre un animal et un végétal ? La réponse n'est pas simple et l'équipe de Lin Zhang, de l'Université de Nanjing, en Chine, a mis au jour un phénomène qui brouille encore les lignes. Les microARN sont des petits ARN non codants, petits car ils sont constitués d'au maximum 24 nucléotides et non codants, car ils ne sont pas traduits en protéines, à l'inverse des ARN messagers. Le rôle des microARN est de contrôler la traduction de ces ARN messagers en s'y associant, ce qui conduit à leur destruction. Dans du sang et des tissus humains, les biologistes ont identifié un microARN (MIR168a) qui a une origine... végétale ! Il est donc apporté par la nourriture. Plus encore, ce microARN est actif chez la souris et l'être humain : il se lie à l'ARN messager de la protéine LDL-RAP1, et en réduit l'expression dans les cellules du foie. Or cette protéine participe à la capture des LDL (des transporteurs du cholestérol) dans le sang. En conséquence, le cholestérol s'accumule dans les vaisseaux, favorisant l'athérosclérose. Outre de la matière, nous mangeons donc aussi de l'information !

→ L. M.

L. Zhang et al., *Cell Research*, prépublication en ligne, 2011

Un microARN



Physique

Une surface inspirée des plantes carnivores

Les pièges des plantes carnivores *Nepenthes* sont très efficaces : tout insecte qui se pose sur leur surface glisse inévitablement vers l'intérieur, où il sera digéré. Ayant constaté la présence d'un film aqueux à la surface des feuilles, Joanna Aizenberg et ses collègues, de l'Université Harvard aux États-Unis, ont « copié » ce type de piège. Ils ont mis au point une surface glissante capable de repousser tout type de fluide en imbibant un support poreux (des nanofibres de téflon) d'un liquide lubrifiant à faible tension de surface (de la famille de perfluorocarbures). L'ensemble forme un matériau solide-liquide stable, dont la surface repousse les fluides aqueux, mais aussi organiques, tels l'huile, le sang, etc. De surcroît, ces surfaces résistent au gel, à une élévation de la pression et sont capables de s'autoréparer en cas d'impact. Ces surfaces, qualifiées d'omniphobes, ont des applications potentielles dans le domaine biomédical, le transport de carburant, les systèmes antigels et les peintures antisalissures.

→ C. F.

Tak-Sing Wong et al., *Nature*, vol. 477, pp. 443-447, 2011

Biophysique

Comment l'amiante perturbe les cellules humaines

Si l'on sait depuis plusieurs décennies que l'amiante est toxique pour certains types de cellules humaines, le mécanisme de cette toxicité reste à préciser. Des biophysiciens de l'Université Brown, à Rhode Island aux États-Unis, viennent d'apporter des éléments dans ce sens. De plusieurs dizaines de nanomètres de diamètre et plusieurs centaines de nanomètres de long, les fibres d'amiante se mêlent aux poussières. Inhalées, elles se déposent dans les alvéoles pulmonaires, et entraînent de graves maladies respiratoires, tels des cancers du poumon et de la plèvre.

Plusieurs équipes avaient déjà observé en microscopie optique que, placés au contact de cellules, des nanotubes de carbone s'introduisent par une extrémité dans les cellules et y restent « plantés ». En étudiant ce phénomène par microscopie électronique à balayage avec des cellules mésothéliales humaines (de telles cellules tapissent la plèvre dans les poumons), Xinghua Shi et ses collègues se sont aperçus que les cellules « confondent » ces nanotubes avec des particules sphériques nanométriques. Voyons pourquoi.

Au contact d'une particule sphérique, la cellule enclenche l'endocytose, un mécanisme qui lui permet d'absorber les molécules nécessaires à son fonctionnement : la membrane cellulaire se creuse autour de la particule – qui adhère à la membrane *via* des récepteurs –, jusqu'à se refermer autour d'elle. De même, la membrane se creuse autour de l'extrémité de fibres d'amiante ou de nanotubes de carbone. Les fibres se redressent alors et commencent à pénétrer dans la cellule.

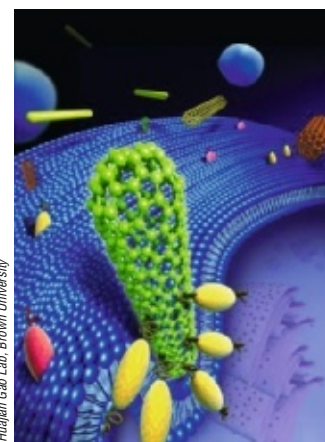
Mais la membrane ne peut se refermer sur les fibres, trop longues, et l'endocytose reste bloquée, ce qui perturbe le fonctionnement des cellules. Curieu-

sement, les fibres parallèles à la surface des cellules et celles dont on avait éliminé le bout arrondi ne déclenchaient plus l'endocytose.

À l'aide d'une simulation dynamique, les biophysiciens ont montré que les cellules sont en quelque sorte leurrées par l'extrémité arrondie : lorsque cette dernière touche la membrane, les récepteurs membranaires se regroupent autour de la zone de contact, ce qui redresse le nanotube. La cellule ne « voit » alors qu'une structure arrondie ressemblant aux particules ingérées par endocytose. Sauf que ces particules ne sont pas sphériques.

L'usage de l'amiante est interdit en France depuis 1997, mais des fibres artificielles sont utilisées pour la remplacer dans différents secteurs d'activité. La réglementation de leur utilisation est en cours. Si ces travaux sont confirmés, cette question de la forme des extrémités des nanotubes devra être prise en compte.

→ Marie-Neige Cordonnier

X. Shi et al., *Nature Nanotechnology*, prépublication en ligne, 18 septembre 2011

Quand l'extrémité – arrondie – d'une fibre (en vert) touche la membrane d'une cellule (en bleu), les récepteurs membranaires (en jaune) la redressent. La membrane se creuse, mais la fibre est trop longue pour être absorbée. Elle reste plantée en surface.