

sont sans emploi ou sous-employés, victimes d'une crise sans précédent.

Disposant de temps, N. Herbert et ses camarades se réunissent chaque semaine au milieu des années 1970 pour chercher des solutions originales à des problèmes complexes de la physique moderne ayant fait l'objet de peu d'attention au cours de leur formation en physique. En particulier, le théorème de Bell et l'intrication quantique les fascinent. Un autre membre du groupe, John Clauser, a mené en 1972 la première expérience visant à tester le théorème de Bell. Les résultats semblaient corroborer les prévisions de la mécanique quantique, mais le montage, peu fiable, devait être amélioré (l'expérience décisive sera réalisée en 1982 par l'équipe d'Alain Aspect, de l'Institut d'optique théorique et appliquée, à Orsay). Le groupe s'intéresse notamment à ce que Bell a décrit comme des signaux instantanés entre particules quantiques. Si de tels signaux sont possibles, pourraient-ils

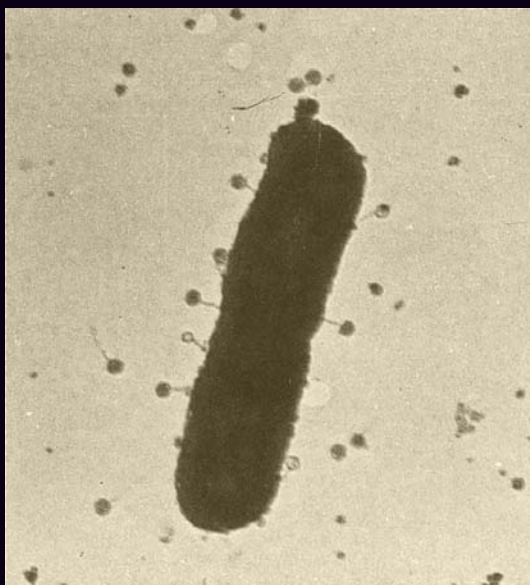
être utilisés pour transmettre des messages plus vite que la lumière ?

N. Herbert dresse les plans de ce qu'il nomme le communicateur supraluminique, un dispositif qui vise à exploiter cette propriété... en violant au passage la relativité et donc les lois de la physique. En janvier 1981, après quelques faux départs, N. Herbert finalise son projet, nommé FLASH pour première connexion supraluminique amplifiée par laser (voir l'encadré page 76).

Le projet paraît infaillible. Plusieurs examinateurs du journal auquel il a soumis son article sont convaincus par son argument. « Nous n'avons pu identifier aucun défaut fondamental dans l'expérience proposée, qui révélerait l'origine du paradoxe », écrivent deux arbitres. Un troisième, Asher Peres, adopte une position plus audacieuse : il indique que l'article doit contenir une erreur – et qu'il faut donc le publier. Puisqu'il n'a pu trouver la faille, soutient-il, l'erreur doit être importante, du genre à produire de nouvelles avancées.

La position de Peres est vite corroborée. Trois groupes de physiciens – Gian Carlo Ghirardi et Tullio Weber en Italie, Wojciech Zurek et Bill Wootters aux États-Unis, et Dennis Dieks aux Pays-Bas – soumettent l'article de N. Herbert à un examen attentif. Ils montrent tous que N. Herbert a commis une erreur subtile dans le calcul du signal que le destinataire doit voir en sortie de son dispositif. N. Herbert a supposé que le laser amplificateur de son appareil serait capable d'émettre de grandes quantités de lumière dans le même état que la lumière originale. Les physiciens s'aperçoivent que le laser ne peut pas produire de telles copies d'un seul photon, mais seulement un mélange aléatoire d'états quantiques qui produirait un signal confus inexploitable.

Au cours de leur étude, les trois groupes découvrent une caractéristique fondamentale de la mécanique quantique : la théorie interdit la copie – le « clonage » – d'un état quantique inconnu sans perturber l'état en



DANS LES ANNÉES 1940 AUX ÉTATS-UNIS, le physicien allemand Max Delbrück (ci-contre à Cold Spring Harbor dans les années 1950) et son collègue Salvador Luria (au second plan) se sont lancés dans l'étude de la réplication du bactériophage, un virus infectant des bactéries (ci-dessus, sur un cliché de microscopie électronique réalisé en 1953 par Thomas Anderson). Ils espéraient découvrir la nature des « atomes » porteurs de l'hérédité, les gènes.



Collection personnelle de Daniel D. Luria. US National Library of Medicine

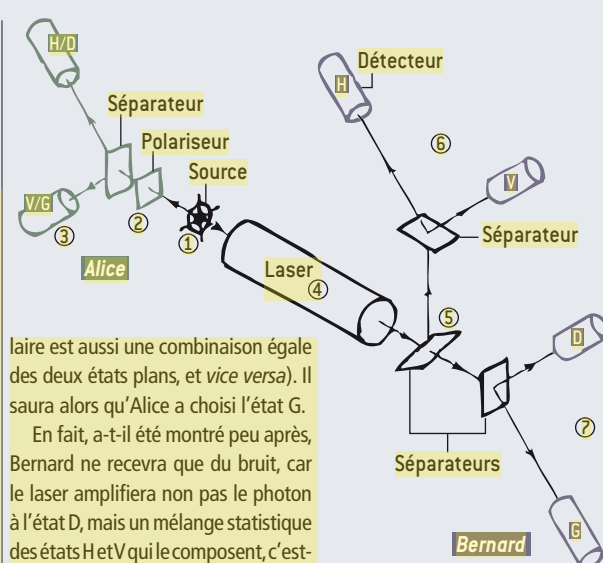
Un télégraphe plus rapide que la lumière ?

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 pourcent...

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