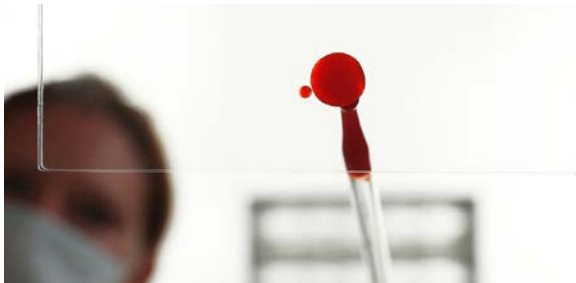


44 MÉDECINE Une prise de sang contre les cancers

François-Clément Bidard et Stéphanie Descroix

Grâce à la microfluidique – la manipulation des fluides à l'échelle microscopique –, on sait détecter des cellules cancéreuses et de l'ADN tumoral lors d'une simple prise de sang. D'ici quelques années, ces techniques devraient remplacer la biopsie des tumeurs.



52 ASTRONOMIE Une exoplanète aux anneaux géants

Matthew Kenworthy

Des astronomes ont découvert, autour d'une lointaine étoile, une planète dotée d'un immense système d'anneaux, et peut-être une lune.



60 PALÉONTOLOGIE HUMAINE L'incroyable *Homo naledi*

Kate Wong

Petite, le cerveau gros comme une orange, à la fois primitive et proche de nous, une espèce humaine mise au jour en 2013 agite le milieu des paléanthropologues.

70 HISTOIRE DES SCIENCES Comment la mouche a perdu son aile... et la Russie sa découverte

Stéphane Schmitt

La découverte, il y a un siècle, de mutations transformant un organe en un autre a mis deux chercheurs russes sur la piste du rôle des gènes dans l'embryogenèse et l'évolution. Mais la politique s'en est mêlée...

Rendez-vous

78 Logique & calcul

Le nombre π est partout !

Jean-Paul Delahaye

Récemment encore, le nombre π est apparu là où personne ne l'attendait : dans un système simple de collisions, dans la conjecture de Syracuse, dans le jeu de la vie...

84 Science & fiction

Tout l'Univers sur le dos

J. Sébastien Steyer et Roland Lehoucq

86 Art & science

Percer le secret des méduses

Loïc Mangin

89 Idées de physique

La girafe, la paille et la pompe à piston

Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik



92 Question aux experts

Les plantes ont-elles des cancers ?

Yves Dessaux

94 Science & gastronomie

Bavarois, aspics et guimauves

Hervé This

96 À lire

98 Bloc-notes

Les chroniques de Didier Nordon

POUR LA
SCIENCE.fr

LETTRE D'INFORMATION



Ne manquez pas
la parution
de votre magazine
grâce à la NEWSLETTER

- Notre sélection d'articles
- Des offres préférentielles
- Nos autres magazines en kiosque



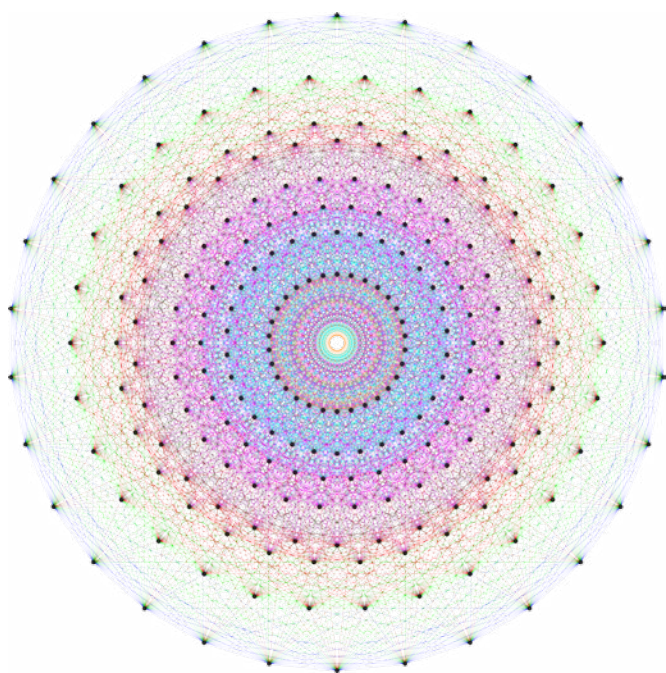
Recevez gratuitement la lettre d'information en inscrivant uniquement votre adresse mail sur www.pourlascience.fr

Actualités

Mathématiques

Savez-vous empiler des oranges en dimension 8 ?

Le problème de l'empilement optimal des sphères dans l'espace ordinaire, à 3 dimensions, a été résolu en 1998. Il vient de trouver une solution en dimensions 8 et 24 !



L'empilement d'oranges le plus dense est celui que l'on trouve sur les étagères de marchés. Mais qu'en est-il à 8 et 24 dimensions ? À 8 dimensions, la structure optimale est décrite par le groupe de symétrie E_8 , dont une représentation projetée en deux dimensions est donnée à gauche.

Quelle est la meilleure façon d'empiler des sphères identiques, en laissant le moins possible de vides ? Ce problème a été rendu célèbre par Johannes Kepler, qui a conjecturé en 1611 que la configuration la plus dense est la structure pyramidale adoptée sur les étales des marchands de fruits et légumes. La conjecture de Kepler n'a été démontrée qu'en 1998 par Thomas Hales, alors à l'université de Pittsburgh.

S'il est simple de visualiser des tas d'oranges, il en va tout autrement quand on essaye d'imaginer le même problème dans un monde à 4 dimensions ou plus. Or la question de l'empilement des sphères dans un espace multidimensionnel est d'importance, car elle est reliée aux codes correcteurs d'erreurs, utilisés dans les télécommunications

pour reconstituer le signal inévitablement altéré lors de sa transmission.

Un résultat intéressant vient d'être obtenu dans ce domaine : Maryna Viazovska, de l'université Humboldt à Berlin, aidée de plusieurs collègues, a résolu les cas à 8 et 24 dimensions.

Pour les mathématiciens, manipuler des oranges à quatre dimensions ou plus n'est pas un obstacle. Il se ramène à la définition formelle d'une sphère : c'est l'ensemble des points de l'espace – avec autant de dimensions que l'on veut – situés à une distance donnée d'un point particulier, le centre de la sphère. En revanche, l'ajout de dimensions rend le problème de Kepler plus difficile à résoudre, car il augmente le nombre d'arrangements possibles de sphères à examiner.

Une façon de construire les empilements est de partir de l'arrangement hexagonal à deux dimensions. En entassant des couches planes de telle façon que les trous de la couche de dessous, on obtient l'arrangement « naturel » des étales de fruits, qui est optimal en dimension 3.

Pour construire un empilement en dimension 4, on procède de la même façon, en entassant des arrangements tridimensionnels. Et ainsi de suite. En dimension 8, on obtient un réseau qui présente un grand nombre de symétries, ce qui en facilite l'étude. Ces symétries forment un « groupe » noté E_8 , bien connu des mathématiciens (c'est le plus grand « groupe de Lie complexe de type exceptionnel »), mais aussi des physiciens qui l'étudient parfois dans le cadre des théories

de grande unification en physique des particules.

Si l'on poursuit la procédure jusqu'à 24 dimensions, on obtient un réseau de Leech. Cette structure, découverte en 1965 par John Leech, présente également de nombreuses symétries. Le réseau de Leech est associé au code correcteur de Golay qui a été utilisé pour traiter les images des sondes *Voyager* prises lors de leur survol de Jupiter et Saturne, entre 1979 et 1981.

Mais E_8 et le réseau de Leech sont-ils les empilements les plus denses dans les espaces à 8 et 24 dimensions ? En 2003, Henry Cohn et Noam Elkies, mathématiciens à Cambridge, aux États-Unis, ont montré qu'il est possible de définir des fonctions, dites auxiliaires, qui donnent une estimation de la densité maximale d'empilement pour un espace de dimension

Shutterstock.com/ixabzy, Jgmoxness

Science et société

Perturbateurs endocriniens : un flou entretenu

En 2013, la Commission européenne (CE) devait fournir des critères d'identification des perturbateurs endocriniens, ces substances qui perturbent le système hormonal, afin que les lois sur les pesticides (2009) et les biocides (2012) puissent entrer en vigueur. Elle ne l'a toujours pas fait, prétextant un manque de consensus scientifique et la nécessité d'une étude d'impact – deux mauvaises excuses, expliquent dans un article sept chercheurs indépendants, dont Barbara Demeneix, professeure au Muséum national d'histoire naturelle.

quelconque. Dans la plupart des cas, les meilleurs empilements connus étaient loin des valeurs limites calculées par les fonctions auxiliaires. Mais en dimensions 8 et 24, les empilements définis par E_8 et le réseau de Leech touchaient de près l'estimation la plus basse connue de la densité maximale, à moins de 10^{-30} près.

Pour s'assurer que ces empilements étaient les meilleurs, il fallait trouver la bonne fonction auxiliaire qui donnerait une borne supérieure correspondant exactement aux densités de E_8 et du réseau de Leech.

Le 14 mars 2016, Maryna Viazovska annonçait avoir trouvé cette fonction auxiliaire grâce aux formes modulaires, des objets mathématiques abstraits qui présentent des symétries particulières. Elle confirmait ainsi que E_8 correspond à la meilleure façon d'empiler des sphères en 8 dimensions. Le soir même, elle recevait un courriel de Henry Cohn qui suggérait d'appliquer sa méthode au réseau de Leech, pour le cas à 24 dimensions. Une semaine plus tard, avec trois autres chercheurs, Maryna Viazovska et Henry Cohn ont obtenu la confirmation que le réseau de Leech est la meilleure façon d'empiler des sphères à 24 dimensions.

Ce résultat ne change rien pour les codes correcteurs : E_8 et le réseau de Leech sont déjà utilisés, et même s'ils n'avaient pas été optimaux, ils auraient été très proches de l'optimum. Le résultat est néanmoins important sur le plan théorique et constitue une élégante application des formes modulaires.

Sean Baillly

M. Viazovska, sur arXiv, 2016 : <http://arxiv.org/abs/1603.04246>
H. Cohn et al., sur arXiv, 2016 : <http://arxiv.org/abs/1603.06518>

Qu'est-ce qui vous a poussés à agir ?

Barbara Demeneix : En juin 2014, au lieu de définir ses critères, la CE a publié une feuille de route proposant quatre options pour identifier les perturbateurs endocriniens et planifiant une étude des impacts économique, social et environnemental potentiels de chacune, afin d'aider à en choisir une. C'est la présentation de ce programme, le 1^{er} juin 2015 à Bruxelles, qui a tout déclenché. Nous étions plusieurs représentants de l'*Endocrine Society* inscrits et avons tous été choqués par l'annonce de cette étude d'impact. Il était clair que la réunion était montée pour montrer qu'il n'existait pas de consensus sur la définition des perturbateurs endocriniens, et qu'il était difficile d'en définir des critères d'identification. Or il existe bien un consensus scientifique ! Et aucune étude d'impact n'y changera rien. Nous avons donc décidé d'écrire cet article.

Quel est votre message ?

B. D. : Il est triple. D'abord, nous montrons qu'il y a consensus sur la définition donnée par l'Organisation mondiale de la santé en 2002 : « Une substance ou un mélange exogène qui modifie la/les fonction(s) du système endocrinien et qui, en conséquence, a des effets

nocifs sur la santé d'un organisme intact, de sa descendance ou des (sous-)populations. » Cette définition est celle utilisée depuis et n'a jamais, à notre connaissance, été remise en question. Même la feuille de route de la CE se réfère au « consensus général » sur cette définition ! Ensuite, lors de la réunion, la notion toxicologique de puissance, c'est-à-dire d'activité en fonction de la



Barbara Demeneix, professeure au MNHN, à Paris

concentration, a pris une importance déplacée. Ce terme est imprécis et n'est pas pertinent pour définir les perturbateurs endocriniens et leurs dangers, plusieurs études ayant montré que leur effet n'est pas toujours proportionnel à la dose. Enfin, nous montrons que l'étude d'impact est un non-sens quand il s'agit, comme ici, d'évaluer un danger, et non un risque. En particulier, il n'existe pas assez de tests. Ainsi, pour évaluer les effets des pesticides sur le développement du cerveau, aucun test n'est encore ratifié

par l'OCDE. Impossible d'étendre à d'autres produits, par exemple, l'étude que nous avons menée en 2015 avec Leo Trasande sur l'impact de la perte de QI liée à l'exposition à des organophosphates. Sans compter que les effets de la plupart des pesticides sur le neurodéveloppement n'ont pas été testés.

Que préconisez-vous pour réglementer les perturbateurs endocriniens ?

B. D. : De les classer en trois catégories en fonction du niveau de preuve, comme cela est fait pour les substances cancérigènes. Il s'agit de la 3^e option de la CE, et nous montrons qu'elle remplit tous les critères recherchés.

La CE a-t-elle réagi ?

B. D. : Absolument pas. Pourtant, à Berlin, d'autres sont arrivés à la même conclusion depuis. La CE se préparerait-elle à changer la loi, afin qu'elle ne repose plus sur le danger mais sur le risque, bien moins contraignant car autorisant des seuils ? Nous le craignons, car c'est ce que visent le CEFIC et l'EPCA, les lobbies européens de la chimie et de l'industrie des pesticides, comme le dénonce le journaliste Stéphane Horel dans son livre *Intoxication*.

Marie-Neige Cordonnier

R. Slama et al., EHP, 2016