



ISTOCK

Le hasard, le vrai

Nicolas Gisin, professeur au Groupe de physique appliquée, publie un livre sur le hasard quantique. C'est l'occasion de faire le tour de cette notion qui couvre des phénomènes pour le moins contre-intuitifs comme la non-localité, l'intrication, etc.

hasard. En revanche, pour quelqu'un qui observe la scène depuis une certaine hauteur, cette retrouvaille est nettement plus prévisible puisqu'il voit depuis un certain temps les deux protagonistes se diriger l'un vers l'autre.

NOMBRES PSEUDO-ALÉATOIRES

De la même manière, on peut trouver, quoi qu'avec plus de difficultés, une explication déterministe à des événements en apparence aléatoires comme le jet de dés, la loterie ou le jeu de pile ou face. «*Dans ce dernier cas, la complexité des microphénomènes en jeu est telle qu'il est impossible en pratique de prédire le résultat, admet Nicolas Gisin. Mais cette impossibilité n'est pas*

hasard mais leur résultat est prévisible. Il suffit qu'une personne mette la main sur le code informatique qui l'a produit.

Ce point est problématique pour de nombreux secteurs très dépendants de nombres véritablement aléatoires. Dans les jeux de casino en ligne, comme le poker, les joueurs aimeraient bien être certains qu'aucun adversaire ne soit capable de connaître leur main. Le détenteur d'une carte bancaire ne souhaite pas qu'un individu malintentionné devine son code secret. Quant aux programmes simulant des systèmes très complexes, un prototype d'avion pris dans des turbulences météorologiques par exemple, ils atteignent des limites simplement à cause du fait que les

Il existe le vrai et le faux hasard. Celui que l'on expérimente dans la vie normale, sous la forme d'une rencontre fortuite au coin d'une rue, du jeu de pile ou face ou encore du tirage de la loterie, n'en a que l'apparence. Le vrai hasard, le pur, il faut le chercher dans l'infinitement petit. Dans des processus naturels qui relèvent de la physique quantique et qui mettent en jeu des particules élémentaires. Pour faire la différence entre ces deux types de hasard, les physiciens disposent d'un test infallible. Nicolas Gisin, professeur au Groupe de physique appliquée de la Faculté des sciences, l'appelle le «jeu de Bell» dans son livre qui vient de sortir, *L'Impensable Hasard**. Ce n'est pas un jeu dangereux mais si l'on y gagne un peu trop souvent, cela signifie que l'on est entré dans un territoire étrange et qu'il faut se préparer à affronter des phénomènes aussi déroutants que la non-localité, l'intrication et bien d'autres curiosités quantiques comme la téléportation.

«Un événement arrive par hasard s'il est imprévu, explique Nicolas Gisin. Une définition plus précise de cette notion dépend ensuite de la question: imprévu pour qui?» La rencontre entre deux personnes qui ne s'y attendent pas peut relever, de leur point de vue, du pur

intrinsèque. Elle n'est que le résultat de nombreuses petites causes qui s'imbriquent pour produire le résultat. Si l'on suivait avec suffisamment d'attention et de moyens de calculs le détail de l'évolution de la pièce, en garantissant les conditions des lancers, des molécules de l'air et de la surface sur laquelle elle rebondit, alors on pourrait prédire la face que la pièce exhiberait en fin de course.» Autrement dit, les jeux de hasard n'en sont pas au sens strict du terme.

Il en va de même avec les nombres «pseudo-aléatoires» produits par les ordinateurs. En réalité, ce sont des algorithmes déterministes qui les fabriquent. Ces programmes sont assez compliqués pour donner une apparence de

nombres aléatoires dont ils ont besoin pour fonctionner ne sont pas véritablement produits au hasard mais corrélés entre eux.

ÉTATS «INDÉTERMINÉS»

«Le vrai hasard est celui qui est intrinsèquement imprévisible, précise Nicolas Gisin. C'est-à-dire que rien dans le passé de l'événement aléatoire ne permet de le prévoir.» Ce hasard pas comme les autres se rencontre exclusivement dans la physique quantique. Il fait même partie de sa nature intime. Selon le formalisme quantique, en effet, les particules élémentaires peuvent se trouver dans des états dits «indéterminés». C'est-à-dire qu'un ou plusieurs de

«Si l'on suivait avec assez de moyens de calculs l'évolution de la pièce, on pourrait prédire la face que la pièce exhiberait en fin de course»

leurs paramètres (position, vitesse, polarisation) ne sont pas déterminés avec précision mais par un nuage de valeurs possibles.

Dans le cas de la polarisation d'un photon, par exemple, rien dans la production du grain de lumière ne permet de prédire si elle sera horizontale ou verticale (on peut réduire le champ des possibles à ces deux seuls résultats). En fait, la quantique décrit le photon comme étant dans tous ses états possibles à la fois. C'est-à-dire que, tant que l'on n'est pas allé regarder de plus près, sa polarisation est horizontale et verticale en même temps. Ce n'est qu'au moment de la mesure que ce paramètre se fixe dans une direction ou dans l'autre, d'une manière intrinsèquement imprévisible.

Cette propriété permet notamment de concevoir un générateur de nombres aléatoires. Il «suffit» pour cela de placer sur le trajet de ces photons un miroir semi-transparent qui ne laisse passer qu'une partie des particules (celles de polarisation horizontale) et réfléchit les autres. À l'aide d'appareils capables de détecter un photon à la fois, on peut alors attribuer un 0 à ceux qui traversent le miroir et un 1 aux autres. La succession de «bits» ainsi obtenue est alors parfaitement aléatoire.

NON-LOCALITÉ

Mais comment distinguer ce «vrai hasard» de la polarisation des photons d'un «faux hasard» véhiculé par une pièce de monnaie, puisque, en fin de compte, la probabilité d'obtenir un résultat plutôt que l'autre est de 1/2 dans les deux cas? La différence se fait grâce au «jeu de Bell». Il s'agit d'un théorème mis au point dans les années 1960 par le physicien irlandais John Bell (mort à Genève en 1990) à l'aide de la théorie de la physique quantique. Il se présente sous la forme d'une équation (une inégalité en réalité) à laquelle obéissent tous les événements réductibles – en principe – à un mécanisme déterministe mais qui est violée lorsque l'on a affaire à du vrai hasard.

Car le problème avec le vrai hasard, c'est qu'il est inséparable, selon les équations de la physique quantique, d'une autre notion qui est la non-localité et l'intrication qui lui est associée. Autrement dit, une particule qui obéit au vrai hasard est également susceptible d'être «intriquée» avec une autre particule. Deux photons intriqués, même s'ils sont très éloignés l'un de l'autre, sont liés par une

sorte de lien immatériel, invisible dans notre espace-temps, qui fait de ces particules deux manifestations en deux lieux distincts d'un seul et même objet.

Cela signifie qu'une action sur la première est susceptible d'influencer instantanément l'état de la seconde. Par exemple, si l'on mesure la polarisation d'un des photons et qu'elle s'avère verticale, alors la polarisation de l'autre prend immédiatement la même valeur. Et ce, quelle que soit la distance qui sépare les deux particules, comme si l'information dépassait la vitesse de la lumière. En réalité, aucune information ne transite puisque les deux photons sont considérés, aux yeux de la physique quantique, comme un seul et même objet matérialisé à deux endroits différents de l'espace.

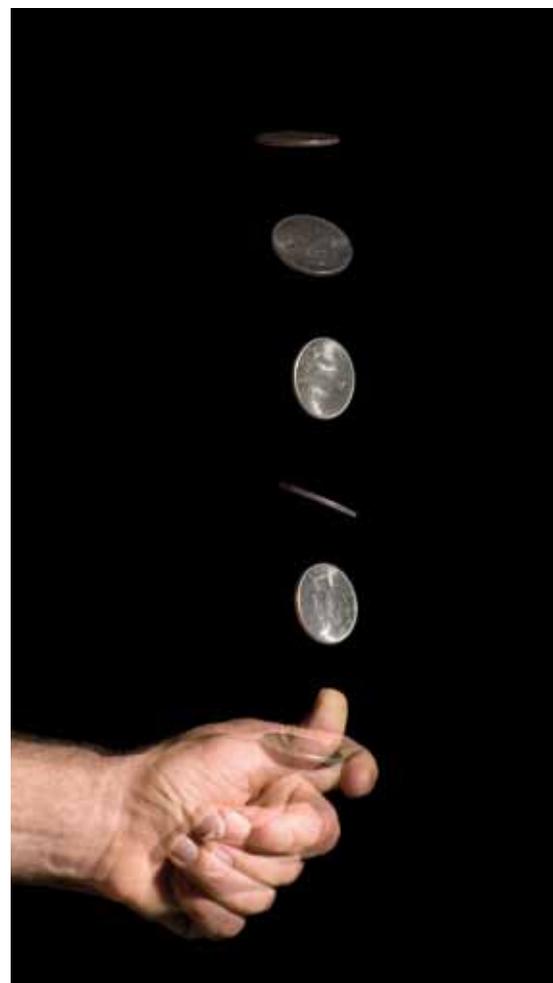
Le hasard: une valeur sûre

Le Groupe de physique appliquée, dirigé par le professeur Nicolas Gisin, étudie depuis plus de vingt ans les phénomènes d'intrication quantique et de non-localité. Ces activités ont donné naissance en 2001 à une start-up, nommée ID Quantique.

ID Quantique commercialise des générateurs de nombres aléatoires prisés notamment par les concepteurs de jeux de casinos ou de loteries en lignes.

L'entreprise genevoise propose aussi un système de cryptographie quantique qui exploite les propriétés d'intrication des photons. Il permet notamment une communication électronique inviolable entre deux correspondants grâce à la production de clés de cryptage qui sont non seulement parfaitement aléatoires (donc incassables par un éventuel pirate, même muni du meilleur ordinateur) mais aussi impossibles à intercepter, puisque la moindre tentative d'espionnage sur les photons circulant sur la ligne les perturbe et sonne l'alerte.

www.idquantique.com



Il n'en reste pas moins que le résultat de la mesure sur ces paires de photons intriqués demeure parfaitement aléatoire. La subtilité, c'est qu'ils obéissent au même hasard à deux endroits différents. Un peu comme si deux joueurs à pile ou face (placés dans des pièces séparées) obtenaient exactement les mêmes résultats en même temps alors même que chaque tirage est parfaitement aléatoire et donc intrinsèquement imprévisible. C'est ce phénomène, l'intrication, que le «jeu de Bell» est capable de mettre en évidence.

Il a fallu attendre 1983 pour que le physicien français Alain Aspect monte, le premier, un dispositif expérimental permettant de montrer que l'intrication, et donc le vrai hasard, est une réalité de ce monde. Le chercheur, qui signe d'ailleurs la préface du livre de Nicolas Gisin, a réussi à créer des paires de photons qui violent l'inégalité de Bell. Une prouesse que même Albert Einstein croyait irréalisable, lui qui affirmait que «Dieu ne joue pas aux dés». ■

Anton Vos

* «L'Impensable Hasard, non localité, téléportation et autres merveilles quantiques», par Nicolas Gisin, Ed. Odile Jacob, 2012, 161 p.