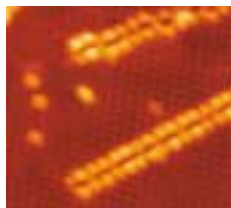


Les lignes de diamants

Des équipes du CEA et du CNRS ont synthétisé des lignes d'atomes de carbone dont la structure est celle du diamant. En traitant la surface d'un cristal de carbure de silicium, qui comporte alternativement



des couches de carbone et des couches de silicium, les physiciens ont obtenu en surface des lignes d'atomes de carbone. Alors qu'ils s'attendaient à obtenir une structure cristalline identique à celle de l'acétylène,

les physiciens ont obtenu une structure analogue à celle du diamant. Ces lignes d'atomes constituent un substrat idéal pour la croissance des monocristaux de diamants.

Prévenir la paralysie

Un traitement médical éviterait-il la paralysie aux personnes blessées à la colonne vertébrale? La réponse est positive chez la souris. Une équipe de l'Université Vanderbilt a traité avec succès des souris, dont la moelle épinière avait été sectionnée, en leur injectant, après la lésion et pendant plusieurs jours, un polysaccharide nommé CM101, produit par des bactéries. Cette substance bloque la formation de vaisseaux sanguins et la cicatrisation des tissus, ce qui laisse le temps aux neurones de se régénérer et de rétablir le contact entre le cerveau et les centres de commande des membres inférieurs. Les souris traitées ont presque toutes remarché après une douzaine de jours.

La température des dinosaures

S'il est maintenant établi que les premiers dinosaures étaient des animaux à sang froid, tels les reptiles, des zoologistes australiens ont montré que leur grande taille leur permettait de maintenir une température corporelle élevée et stable, malgré leur métabolisme lent. En nourrissant des crocodiles avec des carcasses de poulets munies de thermomètres radio-émetteurs, ils ont noté que la température des animaux les plus gros était supérieure à celle des animaux plus petits. En extrapolant à des animaux plus gros le transfert de chaleur observé entre un crocodile et son environnement, les zoologistes déduisent qu'un animal de dix tonnes (un gros Tyrannosaure) avait une température corporelle de 36 °C en hiver et 31 °C en été avec des fluctuations journalières inférieures à 0,1 °C.

Suite page 28

Maîtresses matrices

Le jeu de solitaire, les atomes et les nombres premiers partagent un comportement régi par des matrices aléatoires.

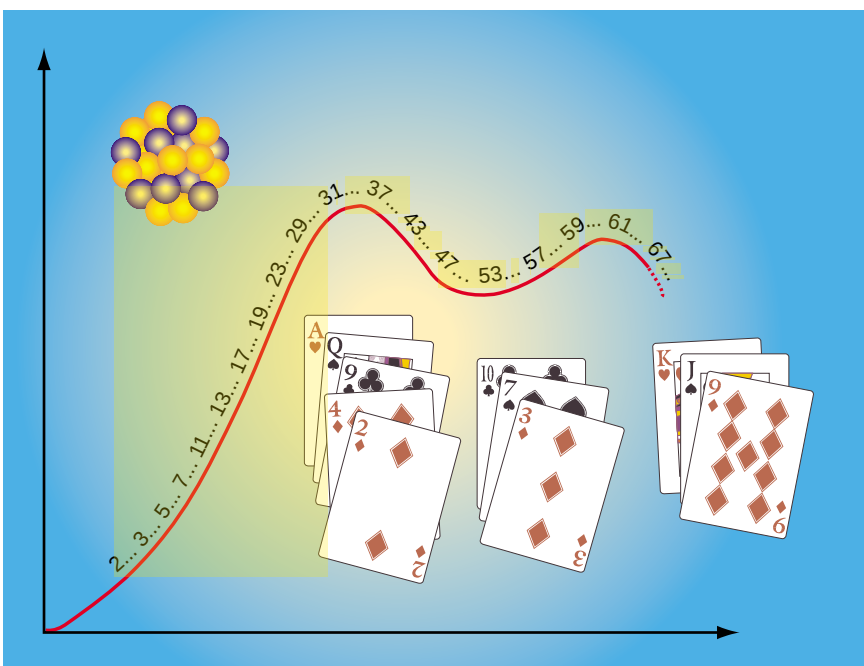
Dans de nombreux jeux, tels les dés, la représentation des probabilités des résultats possibles est une courbe de Gauss, en cloche. Les courbes de probabilité des jeux de cartes ont des formes plus rares, d'interprétation difficile. Néanmoins, des mathématiciens ont récemment percé les secrets d'une version simplifiée du jeu de solitaire. Selon eux, les scores obtenus se répartissent suivant les mêmes lois de probabilité que les valeurs caractéristiques – ou valeurs propres – d'un outil mathématique couramment utilisé par les physiciens qui étudient les gros atomes : les matrices aléatoires.

Le jeu de solitaire étudié est une variante de la réussite. En voici les règles. Retournez une à une les cartes d'un jeu que vous avez préalablement mélangé. Chaque fois que vous le pouvez, posez la carte retournée sur une pile dont la valeur de la carte du dessus est supérieure (voir les exemples sur la figure). Lorsque c'est impossible, entamez une nouvelle pile. Le but du jeu consiste à faire le moins de piles possible. Votre score dépendra uniquement de l'ordre des

cartes retournées. Jouez au moins quelques dizaines de milliers de fois et notez le nombre final de piles à chaque partie. Puis, sur un graphique, mettez en abscisse le nombre de piles et en ordonnée le nombre de fois où vous avez obtenu ce nombre de piles : la courbe résultante (voir la figure) représente la densité de probabilité des scores à ce jeu de solitaire. Ne trouvez-vous pas, à l'instar de Persi Diaconis, mathématicien de l'Université Stanford, que cette courbe a une forme «ésotérique»?

Les matrices aléatoires – des tableaux carrés à n rangées et n colonnes dont les termes sont choisis au hasard – constituent une curiosité mathématique. Les valeurs propres sont les nombres caractéristiques d'une matrice qui permettent, en conférant une symétrie à la matrice, de simplifier les calculs. Lorsque, par un processus aléatoire, vous choisissez les éléments de matrices aléatoires en piochant des nombres appartenant à un échantillon qui suit la loi de Gauss, les valeurs propres de ces matrices obéissent à une loi de distribution «ésotérique» avec deux sommets. Les mathématiciens se perdent en conjectures pour expliquer ce phénomène.

Toutefois, les matrices aléatoires rendent de grands services quand il s'agit de calculer en physique quantique le spectre d'un atome, c'est-à-dire les états qu'un atome adopte en fonction de son énergie. Pour de petits atomes, les physiciens utilisent de petites matrices carrées non aléatoires dont les valeurs propres constituent le spectre



L'état des noyaux des gros atomes, l'espacement des nombres premiers sur l'ensemble des entiers (la suite de nombres sur la courbe rouge) et les scores à certains jeux de cartes, tels que la réussite (la courbe rouge représente la probabilité des scores possibles) sont gouvernés par les mêmes lois de distribution que les valeurs propres des matrices aléatoires.

de l'atome. Pour de gros atomes, le calcul est fastidieux.

Dans les années 1930, Eugène Wigner, qui reçut le prix Nobel en 1963, a proposé d'utiliser les matrices aléatoires pour calculer le spectre de gros atomes, tels que l'uranium. Cette technique est fondée sur le principe ergodique, mis au point par Josiah Gibbs, qui stipule que l'étude d'un grand nombre d'états d'un atome – en fonction de l'énergie – est identique à l'étude du même grand nombre d'atomes à un instant donné. L'état de chacun des atomes est représenté par une matrice. Un gros atome peut être dans de nombreux états selon celui de chacune des particules qui le composent (par exemple, un atome d'uranium est composé de 714 quarks et de 92 électrons) : les matrices sont alors considérées comme aléatoires. En calculant les valeurs propres de certaines

de ces matrices aléatoires ayant une symétrie par rapport à leur diagonale, les physiciens calculent statistiquement le spectre des gros atomes.

L'énigme de la répartition des valeurs propres des matrices aléatoires sera-t-elle résolue grâce au jeu de solitaire ou à la physique quantique des gros atomes ? Les mathématiciens des nombres espèrent aussi beaucoup de l'élucidation de cette loi de probabilité. En effet, en 1859, Bernhard Riemann a défini une fonction décrivant la répartition des nombres premiers (divisibles seulement par 1 ou par eux-mêmes) dans l'ensemble des entiers. L'espacement des nombres premiers est défini par les solutions d'une équation à deux inconnues où intervient cette fonction. Sans pouvoir le prouver, Riemann avait établi une condition numérique sur l'une des inconnues de cette

équation. Aujourd'hui, les ordinateurs confirment cette condition, mais la démonstration résiste encore aux mathématiciens.

D'après Andrew Odlyzko, des Laboratoires AT&T, les solutions de la deuxième inconnue de cette équation se répartissent de la même façon que les valeurs propres des matrices aléatoires. Le mathématicien en conclut que ces solutions seraient les valeurs propres d'un ensemble de matrices aléatoires encore inconnu.

Avec une certaine ironie, un outil mathématique dont le comportement est encore inexplicable, expliquerait les comportements aussi variés que ceux des gros atomes, de certains jeux de cartes, de lois économiques, et des solutions d'un problème d'arithmétique que les mathématiciens tentent de résoudre depuis 140 ans.

Mystérieux nuages

Au cœur de la Galaxie, des nuages de gaz révélés par les pulsars.

Depuis la découverte des pulsars, en 1967, les astronomes étudient ces astres en rotation rapide dont le rayonnement radio balaye la Terre, comme le faisceau d'un phare balaye les flots. Ces études ne révèlent pas seulement les caractéristiques de ces objets, mais aussi celles du gaz situé entre nous et les pulsars observés. Ainsi, nous avons observé, dans le domaine radio, une scintillation d'un pulsar due au passage de gigantesques nuages de gaz ionisés sur la ligne de visée du pulsar.

Lorsque l'on observe les étoiles, leur lueur nous apparaît vacillante : elles scintillent en raison de la turbulence dans l'atmosphère terrestre. De même, la scintillation de l'émission radio des pulsars révèle la turbulence du milieu interstellaire, milieu ténu, principalement constitué d'hydrogène ionisé (une dizaine de protons ou d'électrons par litre).

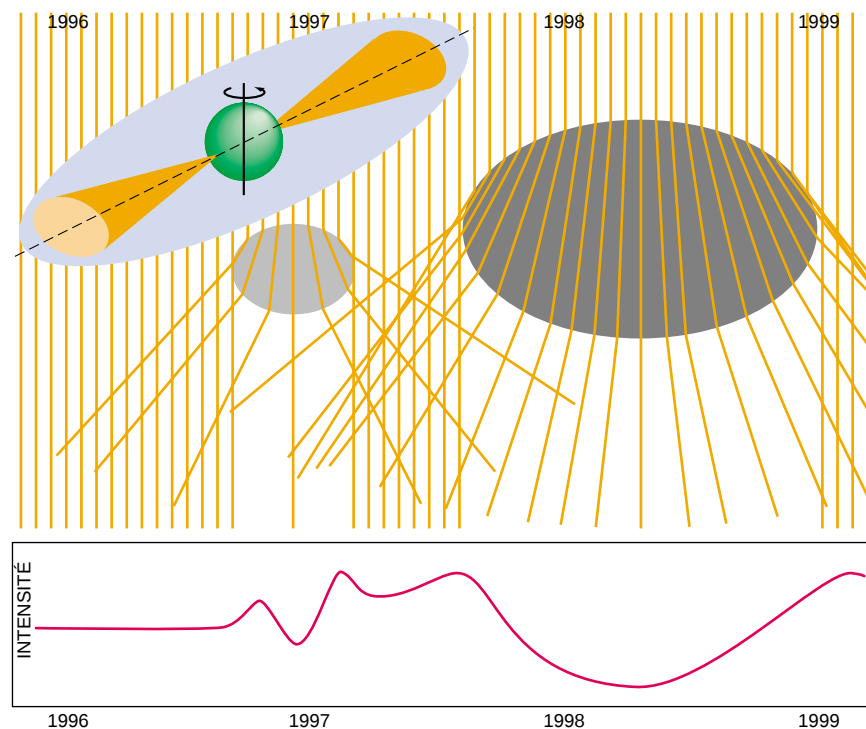
Depuis dix ans, afin d'étudier cette turbulence, les astronomes chronomètrent le rayonnement radio des pulsars les plus rapides, dont la période de rotation est de l'ordre de la milliseconde. Au radiotélescope de Nançay, notre équipe étudie le pulsar J1643-12 depuis trois ans. Voici deux ans, nous avons remarqué une forte diminution de l'intensité du rayonnement du pulsar. Quelles peuvent être les raisons de cette diminution ?

Cet événement, nommé scintillation forte, résulte vraisemblablement du pas-

sage entre le pulsar et la Terre d'un nuage ionisé, beaucoup plus dense que le milieu ambiant : lors de son passage, le nuage agit comme une lentille divergente qui réfracte le rayonnement radio du pulsar (l'indice de réfraction du nuage est supérieur à celui du milieu ambiant). Alors que l'on s'attendait à une remontée de l'intensité radio à son niveau initial après quelques mois d'affaiblissement, à notre grande sur-

prise, une diminution accrue a suivi une légère remontée. Finalement, après 24 mois, l'intensité est revenue à son niveau antérieur. Cette scintillation est la plus longue jamais observée.

À l'aide des lois de la réfraction de l'optique géométrique, applicables aux rayonnement radio, nous avons établi un modèle physique du «nuage-lentille» interposé entre le pulsar et la Terre. Pour rendre



Le pulsar J 1643-12 est analogue à une balise radio qui envoie des signaux à intervalles réguliers (ovale violet). Les rayons radio émis à intervalles réguliers sont réfractés par des nuages de gaz ionisé, plus denses que le milieu ambiant, qui passent entre le pulsar et la Terre. Comme les nuages se déplacent, l'intensité reçue par le radiotélescope varie au cours du temps (courbe rouge).