

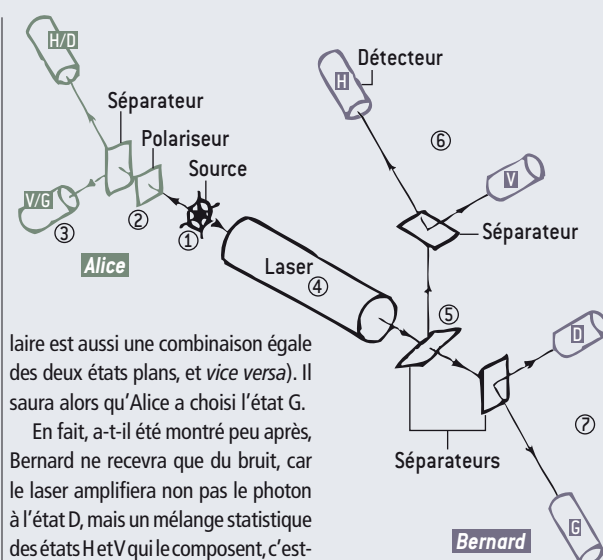
Un télégraphe plus rapide que la lumière ?

Le commutateur supraluminique FLASH imaginé par Nick Herbert en 1981 était inspiré de l'expérience de pensée d'Einstein, Podolsky et Rosen. Une source ① envoie des paires de photons intriqués dans des directions opposées. La propriété considérée est la polarisation des photons, c'est-à-dire la direction d'oscillation du champ électrique associé : la polarisation d'un photon peut être plane, avec un champ électrique oscillant soit horizontalement (H) soit verticalement (V), ou circulaire, où le champ décrit une hélice orientée vers la droite (D) ou vers la gauche (G).

À gauche, à l'aide de polariseurs ②, Alice choisit de donner au photon reçu une polarisation plane ou circulaire, qu'elle contrôle avec des détecteurs ③. Les deux photons étant intriqués, la polarisation du second, qui se dé-

place vers Bernard, est alors instantanément imposée : si l'un est dans l'état H, l'autre doit être dans l'état V (*idem* avec les états D et G). Reste à décoder l'information, et elle aura été transmise plus vite que la lumière.

Pour ce faire, N. Herbert ajoute un laser ④ sur le chemin du photon destiné à Bernard. Les lasers ont la propriété de produire en sortie un faisceau de photons de même polarisation que le signal entrant. En séparant le faisceau de photons en deux ⑤, Bernard peut en envoyer une moitié vers un détecteur mesurant la polarisation plane ⑥ et l'autre vers un détecteur mesurant la polarisation circulaire ⑦. Et si Alice a choisi une polarisation G, conclut N. Herbert, Bernard trouvera que la moitié des photons sortants sont dans l'état D, aucun dans l'état G, un quart dans l'état H et un quart dans l'état V (car un état circu-



laire est aussi une combinaison égale des deux états plans, et vice versa). Il saura alors qu'Alice a choisi l'état G.

En fait, a-t-il été montré peu après, Bernard ne recevra que du bruit, car le laser amplifiera non pas le photon à l'état D, mais un mélange statistique des états H et V qui le composent, c'est-à-dire que les photons produits seront soit dans l'état H, soit dans l'état V, avec une probabilité de 50 pour cent...

D'après N. Herbert, *Foundations of Physics*, vol. 12, n° 12, pp. 1171-1179, 1982

question. C'est à cause de cette propriété, connue depuis sous le nom de théorème de non-clonage, que le système FLASH ne fonctionnait pas. Ce théorème rend impossible l'utilisation de la théorie quantique pour construire des télégraphes plus rapides que la lumière. La corrélation de deux particules n'est pas une action à distance, mais la manifestation du fait que deux systèmes quantiques couplés ne sont pas séparables et doivent être considérés comme un tout. Intrication quantique et relativité d'Einstein ne sont donc pas incompatibles...

Très vite, quelques autres physiciens s'aperçoivent que le théorème de non-clonage offre plus qu'une simple réponse à l'article de N. Herbert ou qu'une base de conciliation de l'intrication et de la relativité. En 1984, l'Américain Charles Bennett et le Canadien Gilles Brassard s'en inspirent pour concevoir le tout premier protocole de cryptage quantique, une nouvelle méthode pour protéger les signaux numériques contre d'éventuels systèmes espions. Le fait que la mécanique quantique interdise à quiconque de faire des copies d'un état quantique inconnu signifie que des partenaires pourraient encoder

des messages secrets dans des photons intriqués et les transmettre en envoyant ces photons. Si quelqu'un interceptait un photon au passage et en faisait une copie, il détruirait immédiatement le signal recherché et trahirait en même temps sa présence.

Aujourd'hui, le cryptage quantique connaît un essor mondial. Plusieurs équipes, telles celles d'Anton Zeilinger en Autriche, Nicolas Gisin en Suisse et Philippe Grangier en France, ont réalisé des démonstrations en situation réelle de transferts de données sécurisés avec cryptage quantique. Un héritage plus qu'honorable du projet impossible de N. Herbert...

Qu'est-ce qu'un gène ?

Notre second exemple concerne les travaux de Max Delbrück (1906-1981), professeur à l'Université Vanderbilt puis à l'Institut de technologie de Californie, aux États-Unis. Ancien élève de Bohr, Delbrück avait tiré d'une conférence de son maître, en 1932, l'idée que la compréhension des processus biologiques engendrerait de nouveaux paradoxes dont la résolution pourrait conduire à la découverte de nouvelles lois de la physique.

Qu'est-ce qu'un gène ? Telle est l'une des questions majeures que l'on se pose dans les années 1940. Au début du XX^e siècle, à la suite de la redécouverte des lois de l'hérédité énoncées en 1866 par le moine morave Gregor Mendel, les biologistes sont convaincus que l'hérédité est portée par des facteurs – des gènes – dotés de deux propriétés : la capacité de se dupliquer et celle de produire des variations ou mutations qui se dupliquent aussi fidèlement que le gène original. Cependant, dans les années 1940, on ne sait toujours pas de quoi les gènes sont constitués, ni comment ils se dupliquent. On ne connaît aucun système physique qui s'autoréplice, écrit Erwin Schrödinger, pionnier de la physique quantique, dans son ouvrage *Qu'est-ce que la vie ?* (1944). Cette capacité des gènes paraît défier les lois de la thermodynamique.

Delbrück cherche le gène atomique, le système physique indivisible responsable des mystères de l'hérédité. En bon physicien, il pense que l'approche la plus fructueuse serait d'étudier les organismes les plus petits et les plus simples connus, les virus. Il choisit les bactériophages (ou phages). Ces virus qui infectent des bactéries sont parmi les

plus faciles à isoler et leur croissance est la plus rapide. Bien qu'à l'instar de tous les virus, les bactériophages ne se multiplient qu'à l'intérieur d'une cellule hôte, Delbrück est convaincu que la réplication des phages est un processus autonome, et il décide de se concentrer sur eux.

Pour résister ainsi aux changements chimiques constants de leur environnement, pense-t-il, les gènes doivent être constitués de molécules d'une grande stabilité, donc de protéines. Il devrait donc être possible d'observer leur duplication pendant la réplication des phages. Mais comment isoler des virus au moment de leur réplication ? La durée de réplication variant d'un phage à l'autre, Delbrück et son collègue Salvador Luria ont l'idée d'infecter la même bactérie avec deux souches d'un phage, l'une se reproduisant plus vite que l'autre. Ils espèrent ainsi isoler des formes intermédiaires de la réplication de la souche « lente » au moment où la bactérie éclate à cause du phage « rapide ».

Toutefois, l'expérience de la double infection ne se déroule pas comme prévu. Luria et Delbrück constatent que l'infection par une souche virale empêche l'infection par l'autre. À la même époque, Thomas Anderson, de l'Université de Pennsylvanie, examine au microscope électronique un échantillon de l'une des souches de phage de Delbrück et Luria. Il découvre que les virus sont bien plus complexes que les scientifiques l'avaient imaginé et qu'ils comportent donc certainement plus d'un gène atomique. Le phage se révèle une particule en forme de têtard, composée à la fois de protéines et d'acides nucléiques, et qui se fixe sur la surface externe de la bactérie pour déclencher une infection. La correspondance un virus/un gène envisagée par Delbrück bat de l'aile.

Le biologiste ne se laisse pas démonter pour autant. Pour comprendre comment certaines bactéries résistent à l'infection par les phages, il met au point avec Luria un « test de fluctuation ». Inspiré des calculs probabilistes de la mécanique quantique, ce test consiste à cultiver séparément quelques bactéries d'une même souche, puis à mettre chaque population obtenue en contact avec le phage. Les proportions de bactéries résistantes dans chaque cas indiqueront si les mutations sont

LES AUTEURS



David KAISER est professeur d'histoire des sciences au Département de physique de l'Institut de technologie du Massachusetts, aux États-Unis.

Angela CREAGER est professeur d'histoire de la biologie à l'Université de Princeton, aux États-Unis.

BIBLIOGRAPHIE

D. Kaiser, *How the Hippies Saved Physics*, W. W. Norton, 2011.

G. Holton (dir.), *Errors : consequences of big mistakes in the natural and social sciences*, *Social Research*, n° 72, 2005.

S. Bergia, Einstein. *Le père du temps moderne*, Belin, 2004.

M. Morange, *Les mousquetaires de la nouvelle biologie*, *Les Génies de la Science*, n° 10, 2002.

A. Creager, *The Life of Virus : Tobacco Mosaic Virus as an Experimental Model, 1930-1965*, University of Chicago Press, 2001.

M. et M. Delbrück, *Bacterial viruses and sex*, *Scientific American*, vol. 179(5), pp. 46-51, 1948.

apparues aléatoirement ou en réaction au phage. L'expérience montre que les bactéries évoluent selon les principes darwiniens, au gré de mutations aléatoires qui, parfois, leur confèrent des avantages pour leur survie.

Le test de fluctuation n'a pas fait avancer la compréhension de la réplication des virus, au grand dam de Delbrück. De plus, il devenait clair que le phage utilisait les ressources cellulaires de la bactérie hôte pour se répliquer. Contrairement à l'hypothèse initiale de Delbrück, on ne pouvait pas ignorer l'hôte. Néanmoins, son intuition de se concentrer sur un système simple a été fructueuse. Elle a permis de montrer que le patrimoine des bactéries est transmis par des gènes et non acquis par un simple mécanisme d'adaptation au milieu, marquant les débuts de la génétique des bactéries et de la biologie moléculaire. Et le phage est devenu un organisme modèle pour toute une génération de biologistes, inspirant même James Watson dans sa quête de la structure de l'ADN. Quant à Delbrück et Luria, ils ont reçu (avec Alfred Hershey) le prix Nobel de physiologie et médecine en 1969, en partie pour ces travaux.

Et aujourd'hui ?

Dans ces deux exemples, des scientifiques ingénieux ont avancé des idées fausses. Ces erreurs, peu banales, ont entraîné des développements majeurs dans différents domaines de la science fondamentale, bientôt appuyés par des programmes de recherche de plusieurs milliards d'euros, et l'éclosion d'industries prospères.

Les erreurs de N. Herbert et Delbrück invitent à la réflexion. Delbrück a fait une carrière scientifique prestigieuse. Il a expertisé des approches non conventionnelles et soumis même la meilleure science à un examen critique. Il était assez reconnu par ses pairs pour se permettre l'hétérodoxie. N. Herbert, en revanche, peinait à joindre les deux bouts, allant parfois même à l'assistance publique. Qui sait si, aujourd'hui, son article aurait été publié ? Notre système d'évaluation des contributions scientifiques laisse-t-il une chance de reconnaître ces quelques erreurs qui pourraient susciter un bond créatif en science ? ■