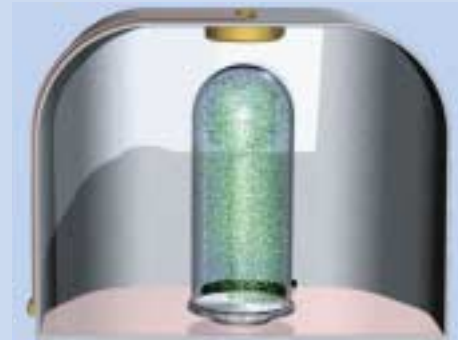




**b**



La téléportation commencerait ainsi : la personne se trouve dans une enceinte à scanner (a), à côté d'une enceinte identique remplie d'une masse égale de particules (en vert). Les particules auxiliaires ont été au préalable intriquées quantiquement avec leurs partenaires situées dans une lointaine station de réception (b).



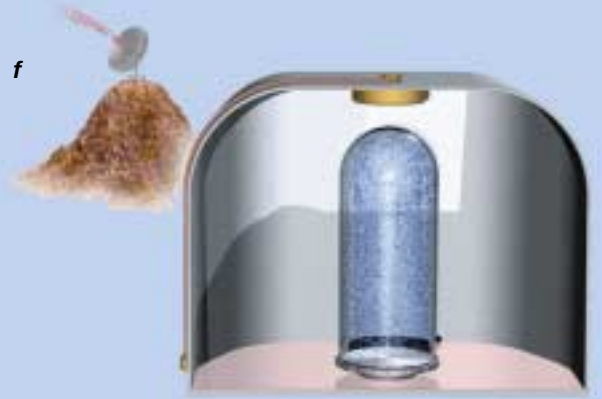
**d**



Une mesure conjointe des particules auxiliaires et de toutes les particules qui composent la personne (c) les place dans un état quantique aléatoire et produit une masse de données aléatoires (mais significatives) de deux éléments binaires par état élémentaire. La mesure détermine instantanément les états quantiques des particules associées situées à grande distance (d).



**f**



Les données de la mesure sont envoyées à la lointaine station de réception par des moyens conventionnels (e). La durée de cette étape est limitée par la vitesse de la lumière (f), ce qui rend impossible la téléportation à une vitesse supérieure.

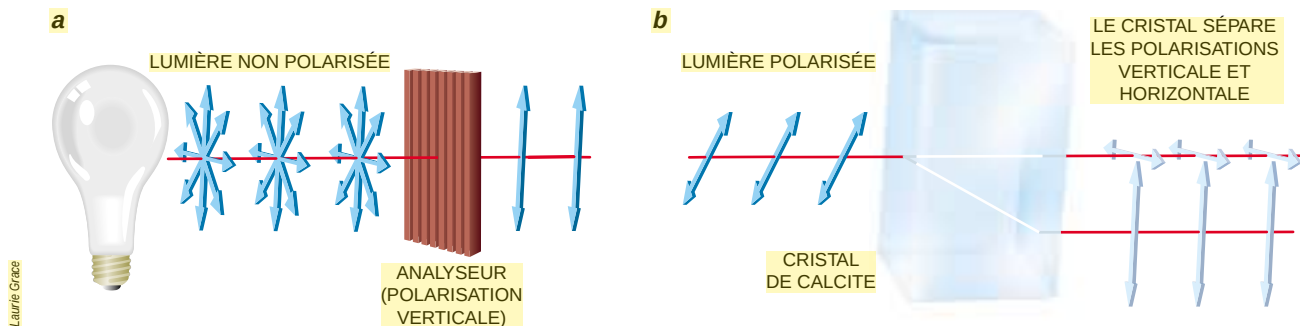


**h**



Le récepteur du message recrée le voyageur avec une exactitude qui va jusqu'à l'état quantique de chaque particule (g), en ajustant l'état des particules associées grâce aux données de mesures aléatoires en provenance de la station de scanning.

David Fierstein



**1. LA LUMIÈRE EST À LA FOIS UNE PARTICULE, LE PHOTON, et une onde électromagnétique.** La direction de vibration du champ électrique de l'onde électromagnétique est dénommée sa polarisation. La lumière non polarisée est constituée de photons dont le champ électrique, perpendiculaire à la direction de propagation, est aléatoire (a). Dans la lumière polarisée, les oscillations du champ électrique (flèches) sont alignées. Un cristal de calcite (b) divise un faisceau lumineux en deux faisceaux parallèles ; dans un des fais-

ceaux la polarisation est parallèle à l'axe du cristal, dans l'autre faisceau la polarisation est perpendiculaire à cet axe. Les photons entrant avec une polarisation intermédiaire sont dans une superposition quantique des deux polarisations ; chacun de ces photons peut être détecté dans l'un ou l'autre faisceau de photons, la probabilité de détection dépendant de l'angle définissant la polarisation. Comme elle fait intervenir des probabilités, la polarisation d'un photon unique dans un état intermédiaire ne peut être connue avec certitude.

pour des particules intriquées réelles : des paires d'atomes, d'ions ou de photons tiennent lieu de dés, et les différentes faces de chaque dé sont remplacées par des propriétés telles que la polarisation.

Prenons deux photons dont les polarisations sont liées de sorte qu'elles ne sont plus aléatoires, mais identiques. Les faisceaux lumineux, de même que les photons isolés, sont constitués des oscillations de champs électromagnétiques, et la polarisation correspond à la direction d'oscillation du champ électrique (voir la figure 1). Supposons que Claude soit en possession d'un des photons intriqués et que Jean ait son photon partenaire. Quand Claude mesure la polarisation de son photon pour déterminer si elle est horizontale ou verticale, la probabilité de chaque événement est de 50 pour cent. Pour le photon de Jean, la probabilité est la même, mais l'intrication garantit que le résultat de Jean sera le même que celui de Claude. Dès que Claude obtient le résultat «polarisation horizontale», par exemple, elle peut être sûre que la polarisation du photon de Jean sera également horizontale. Avant que Claude n'effectue sa mesure, les deux photons n'ont pas de polarisation individuelle ; l'état intriqué spécifie seulement qu'une mesure trouvera que les deux polarisations sont égales.

Cette propriété est fascinante, car la distance qui sépare Claude et Jean n'entre pas en ligne de compte ; la propriété est vérifiée tant que l'intrication de leurs photons est préservée. Claude peut se trouver sur Alpha du Centaure et Jean sur la Terre, leurs résultats concorderont quand ils les

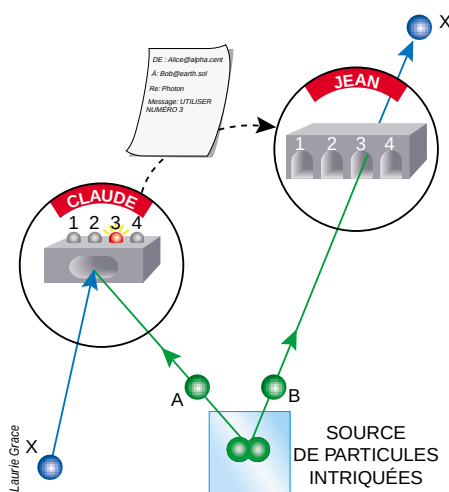
compareront. Tout se passe comme si la mesure du photon de Claude influait magiquement sur le photon de Jean, et vice versa.

Vous vous demandez peut-être si l'on peut expliquer l'intrication en imaginant que des instructions sont inscrites dans chaque particule. Peut-être, en intriquant les deux particules, synchronisons-nous un mécanisme caché qui détermine les résultats qu'elles donneront au moment de la mesure. Cela expliquerait l'influence

mystérieuse de la mesure de Claude sur la particule de Jean. Dans les années 1960, le physicien irlandais John Bell a démontré un théorème qui établit que, dans certaines situations, ces explications de l'intrication quantique par des «variables cachées» produiraient des résultats différents de ceux qui avaient été prédits par la mécanique quantique classique. Les expériences ont confirmé la validité de la mécanique quantique et exclu cette possibilité de variables cachées.

Le physicien autrichien Erwin Schrödinger, l'un des cofondateurs de la mécanique quantique, considérait l'intrication comme l'«aspect essentiel» de la physique quantique. L'intrication est le sujet du paradoxe EPR, acronyme des physiciens Albert Einstein, Boris Podolski et Nathan Rosen, qui analysèrent en 1935 les effets à grande distance de l'intrication. Einstein en parlait comme d'une «action à distance étrange à vous faire froid dans le dos». Si l'on tentait d'expliquer les résultats du paradoxe par des signaux entre les photons, ces signaux devraient se déplacer plus vite que la lumière... Hérésie!

Malheureusement pour les télécommunications, heureusement pour la physique, les règles quantiques s'opposent à cette violation du droit relativiste. La mesure locale d'un photon produit un résultat complètement aléatoire et ne porte donc aucune information provenant du photon éloigné. Elle vous indique seulement les probabilités de chaque résultat possible de mesure à distance. Néanmoins, on peut utiliser astucieusement l'intrication pour faire de la téléportation quantique.



**2. DANS LA TÉLÉPORTATION quantique idéale, l'expéditeur, Claude, et le destinataire, Jean, ont chacun un photon d'une paire de photons intriqués A et B (en vert).** Claude a aussi une particule X, dans un état quantique inconnu (en bleu). Claude effectue une mesure d'états de Bell des particules A et X : quatre résultats sont possibles. Elle informe Jean de son résultat par des moyens ordinaires. En fonction du résultat obtenu par Claude, Jean laisse sa particule telle quelle (1) ou la place par rotation dans un des états 2, 3 ou 4. Dans tous les cas, Jean obtient une copie exacte de la particule X d'origine.