

Le physicien François Rothen nous emmène dans un monde où le hasard règne

Et si Dieu, finalement, jouait aux dés

« JEAN AMMANN

Physique » Il faut renoncer aux tranquilles certitudes de Galilée ou de Newton. François Rothen, physicien, professeur honoraire de l'Université de Lausanne, nous emmène dans un monde où le hasard règne. Son dernier livre, *Aléa*, paru aux Presses polytechniques et universitaires romandes, raconte un monde étonnant, fait d'impossibles prédictions et d'apparents paradoxes. Dans ce monde, qui est pourtant le nôtre, le photon, cette particule de lumière, agit – passez-nous l'expression! – comme un électron libre: il part une fois à gauche, une fois à droite, et personne ne peut deviner son élan. Dans ce monde, des photons séparés par vingt kilomètres de fibre optique agissent simultanément, par un mystère qui dépasse la vitesse de la lumière!

En tant que physicien, croyez-vous au hasard?

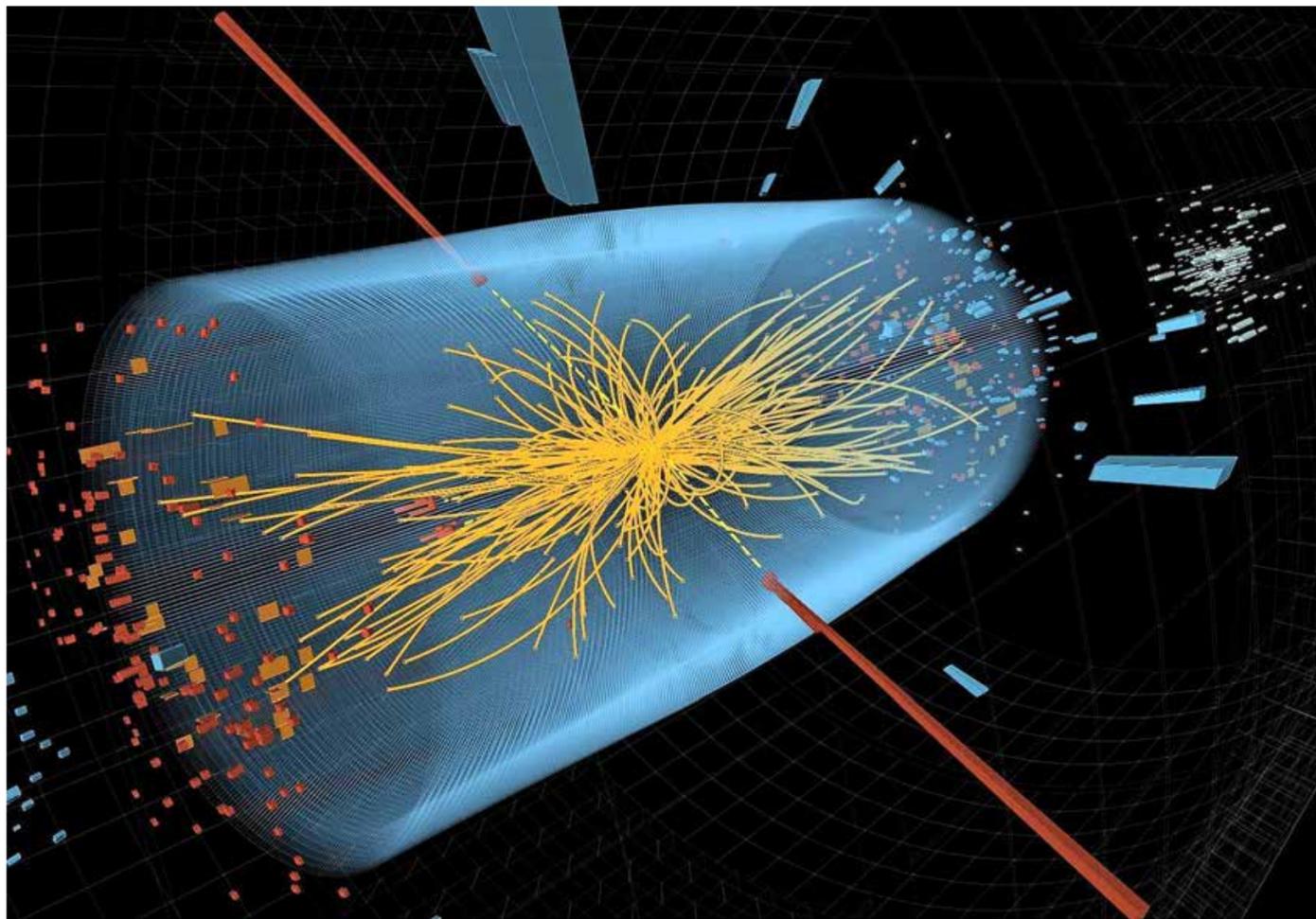
François Rothen: Cela dépend du sens que l'on donne à ce mot. On peut parler de hasard chaque fois qu'un événement n'est pas prédit ou même pas prédictible.

Alors, donnez-nous quelques exemples de ces événements livrés au hasard...

Dès que nous abordons le domaine de la physique quantique, pour des raisons que nous ignorons complètement, nous ne sommes pas capables de faire une prédiction complète des phénomènes. Les expériences nous apprennent que nous ne pouvons prédire certains événements qu'avec une certaine probabilité. Même si la valeur de cette probabilité est bien déterminée, cela reste une probabilité. Les pionniers de la physique quantique, parmi eux Einstein et Schrödinger, étaient choqués par le fait qu'on ne puisse pas prédire un phénomène. Ils disaient simplement: c'est la science qui n'est pas assez avancée; un jour viendra où nous pourrions prédire la chose. La science s'est bien développée après la mort d'Einstein et de Schrödinger, mais tout laisse penser qu'on n'arrivera pas à éliminer cette notion de prédiction partielle. Vous venez d'évoquer le photon, mais on pourrait parler de n'importe quelle autre particule au niveau quantique, car il semble qu'à cette échelle, nous ne pourrions pas dépasser un seuil de probabilité.

Que se passe-t-il à l'échelle atomique?

Prenons le cas de l'électron, qui tourne autour du noyau de l'atome: on ne peut pas savoir exactement quelle est sa position. Dans leur langage, les physiciens parlent de «la distribution de la probabilité» de trouver l'électron autour du noyau. Et au moment où l'on détermine cette probabilité, nous avons profondément modifié le cours des choses! Prenons le cas d'un photon: quand on envoie un faisceau de lumière à travers une surface de séparation air-verre, ce faisceau se divise en deux, selon les lois de l'optique classique. Une partie de ce fais-



Collision de deux photons, illustrée par le CERN: «Dès que nous abordons le domaine de la physique quantique, nous sommes incapables d'établir une prédiction complète», dit François Rothen. Keystone

ceau est réfractée, l'autre est réfléchi. Le photon, lui, ne peut pas se diviser: il doit – entre guillemets – «choisir» l'une des deux directions. Or, c'est impossible de prédire individuellement le destin d'un photon! Va-t-il partir à gauche ou à droite? On ne sait pas. C'est dans ce sens qu'il y a une part de hasard dans le comportement des photons.

Voilà pour l'échelle atomique, mais en vous lisant, on découvre qu'il est aussi très difficile de calculer les trajectoires des planètes dans le système solaire?

C'est un tout autre type de hasard, oui. Les mathématiques ne sont pas capables de prédire exactement les révolutions des planètes dans un système aussi complexe que le système solaire. Si l'on se projette à très long terme, à des milliards d'années, il est impossible de dire si telle ou telle planète ne va pas entrer en collision avec une autre, par exemple. On peut affirmer que ce ne sera pas le cas dans les prochains millions d'années, mais au-delà, on ne sait pas. Les mathématiques montrent



«On ne peut pas savoir quelle est exactement la position de l'électron autour du noyau»

François Rothen

leurs limites, mais aussi toute l'interdépendance des paramètres: il suffit de déplacer un tout petit peu une planète, ou de changer d'un rien sa vitesse, pour que, dans un futur éloigné, tout le comportement du système global soit modifié! Le système tout entier est sensible aux conditions initiales.

Cela ressemble au très célèbre «effet papillon», qui voudrait qu'un battement d'ailes de papillon au Brésil suffise à déclencher une tornade au Texas»...

Exactement, c'est un exemple qui vient cette fois de la météorologie, mais qui montre l'importance des conditions initiales. Là encore, nous sommes dans les mathématiques et l'absence de prédiction. Le langage populaire a retenu cette image du battement d'ailes d'un papillon, mais ce que voulait dire le météorologue Edward Lorenz, c'est qu'une situation sans tornade peuvent ne différer au départ que dans une propor-

tion infime, comparable à un battement d'ailes de papillon.

Vous abordez aussi la question de la vie sur Terre et vous parlez d'une «coïncidence heureuse» à propos des propriétés des noyaux du carbone et de l'oxygène qui ont permis l'émergence de la vie sur cette planète...

Tout est tellement bien agencé qu'il y a de quoi se poser des questions, mais ces questions débordent du cadre de la science. La science peut décrire l'univers, mais elle ne peut pas dire pourquoi l'univers est construit de cette façon. Elle ne va pas davantage dire qui a construit l'univers. Elle laisse à chacun le choix de ses opinions. On peut donc constater le parfait agencement des noyaux de carbone et d'oxygène qui a permis l'apparition de la vie sur Terre, et dire: c'est un pur hasard. Ou on peut aussi dire de façon différente: il y a un Créateur qui a décidé de faire les choses ainsi et tout cela déborde du cadre de la science. Mais il y a aussi des gens, parmi les scientifiques, qui ont des opi-

nions que je n'apprécie que moyennement. Ils disent qu'il y a un nombre extraordinaire d'univers parallèles dont nous n'avons pas conscience et chacun de ces univers possède des valeurs numériques différentes. Dans un de ces univers, le nôtre, les valeurs ont permis cette coïncidence, l'émergence de la vie.

Pourquoi appréciez-vous «moyennement» cette idée d'univers parallèles?

Parce qu'il s'agit d'une pure spéculation. Ce n'est pas une hypothèse, puisqu'on ne peut pas la vérifier.

Pouvez-vous commenter cette célèbre phrase d'Einstein: «Dieu ne joue pas aux dés.» Qu'a-t-il voulu dire?

Einstein voulait dire que la nature n'obéissait pas au pur hasard. Il ne faut pas oublier qu'Einstein est mort en 1955, à un moment donné où la physique quantique n'en était plus à ses balbutiements mais à une époque où de plus grands développements étaient encore à venir. Einstein, par cette phrase, a affirmé sa foi en un déterminisme complet. Il ne pouvait pas croire que la physique quantique marque une restriction du pouvoir du déterminisme.

Et vous pensez que les découvertes de la physique quantique lui ont donné tort...

Jusqu'à maintenant, effectivement, tout semble indiquer qu'Einstein a tort. Ce que je vous dis, c'est ce que nous savons au jour du 7 mai 2019. »

» François Rothen, *Aléa, les métamorphoses du hasard*, Presses polytechniques et romandes, 294 pp., 22 francs.

La connexion instantanée des photons

Prenez deux photons «intriqués», placez-les à vingt kilomètres l'un de l'autre, et regardez ce qui se passe! C'est magique.

François Rothen parle d'une «expérience fabuleuse», quand il évoque les travaux de Nicolas Gisin, un chercheur de l'Université de Genève. En 2008, l'équipe de Nicolas Gisin s'est servie de la fibre optique pour placer deux photons appariés, ou intriqués, à vingt kilomètres l'un de l'autre. «Il faut savoir que les photons ont un sens de rotation, soit positif, soit négatif», explique François Rothen: ces sens de rotation s'opposent pour deux photons

intriqués, si l'un tourne dans le sens positif, l'autre tourne dans le sens négatif. Or, ces deux photons qui se trouvaient à vingt kilomètres l'un de l'autre changeaient instantanément de sens au moment où on le mesurait chez l'autre particule. Pour que l'information circule d'un photon à l'autre, le signal aurait dû se déplacer à une vitesse 100 000 fois supérieure à celle de la lumière. Ce qui paraît totalement contraire aux lois de la physique. Un photon, à l'état isolé, ne tourne pas dans un sens ou dans un autre, il est dans une «superposition» de deux sens de rotation et ce n'est que

lorsque son photon apparié se met à tourner dans un sens que le deuxième photon adopte le sens opposé. Cela paraît contraire à notre intuition, mais c'est ce qui semble se passer.»

On revient toujours à cette question: quelle est la place du hasard dans cette expérience? «Le hasard intervient au moment où le chercheur vérifie le sens de rotation du photon. Pour moi, cela ressemble vraiment à du hasard, puisqu'il n'y a aucun moyen de prédire ce que nous allons observer», répond François Rothen. » JA