

Mathématiques

Yakov Sinai, prix Abel 2014

Le prix Abel est un prix annuel pour les mathématiques créé par l'Académie norvégienne des sciences et des lettres en 2003. Son prestige équivaut à celui de la médaille Fields. La cuvée 2014 a été attribuée à Yakov Sinai, mathématicien russe travaillant à l'Université de Princeton, aux États-Unis, et à l'Institut Landau de physique théorique de l'Académie russe des sciences. Il est récompensé pour ses contributions fondamentales à la théorie des systèmes dynamiques et à la physique mathématique.

Y. Sinai s'est surtout intéressé aux systèmes dynamiques, qui évoluent dans le temps selon certaines règles. Il a, en particulier, développé des outils, telle l'entropie de Kolmogorov-Sinai, pour classer les systèmes en fonction de leur imprévisibilité. Un système peut être déterministe – parfaitement prévisible, du moins en principe, quand on en connaît l'état initial – ou stochastique, quand son évolution est aléatoire et n'autorise que des prévisions



Yakov Sinai, spécialiste de la théorie des systèmes dynamiques.

probabilistes. Certains systèmes déterministes peuvent être imprévisibles en pratique. Dans cette situation dite de « chaos déterministe », deux états initiaux légèrement différents du même système conduisent rapidement à des évolutions très distinctes. Y. Sinai a notamment étudié comment, pour de tels systèmes dynamiques, l'analyse statistique permet de faire des prévisions précises.

Il a par exemple étudié le billard qui porte son nom. Il s'agit d'un billard carré dont le centre est occupé par un disque. Une

petite boule de masse négligeable est lancée dans le billard et rebondit contre les parois du carré et du disque, comme le ferait une vraie boule de billard. Y. Sinai a montré qu'il s'agit d'un système chaotique (contrairement au billard rectangulaire ordinaire). Ce modèle lui a permis d'étudier la dynamique des gaz, où les molécules sont représentées par des petites billes qui entrent fréquemment en collision.

Y. Sinai, âgé aujourd'hui de 78 ans, a eu un rôle important dans plusieurs domaines à la frontière des mathématiques et de la physique. De nombreux résultats en mathématiques ayant des applications en physique portent son nom : les marches aléatoires de Sinai, les mesures de Sinai-Ruelle-Bowen ou encore la théorie de Pirogov-Sinai. Il a aussi exercé une grande influence sur les chercheurs qui l'ont côtoyé, notamment ses doctorants, dont il a formé plus d'une cinquantaine au cours de sa carrière.

S. B.

<http://www.abelprize.no>

Un hiver volcanique ?

Les volcans projettent dans l'atmosphère de grandes quantités de particules, qui réfléchissent une partie de la lumière du Soleil vers l'espace et peuvent ainsi refroidir le climat. Or le réchauffement climatique s'est un peu ralenti lors de la dernière décennie. Benjamin Santer, du Laboratoire Lawrence Livermore, en Californie, et ses collègues ont montré que les 17 éruptions relativement petites survenues depuis 1999 ont eu un effet cumulé significatif, qui a participé à ce ralentissement.

Thérapie génique de l'ataxie

L'ataxie de Friedreich est une maladie génétique rare, qui touche une protéine des mitochondries, les usines énergétiques de la cellule. Elle entraîne notamment des complications cardiaques, souvent mortelles. Hélène Puccio, de l'INSERM, et ses collègues ont mis au point une thérapie génique qui a neutralisé ces complications chez la souris. Un vecteur viral, introduit par injection intraveineuse, a livré un gène fonctionnel aux cellules cardiaques, afin de leur faire produire une protéine mitochondriale non défectueuse.

Paléontologie humaine

Little Foot, aussi vieux que Lucy ?

On ne dispose que d'un seul squelette presque complet d'Australopithèque : celui d'un individu nommé Little Foot. Dégagé de sa gangue rocheuse pendant 13 ans après sa mise au jour en 1997, en Afrique du Sud, il n'a pu être daté directement. À la demande de son découvreur – Ronald Clarke, de l'Université du Witwatersrand à Johannesburg –, Laurent Bruxelles, de l'INRAP, et des collègues viennent d'analyser de près le chaos sédimentaire souterrain dans lequel il a été retrouvé, et concluent à un âge compris entre 2,2 et 4 millions d'années.

Little Foot a été trouvé au bas d'un puits donnant dans l'une des

grottes du Berceau de l'humanité, une zone d'à peine 25 000 hectares, ainsi surnommée parce qu'elle a livré plus du tiers des fossiles humains anciens. Après sa mort, il avait été enseveli dans la roche formée par la chute de fragments que le ciment naturel, déposé par les eaux d'infiltration saturées de minéraux, a soudés. Ces dépôts ont souvent été dérangés, mais aussi complétés, par d'épais planchers de calcites venus remplir les vides ou s'intercaler entre les périodes de sédimentation détritiques.

C'est ce puzzle sédimentaire qu'ont analysé les chercheurs. En montrant que le squelette avait été

scindé en deux groupes d'ossements séparés par un plancher, ils ont reconstitué l'histoire de la strate dont il a autrefois fait intégralement partie. L'intervalle temporel ainsi déterminé encadre l'âge de 3,3 millions d'années auquel était parvenu R. Clarke en étudiant les détails des ossements de Little Foot et en les comparant à ceux des autres Australopithèques. Ainsi, la géologie ne contredit pas le résultat de R. Clarke qui, s'il est juste, apporte au genre *Homo* un ancêtre potentiel comparable à Lucy. Sud-africain celui-là.

François Savatier

L. Bruxelles et al., *J. of Human Evolution*, en ligne le 31 mars 2014



Le crâne de Little Foot sur le point de sortir de sa gangue de pierre. Ce fossile d'Australopithèque est vieux de 2,2 à 4 millions d'années.

Neurophysiologie

Le nez humain, bien plus fin qu'on ne le pensait

Des tests réalisés avec des mélanges de molécules odorantes suggèrent que la plupart des personnes peuvent distinguer un nombre gigantesque d'odeurs différentes.



Une rose émet plusieurs centaines de molécules odorantes différentes.



Molécule odorante présente

- Dans les deux mélanges
- Seulement dans le premier mélange
- Seulement dans le second mélange
- Dans aucun des deux mélanges

Des molécules odorantes de 128 types différents (figurés par les petits carrés dans les diagrammes ci-dessus, ces derniers représentant chacun une paire de mélanges) ont été mélangées de diverses façons. Lors de chaque test, un participant devait sentir deux mélanges partageant un nombre plus ou moins grand de types de molécules (ils se recouvrent à 97 pour cent dans le diagramme ci-dessus à gauche, et à 33 pour cent dans celui de droite), puis annoncer s'il percevait des odeurs différentes.

Chez l'homme, on estime que 60 pour cent des gènes codant les récepteurs olfactifs ne sont plus fonctionnels. Avons-nous pour autant un piètre odorant ? Une étude réalisée à l'Université Rockefeller, à New York, par Andreas Keller et ses collègues suggère le contraire : la plupart d'entre nous seraient capables de discriminer plus de 1 000 milliards d'odeurs !

Une odeur naturelle résulte en général d'un cocktail de molécules (plusieurs centaines pour le parfum d'une rose, par exemple). Ces molécules se fixent sur des récepteurs membranaires présents sur les neurones des muqueuses olfactives, qui tapissent l'intérieur du nez. En réaction, les neurones des muqueuses envoient des influx nerveux vers le bulbe olfactif, puis vers diverses aires cérébrales.

Pour quantifier le pouvoir de résolution de notre système olfactif, les neurobiologistes

ont sélectionné 128 molécules odorantes et ont effectué des mélanges de 10, 20 ou 30 molécules en quantités égales. Il existe un nombre faramineux de combinaisons possibles : plus de 10^{29} avec 30 molécules. Les mélanges élaborés se recouvraient partiellement, ayant un certain nombre de molécules en commun. Plusieurs centaines de ces mélanges ont été soumis, deux par deux, à 28 adultes, qui devaient les sentir et tenter de distinguer leurs odeurs. Les chercheurs ont ainsi pu déterminer le degré de différence nécessaire pour que deux mélanges soient reconnus comme distincts, et en déduire le nombre de mélanges suffisamment différents pour être distingués.

Les résultats dépendent des mélanges et des individus. Ainsi, la moitié des sujets testés distinguent au moins certains mélanges ayant moins de 75 pour cent de composés en commun.

Au-delà de 90 pour cent de recouvrement, personne ne fait la différence. Par une analyse statistique et divers traitements mathématiques, A. Keller et ses collègues ont déduit de ces résultats que la plupart des personnes sont capables de discriminer plus de 1 000 milliards ($1,7 \times 10^{12}$) de mélanges différents. L'expérience confirme cependant que la sensibilité olfactive est très variable d'un individu à l'autre : l'estimation du nombre d'odeurs discriminables par chacun des volontaires varie d'un facteur 10^{20} (elle va de 10^8 à 10^{28}) !

Cette nouvelle estimation du pouvoir de résolution olfactif est supérieure de plusieurs ordres de grandeur aux précédentes, qui évoquaient environ 10 000 odeurs distinguables. Et ce n'est qu'une borne inférieure : il existe bien plus de molécules odorantes que les 128 sélectionnées, et bien plus de mélanges possibles que ceux comportant 10, 20 ou

30 types de molécules. En outre, des mélanges comprenant des composés identiques, mais en concentrations différentes, produisent des odeurs différentes.

Cette estimation est aussi très supérieure à celle du pouvoir de résolution de nos systèmes visuel et auditif. En effet, nous ne sommes capables de discriminer « que » quelques millions de couleurs et environ 500 000 intervalles de tonalité sonore. Cependant, la comparaison est difficile : une couleur et un ton peuvent être associés à un paramètre simple, une fréquence (respectivement d'une onde électromagnétique et d'une onde acoustique), ce qui n'est pas le cas d'une odeur. Quoi qu'il en soit, l'odorat ne semble pas être le parent pauvre de notre système sensoriel, contrairement à ce que l'on a longtemps cru.

Guillaume Jacquemont

C. Bushdid et al., Science, en ligne le 20 mars 2014