



c'était facile, car il suffisait de surprendre ce grand plantigrade dans la grotte ou l'abri où il hibernait, et de le tuer pendant qu'il était en léthargie.

Ainsi, le site de Quincieux illustre une fois de plus le mode de vie néandertalien, dans lequel le clan entier s'assemblait pour aider à la chasse, puis pour exploiter les carcasses des grandes proies. Dans un climat où la survie de l'individu isolé était impensable, nul doute que l'implication simultanée de tous les membres du clan dans la production commune créait beaucoup de liens sociaux, se traduisant par une grande cohésion sans doute essentielle à la survie du groupe. La préférence des chasseurs néandertaliens pour les grosses proies s'explique peut-être ainsi : elle aurait été nécessaire pour faire tourner les usines néandertaliennes.

François Savatier
www.inrap.fr

Immunologie

Bisphénol A et intolérance alimentaire

Une équipe de l'unité de toxicologie alimentaire [ToxAlim] de l'Inra à Toulouse a montré chez le rat qu'une exposition à de faibles doses de bisphénol A avant et juste après la naissance augmente le risque d'intolérance alimentaire à l'âge adulte. Éric Houdeau, qui a dirigé le projet, nous explique ses travaux et leurs implications.

Le bisphénol A est connu en tant que perturbateur endocrinien – une substance qui altère les fonctions hormonales. Pourquoi avoir pensé qu'il pourrait aussi agir sur la tolérance alimentaire ?

Éric Houdeau : Le bisphénol A est un composant de nombreux plastiques et résines alimentaires. Bien qu'il soit interdit dans les biberons en France depuis 2010 et amené à y disparaître de tout conditionnement alimentaire d'ici 2015, nous y avons été exposés pendant plus de 30 ans. Or chez l'animal, cette substance, en perturbant le fonctionnement des hormones, touche aussi d'autres fonctions telles que le métabolisme des lipides ou le système immunitaire. Et la tolérance alimentaire est directement liée au système immunitaire : constamment confronté à de nouvelles protéines, celui-ci met en place une tolérance. Une intolérance alimentaire apparaît lorsqu'il se met à « classer » des protéines habituellement acceptées comme indésirables. Il déclenche alors une réaction inflammatoire dans l'intestin.

Les études chez l'homme ont-elles aussi montré un effet du bisphénol A sur le système immunitaire ?

É. H. : Il n'existait aucun indice en faveur d'un tel effet jusqu'à ce qu'en 2011, une étude épidémiologique américaine révèle, sur la base de données récoltées entre 2003 et 2006 par le programme de surveillance NHANES, un

parallèle entre une contamination au bisphénol A et un système immunitaire devenant moins efficace avec le temps. Ces résultats suggéraient qu'une exposition chronique pouvait modifier durablement la programmation du système immunitaire.

Pourquoi s'intéresser à la période périnatale ?

É. H. : Durant la grossesse et l'allaitement, le système immunitaire est immature, car en développement, et les défenses de l'organisme se construisent au contact des aliments et de l'environnement. Il s'agit donc d'une période cruciale pour la mise en place de la tolérance alimentaire.



Éric Houdeau est directeur de recherche à l'Inra.

ronnement. Il s'agit donc d'une période cruciale pour la mise en place de la tolérance alimentaire.

En quoi consistent vos expériences ?

É. H. : En 2010, nous avons observé que des rats exposés au bisphénol A durant la période périnatale présentaient une réaction inflammatoire exacerbée de l'intestin à l'âge adulte : quand on déclenchait une inflammation de l'intestin, leur réponse immunitaire était plus violente que chez des rats non exposés. Cela suggérait que les fonctions immunitaires étaient per-

turbées. Nous avons donc administré par voie orale à des rates gestantes diverses doses quotidiennes de bisphénol A, jusqu'au sevrage des petits. À l'âge adulte, la progéniture, nourrie à l'ovalbumine, une protéine du blanc d'œuf jamais consommée auparavant par ces animaux, développait plus souvent une réaction immunitaire contre elle que les rats nés de mères non exposées. Après plusieurs jours de nourriture à l'ovalbumine, les rats nés de mères exposées présentaient une inflammation du côlon : il y avait donc bien intolérance alimentaire.

De faibles doses de bisphénol A suffisaient à perturber les rats. Qu'en déduire pour nous ?

É. H. : Les perturbations les plus fortes ont en effet été obtenues avec une dose de bisphénol A considérée sans risque par l'Autorité européenne de sécurité des aliments, qui recommande qu'elle soit utilisée comme limite de consommation. Or seuls 4 % environ de la dose ingérée par la mère atteignent le fœtus. Notre étude montre que cette quantité est suffisante pour perturber la maturation du système immunitaire chez le rat. On voit ici toute la difficulté de fixer une dose journalière tolérable sûre de bisphénol A : ce n'est pas parce qu'on ne le détecte que très faiblement dans le sang qu'il ne perturbe pas le fonctionnement de l'organisme.

Marie-Neige Cordonnier

S. Menard et al., EASEB J., 2014



Les cris de la chauve-souris *Rhinolophus mehelyi* auraient évolué vers les hautes fréquences par sélection sexuelle.

© S. J. Puechmaillé

Éthologie

Des sex-symbols aux cris aigus

Chez les chauves-souris *Rhinolophus mehelyi*, les femelles s'accouplent davantage avec les mâles aux cris plus aigus. C'est ce qu'ont montré Sébastien Puechmaillé, de l'Institut Max Planck d'ornithologie, à Seewiesen, en Allemagne, et ses collègues.

La plupart des chauves-souris sont nocturnes et ont développé un système performant d'écholocation : elles émettent des cris et se fondent sur les échos renvoyés pour localiser leurs proies. Plus les cris sont aigus,

plus ils sont atténués par l'air, et donc moins ils portent loin. Or ceux des chauves-souris *R. mehelyi* sont anormalement aigus pour des animaux de cette taille, ce qui les désavantage. Les résultats des chercheurs suggèrent que cette anomalie est due à un phénomène de sélection sexuelle : les préférences des femelles auraient conduit, au fil de l'évolution, à des cris de plus en plus aigus.

Guillaume Jacquemont

S. J. Puechmaillé et al., *PLoS One*, en ligne le 30 juillet 2014

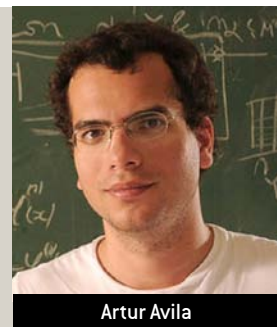
Mathématiques

Les médailles Fields 2014

Les noms des quatre lauréats de cette prestigieuse distinction ont été annoncés le 13 août dernier à Séoul, à l'ouverture du Congrès international des mathématiciens.



Maryam Mirzakhani



Artur Avila

Comme tous les quatre ans, le Congrès international des mathématiciens, tenu cette fois à Séoul, en Corée du Sud, a dévoilé les noms des récipiendaires de la médaille Fields, attribuée à des mathématiciens âgés de moins de 40 ans. Il s'agit du Franco-Brazilien Artur Avila, du Canado-Américain Manjul Bhargava, de l'Autrichien Martin Hairer et de l'Iranienne Maryam Mirzakhani, qui est la première femme lauréate de cette médaille.

Artur Avila est chercheur à l'Institut de mathématiques de Jussieu-Paris Rive Gauche et à l'IMPA (Institut de mathématiques pures et appliquées), à Rio de Janeiro. Il travaille principalement sur l'analyse et sur la

théorie des systèmes dynamiques – l'étude mathématique des systèmes évoluant dans le temps selon des règles fixées. L'objectif est notamment de déterminer le comportement qualitatif, à long terme, du système sans avoir à calculer explicitement son évolution. Pour beaucoup de systèmes simples, l'évolution temporelle est soit régulière, soit chaotique, ce qui signifie qu'elle n'est pas prévisible à long terme, malgré le caractère déterministe des lois d'évolution (avec deux états initiaux même très similaires, la « trajectoire » suivie par le système finit par être très différente).

Entre autres, A. Avila a publié en 2003, avec deux autres mathématiciens, un résultat relatif à

une vaste classe de systèmes dynamiques, les « applications unimodales » : si l'on choisit une telle application au hasard, elle sera soit régulière, soit « stochastique ». Le terme signifie ici que l'évolution temporelle a de bonnes propriétés probabilistes, qui permettent de la modéliser malgré son caractère chaotique.

Manjul Bhargava, professeur à l'Université de Princeton, a pour spécialité la théorie algébrique des nombres, où il a obtenu des résultats liés à ceux de Carl Friedrich Gauss au XIX^e siècle. Il a notamment trouvé, en associant un nombre à chaque sommet d'un cube et en coupant le cube en deux de façon à obtenir deux ensembles de quatre nombres, une

façon simple et visuelle d'obtenir la loi qu'avait trouvée Gauss pour composer entre elles des formes quadratiques binaires (polynômes de la forme $ax^2 + bxy + cy^2$ où a, b et c sont des entiers). Il a étendu sa méthode à des polynômes de degré plus élevé et a découvert 13 nouvelles lois de composition. De telles lois fournissent des informations sur des structures nommées corps de nombres, qui jouent un rôle fondamental dans la théorie algébrique des nombres.

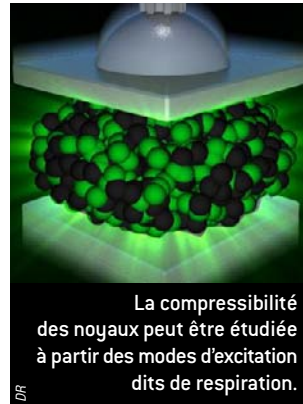
Martin Hairer, professeur à l'Université de Warwick, en Grande-Bretagne, étudie les équations aux dérivées partielles stochastiques. Une équation aux dérivées partielles est une équation différentielle (qui relie

Physique nucléaire

Le noyau atomique qui respire

Lorsque les noyaux atomiques acquièrent une certaine énergie, ils sont excités : ils se déforment, vibrent, se mettent à tourner... Au GANIL (Grand accélérateur national d'ions lourds), à Caen, une équipe internationale autour de Marine Vandebrouck et Elias Khan, de l'Institut de physique nucléaire d'Orsay à l'Université Paris-Sud, a étudié des modes d'excitation particuliers, dits de respiration, dans un noyau instable riche en neutrons, le nickel 68.

Lorsque le noyau « respire », les protons et les neutrons se rapprochent et s'écartent régulièrement. La respiration du noyau est amorcée en le bombardant avec un projectile, tel un noyau de deutérium ou d'hélium. Pour étudier le nickel 68 instable, E. Khan et ses collègues ont adapté et amélioré la méthode d'excitation et de mesure déjà utilisée sur d'autres noyaux. La fréquence du mode de respiration a pu être mesurée avec une meilleure efficacité. Un second mode de respiration, plus faible et



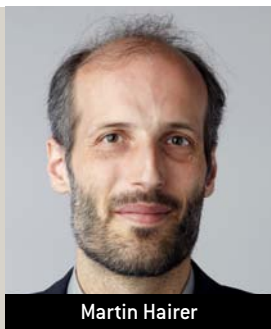
La compressibilité des noyaux peut être étudiée à partir des modes d'excitation dits de respiration.

Sean Bailly

Phys. Rev. Lett., vol. 113, 032504, 2014



Manjul Bhargava



Martin Hairer

une fonction inconnue à une ou plusieurs de ses dérivées), mais où la fonction inconnue est une fonction de plusieurs variables et non d'une seule. L'équation est dite stochastique lorsqu'elle contient des termes à valeurs aléatoires, selon une certaine loi de probabilité.

M. Hairer a travaillé en particulier sur l'« équation KPZ », introduite en 1986 par des physiciens pour décrire l'évolution au cours du temps de la frontière entre deux substances, liquides par exemple. Il a conçu une méthode permettant de donner un sens mathématique précis à cette équation – voire à d'autres – et d'en trouver des solutions ayant également un sens.

Quant à Maryam Mirzakhani, professeur à l'Université Stanford, ses travaux ont notamment porté sur les géodésiques (chemins de longueur minimale) tracées sur des surfaces de géométrie hyperbolique (non euclidienne) et leurs « espaces de modules », des espaces abstraits et encore imparfaitement compris qui leur sont associés. Ses résultats portent en particulier sur les géodésiques fermées qui ne se recoupent pas. Plus généralement, ses recherches sont au carrefour de plusieurs domaines des mathématiques : géométrie hyperbolique, analyse complexe, topologie et théorie des systèmes dynamiques.

Maurice Mashaal

<http://www.icm2014.org/>

Nevanlinna, Chern, Gauss...

Trois autres prix notables ont été décernés lors du Congrès de Séoul :
- Le prix Rolf Nevanlinna (pour les aspects informatiques des mathématiques) à Subhash Khot, de l'Institut Courant de sciences mathématiques de l'Université de New York. S. Khot a formulé en 2001 une conjecture dite UGC portant sur le coloriage de graphes. Lui et d'autres ont ensuite montré que si cette conjecture était vraie, on pourrait trouver des limites précises sur l'approximation qu'il est possible

d'obtenir dans un grand nombre de questions de type combinatoire.
- La médaille Chern à l'Américain Phillip Griffiths, de l'Institut d'études avancées à Princeton, dont les principales contributions portent sur la géométrie algébrique et la géométrie différentielle. Cette distinction récompense l'œuvre de toute une carrière de mathématicien.
- Le prix Gauss à l'Américain Stanley Osher, de l'Université de Californie à Los Angeles ; ce prix est attribué pour des contributions ayant eu des

applications significatives en dehors des mathématiques. S. Osher a en particulier développé, avec James Sethian, la méthode dite des surfaces de niveau, une méthode numérique de suivi de la déformation d'un objet consistant à considérer ce dernier comme une section d'un objet en dimension supérieure. Cette méthode a de nombreuses applications dans les domaines du traitement des images, des effets spéciaux, de la simulation numérique des écoulements fluides, etc.

Moisson de poussières

En 2006, une capsule de la mission *Stardust* est revenue sur Terre. Elle abritait un réceptacle à aérogel qui a capté des poussières dans l'espace. Pour identifier celles-ci, 30 000 volontaires ont scruté les clichés de l'aérogel. Parmi les impacts, sept candidats ont été retenus comme pouvant être des poussières interstellaires. Mais Andrew Westphal, de l'Université de Berkeley, et ses collègues ont montré que les grains ont des compositions et des structures variées, qui s'accordent mal avec les modèles théoriques.

Une nuée de robots

De nombreux exemples de systèmes auto-assemblés existent dans la nature, mais la capacité de gérer simultanément les interactions d'une foule et le comportement des individus est un défi pour les systèmes artificiels. Michael Rubenstein et ses collègues, de l'Université Harvard, ont fabriqué une nuée de 1 000 petits robots autonomes. Chacun est équipé d'algorithmes qui définissent les règles qu'il doit appliquer en fonction de son voisinage, tout en suivant une instruction globale qui conduit la nuée à reproduire une forme simple, telles une étoile ou la lettre H.

Des coraux qui ont du nez

Les coraux déclinent : près de 50 % de ceux du Pacifique tropical ont déjà disparu. Or Danielle Dixon, de l'Institut *Georgia Tech*, à Atlanta, et ses collègues ont montré que leurs larves et celles des poissons coralliens se fient à leur odorat (sensibilité aux composés présents dans l'eau) pour se diriger préférentiellement vers les récifs sains, négligeant ceux qui sont détériorés et envahis par les algues. Les chercheurs suggèrent donc de diffuser des composés chimiques adéquats lors de la réhabilitation des récifs.

Science des matériaux

Comment protéger les canalisations en béton ?

Les réseaux de canalisation, sur lesquels les gouvernements du monde entier ont tant investi depuis plus d'un siècle, se dégradent et nécessitent d' coûteux travaux de maintenance. On sait que la dégradation des canalisations en béton est en grande partie due à la présence de sulfure d'hydro-

gène (H_2S) dans les eaux usées. Ilje Pikaar et ses collègues de l'Université du Queensland, en Australie, ont analysé l'eau d'une banlieue urbaine de la région. Ils ont montré que 52 % du H_2S présent sont dus à l'utilisation de sulfate d'aluminium comme coagulant ou comme purifiant, lors du traitement de l'eau potable. En

dehors du sulfate d'aluminium, le H_2S provient des déchets à 38 % et de l'eau de source à 10 %.

Les ions sulfate (SO_4^{2-}) sont transformés en H_2S par certaines bactéries, puis en acide sulfurique (H_2SO_4) par d'autres. Il en résulte une dégradation du béton de plusieurs millimètres par an. I. Pikaar et ses collègues proposent de remplacer le sulfate d'aluminium par d'autres coagulants plus coûteux mais dépourvus de sulfate, tel le chlorure de fer. Différentes simulations sur ordinateur ont indiqué que dans de nombreux cas, cette solution permettrait de réduire notablement la dégradation des canalisations.

Benoît Mahé

Science, vol. 345, pp. 812-814, 2014

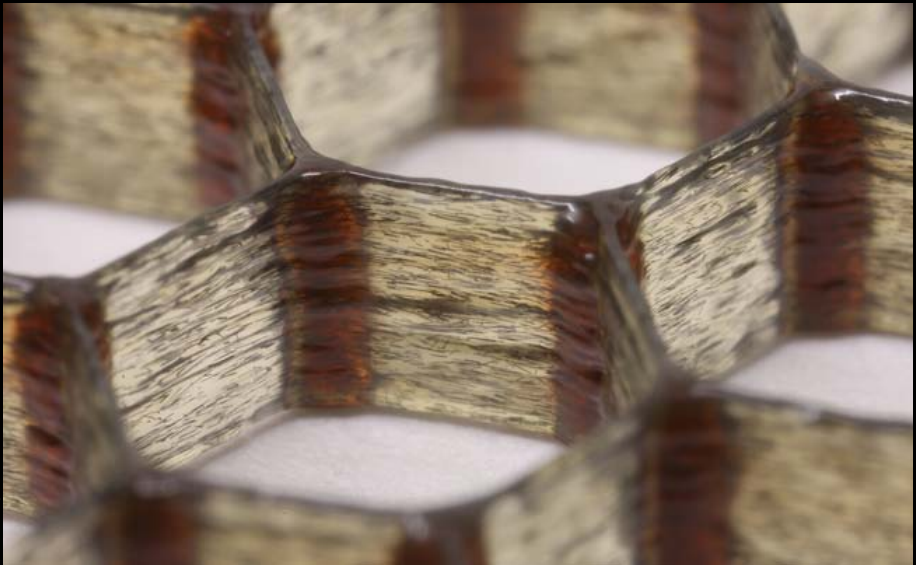


© Ami natari / shutterstock.com

Insolite

Un matériau en nid d'abeille qui imite le bois

Brett Compton et Jennifer Lewis, de l'Université Harvard, se sont inspirés de la structure du bois pour fabriquer avec une imprimante 3D un matériau composite léger et rigide. Le bois est constitué de fibres de cellulose intégrées dans une matrice de lignine. Les chercheurs ont introduit des fibres de carbone dans la résine d'époxy de leur dispositif, l'ont façonné en nid d'abeille, et ont ainsi obtenu un matériau deux fois plus rigide que les composites plastiques imprimés.



© Brett Compton, Lori Sanders et Jennifer Lewis, Université Harvard