

DES CAILLOUX DANS LES CHOSSES SÛRES



Didier Nordon épingle les scientifiques et les politiques qui extraient de la science plus qu'elle ne dit. Nul doute que chacun reconnaîtra dans ces piques... le défaut de son condisciple.

144 pages - 65 F
Code 1897

**POUR LA
SCIENCE**
DIFFUSION BELIN

Bon de commande en p. 98

lésion est infime, la vie cellulaire continue, mais les mécanismes insidieux de la cancérogenèse s'enclenchent.

Ainsi, l'une des modifications possibles de l'ADN est l'oxydation d'un de ses éléments, la guanine, transformée en 8-oxoguanine. Au cours de la division cellulaire, l'enzyme ADN polymérase recopie l'ADN de façon que le brin en cours de synthèse soit une copie rigoureuse de l'ADN initial. Quand la guanine est devenue une 8-oxoguanine, l'enzyme se trompe et ajoute à la chaîne d'ADN en construction une adénine à la place d'une cytosine. Cette anomalie dans le message génétique perturbe ensuite la synthèse de la protéine codée par le gène muté : celle-ci est alors plus ou moins fonctionnelle ; parfois, elle n'est même pas synthétisée.

La cellule dispose d'une deuxième ligne de défense visant à éliminer ces lésions d'oxydation : les enzymes de réparation. L'équipe de S. Boiteux a découvert une de ces enzymes, l'ADN glycosylase, qui découpe spécifiquement les 8-oxoguanines de l'ADN avant toute répllication. Les biologistes ont cloné le gène codant cette enzyme chez l'homme, et ont isolé le gène correspondant, nommé *hogg1* (pour *human oxoguanine glycosylase 1*). La protéine codée par *hogg1* est exprimée dans tous les tissus de l'organisme.

Connaissant le rôle du gène équivalent chez la levure, les biologistes supposent que le gène *hogg1* répare certaines mutations et prévient ainsi les mécanismes tumoraux : il serait un gène suppresseur de tumeurs. En effet, chez les patients atteints de cancer du poumon, un autre gène suppresseur de tumeur, *p53*, contient de nombreuses mutations où une adénine remplace une cytosine ; cela laisse supposer que le gène *hogg1* n'a pas éliminé les 8-oxoguanines présentes dans le gène *p53*. De surcroît, les remaniements chromosomiques sont fréquents dans les cellules des tumeurs pulmonaires, et l'extrémité du chromosome 3, où est localisé le gène *hogg1*, est souvent absente. Enfin, la fumée de cigarette contient de nombreux agents oxydants, de sorte que les cellules pulmonaires subiraient un stress oxydatif répété, alors même que la protéine de réparation codée par *hogg1* n'est pas synthétisée, est anormale ou inefficace.

L'intégrité de l'ADN étant vitale, d'autres enzymes de réparation assurent vraisemblablement la stabilité de l'information génétique. Leur identification aidera les biologistes à mieux comprendre les conséquences néfastes de l'oxydation.

Marie-Thérèse LANDOUSY

Un billard réversible

**On renverse le temps
dans les billards ondulatoires.**

Après la chute d'une pierre dans une mare, les ronds formés dans l'eau s'éloignent du point d'impact. Si l'on passait le film de la chute à l'envers, on verrait les ronds se rapprocher et la pierre jaillir de l'eau. Peut-on retourner temporellement tous les mouvements de sorte qu'ils se comportent comme le mouvement direct observé en inversant le temps ? C'est en général difficile pour le mouvement des particules, mais plus aisé pour des ondes.

Certains billards dont le bord comprend une partie circulaire et une partie droite ont un comportement chaotique ; la trajectoire d'une boule qui rebondirait parfaitement sur les bords est très sensible aux conditions initiales : deux boules lancées sur des trajectoires voisines suivent des trajectoires qui s'écartent suivant une loi exponentielle. Cette sensibilité aux conditions initiales empêche la réalisation d'une expérience de renversement du temps. Si, après une dizaine de rebonds, on renverse le mouvement d'une boule unique, celle-ci ne revient pas à son point de départ, car la moindre erreur de mesure est amplifiée.

En revanche, une telle expérience de renversement du temps peut être réalisée, non avec des particules, mais avec des ondes, car leur évolution est régie par des équations linéaires (aucun produit des fonctions ou de leurs dérivées n'y apparaît) ; une petite erreur commise lors du renversement ne s'amplifie pas au cours du temps. En utilisant des ondes élastiques se propageant sur la surface d'une galette de silicium, nous avons montré qu'après de nombreuses réflexions, une onde renvoyée en sens inverse, même imparfaitement, convergeait avec précision vers son point de départ.

Le plus curieux dans cette expérience est qu'un billard dont le comportement est chaotique simplifie le renversement du temps : dans le cas de la propagation d'ondes sur ce type de billard, un unique capteur piézo-électrique suffit à renverser le temps de manière efficace alors que habituellement, des centaines sont nécessaires. Pourquoi cette simplification ? Parce qu'en plus d'être chaotiques, ces billards sont ergodiques, de sorte que toute l'information sur l'histoire du champ ondulatoire est contenue, après une durée caractéristique, dans

L'UNIVERS DES SCIENCES



LES ÉTOILES

Ce livre expose l'origine et la nature de nos connaissances sur les étoiles, avant de les décrire dans leur dynamique et leur devenir. Les objets célestes les plus insolites, géantes rouges, supernovae, pulsars et trous noirs, s'insèrent alors naturellement dans le récit de l'évolution stellaire.

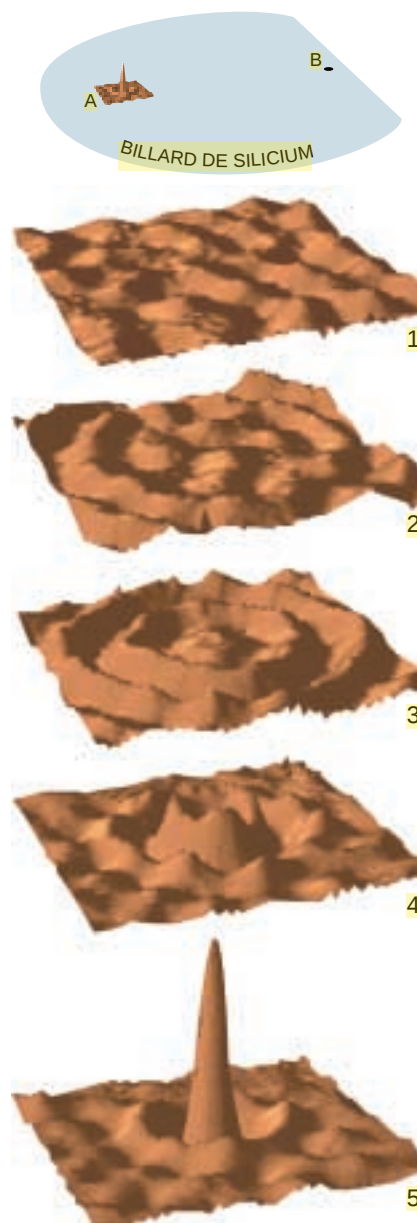
272 pages - 220 F
code 1892

**POUR LA
SCIENCE**
DIFFUSION BELIN

Bon de commande en p.98

l'évolution temporelle de l'onde en chaque point du billard. Grâce à cette propriété, la mesure de l'évolution du champ en n'importe quel point du billard donne les informations suffisantes pour renverser le champ ondulatoire dans tout le billard.

Pour réaliser cette expérience, nous produisons une onde élastique à la surface d'un disque de silicium tronqué. Cette géométrie assure l'ergodicité du billard. En un point A du billard, la pointe d'un cône d'aluminium solidaire d'un trans-



À intervalles réguliers, on mesure la déformation du silicium due au passage de l'onde de surface inverse renvoyée du point B. On visualise ainsi le champ ondulatoire dans un carré de 15 micromètres de côté autour du point d'émission des ondes (A). Alors que le champ ondulatoire semble d'abord désordonné (1), l'onde renvoyée se focalise en son point d'émission initiale (5).

ducteur piézo-électrique est en contact avec la plaque de silicium. Elle oscille brièvement, engendrant ainsi des ondes de surface durant une microseconde. Une seconde pointe couplée à un capteur piézo-électrique, placée au point B, enregistre les oscillations produites par le passage de l'onde. Le signal observé en ce point est long : le signal direct qui arrive du point A est suivi des ondes qui ont subi une, puis plusieurs réflexions sur les bords du billard. La superposition de ces signaux produit un champ ondulatoire d'aspect aléatoire. L'avantage des ondes de surface engendrées est leur faible atténuation : durant le temps de l'enregistrement (plusieurs dizaines de millisecondes), les ondes parcourent plusieurs centaines de mètres et elles traversent le billard des centaines de fois.

Du signal enregistré en B, nous extrayons une partie (deux millisecondes) que nous renvoyons du même point, selon une chronologie inversée. À l'aide d'une sonde optique qui mesure les déplacements de la surface de silicium à quelques dixièmes de nanomètre près, on suit la progression de l'onde de surface inversée. Après quelques millisecondes, l'onde revient à son point de départ, comme si nous passions le film de la propagation initiale à l'envers. La focalisation de l'onde en A est optimale lorsque le temps durant lequel l'onde est renvoyée est au moins égal au temps d'ergodisation du billard, le temps nécessaire pour que toute l'information sur le champ ondulatoire atteigne le point B.

De tels systèmes ondulatoires intéressent les physiciens qui cherchent à comprendre l'émergence du chaos à la frontière entre physique classique et physique quantique. En raison de l'analogie entre l'équation de Schrödinger, qui décrit l'évolution des systèmes quantiques, et l'équation de propagation des ondes, les notions de chaos quantique et de chaos ondulatoire sont fortement couplées.

Nos expériences confortent l'idée qu'en mécanique quantique, les systèmes ne sont pas sensibles aux conditions initiales. Pourtant, lorsque la constante de Planck est négligeable, le monde quantique se rapproche du monde classique, et nous devrions observer l'apparition du chaos caractérisé par la sensibilité aux conditions initiales. Des expériences d'acoustique menées en utilisant des longueurs d'onde de plus en plus petites pourraient simuler cette transition entre le monde quantique et le monde classique.

Carsten DRAEGER et Mathias FINK
Laboratoire ondes et acoustique,
ESPCI et Université Denis Diderot, Paris