

L'intrication: une réalité venue d'ailleurs

Des chercheurs du Groupe de physique appliquée balaisent une des dernières tentatives d'explication classique du phénomène de l'intrication quantique

Alice et Bob entretiennent une bien étrange relation. Si étrange qu'il n'existe pas d'histoire se déroulant dans notre espace-temps qui soit capable de la raconter. Tel est en tout cas l'avis des chercheurs du Groupe de physique appliquée exprimé dans un article paru dans la

NICOLAS GISIN,
professeur au
Groupe
de physique
appliquée,
Faculté des
sciences

revue *Nature Physics* du mois d'août. Le professeur Nicolas Gisin et ses deux assistants Cyril Branciard et Nicolas Brunner se sont en effet penchés de près sur le mode de communication de leur couple d'amoureux fictifs – une astuce narrative pour main-

tenir les pieds du lecteur sur terre alors que le propos qui suit s'apprête à envoyer leur esprit dans des considérations qui défient l'intuition.

ÉTAT INDÉTERMINÉ

Il se trouve qu'Alice et Bob communiquent, ou plutôt communiquent grâce au phénomène quantique appelé intrication. Celui-ci désigne le fait que deux objets (souvent des photons) physiquement séparés l'un de l'autre peuvent être corrélés: une action sur l'un engendre un effet immédiat sur l'autre, qu'il soit éloigné d'un millimètre ou de 18 kilomètres (record de distance établi récemment par les Genevois et présenté dans un article paru dans la revue *Nature* du 14 août). Selon une vision classique des lois de la nature, un tel événement ne serait imaginable que si l'information circulant d'un photon à l'autre dépasse la vitesse de la lumière, ce qui est impossible. En physique quantique, cependant, cela ne pose aucun problème. «L'intrication est un phénomène prédit et décrit par la théorie de la physique quantique», explique Nicolas Gisin. Il est très largement contre-intuitif. Et nos derniers résultats viennent confirmer cet aspect.»

En général, deux photons intriqués sont produits au même moment et au même endroit. Quand ils s'éloignent l'un de l'autre, il n'existe plus aucun lien physique entre eux, mais ils restent corrélés. On pourrait intercaler un blindage en plomb entre les deux que cela ne changerait rien à l'affaire.

Autre incongruité: lorsqu'il arrive auprès d'Alice ou de Bob, les deux récipiendaires des grains de lumière intriqués, chacun des deux photons est dans un état parfaitement indéterminé ou, mieux, ne possède aucune structure. Ainsi, si l'on ne considère que sa polarisation (une des propriétés des grains de lumière), cette dernière demeure invisible pour l'expérimentateur

avant le moment de la mesure pour la bonne raison qu'elle est alors intrinsèquement inexistante. Non pas cachée ou tournant à toute vitesse dans toutes les directions. Simplement inexistante.

De cette absence de structure va néanmoins surgir une réalité palpable, comme si d'un nuage de poussière se matérialisait subitement une flèche pointant dans une direction précise. Au moment de la mesure, en effet, Bob et Alice obtiennent un résultat bien réel. Il est aléatoire et ne peut prendre que deux valeurs possibles (polarisation «vers le haut» ou «vers le bas»). Chacune a exactement 50% de proba-

bilité de sortir, comme le jeu de pile ou face. «Si c'est Alice qui effectue la mesure en premier et obtient pile, Bob mesurera pile également et vice versa», note le professeur genevois. La situation est donc celle de deux joueurs jouant à pile ou face, mais obtenant constamment le même tirage.» Deux joueurs, un seul hasard.

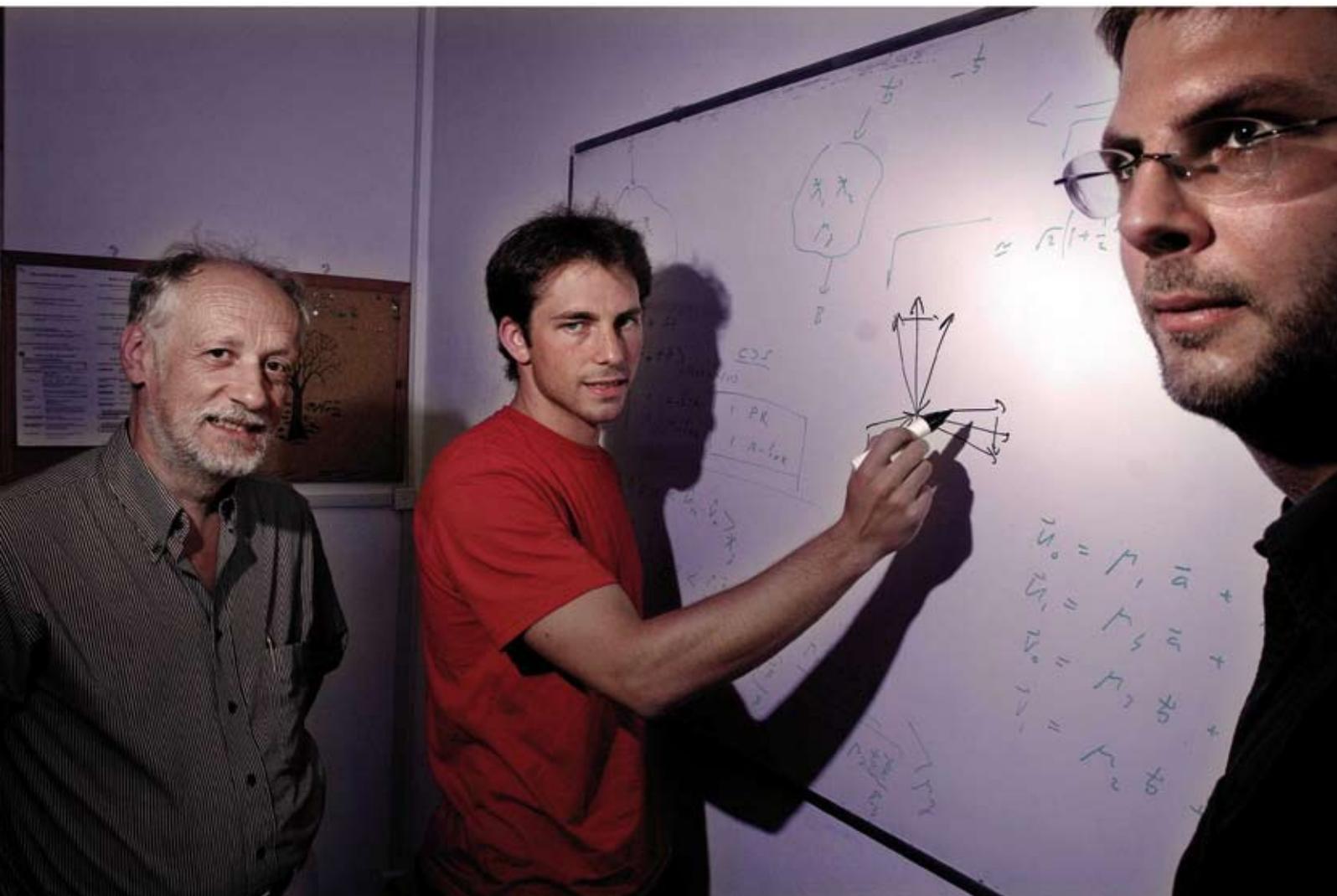
Au cours de leurs expériences, les chercheurs genevois (et d'autres) ont d'ailleurs essayé d'effectuer des mesures aussi rapprochées dans le temps que possible, jusqu'au point où, si une information circulait véritablement entre les deux photons, elle aurait dû très largement dépasser la vitesse de la lumière (plus de 10 000 fois, selon l'expérience parue dans la revue *Na-*

De cette absence de structure va surgir une réalité palpable, comme si d'un nuage de poussière se matérialisait une flèche

ture citée ci-dessus). Rien n'y a fait, Alice et Bob obtiennent toujours des réponses identiques, bien que celles-ci soient toujours fondamentalement aléatoires.

«Le phénomène est pour ainsi dire simultané», précise Nicolas Gisin. On pourrait considérer les deux photons intriqués comme deux manifestations d'un seul objet. Il s'agit là d'un phénomène de délocalisation, qui n'existe que dans la physique quantique. Il ne viole pas les lois de la relativité générale puisque aucune information ne circule d'un photon à l'autre.»

Tout cela était écrit dans les équations de la physique quantique depuis près d'un siècle.



Nicolas Gisin, Cyril Branciard et Nicolas Brunner

Mais, on s'en doute, la communauté scientifique n'a pas immédiatement été convaincue. «En 1964 déjà, le physicien nord-irlandais John Bell a posé des hypothèses estimant qu'il n'y avait rien de non local dans l'intrication, raconte Nicolas Gisin. Pour lui, il y a une structure cachée chez Alice et Bob et les deux objets intriqués sont corrélés de manière classique.»

John Bell a alors développé sur cette base ses équations de physique quantique – cela s'est passé à Genève car il travaillait alors au CERN. Il a obtenu une relation mathématique (l'inégalité de Bell) qui a eu le grand mérite de pouvoir être testée par une expérience. Vingt ans ont été nécessaires pour que les progrès technologiques rendent la chose possible. En 1982, le physicien français Alain Aspect monte une expérience dont les mesures violent l'inégalité de Bell. Par là, elle démontre que les hypothèses de John Bell sont erronées.

La deuxième tentative d'explication est venue du physicien américano-britannique Anthony Leggett, Prix Nobel de physique en 2003. Dans ses hypothèses, il accepte l'idée d'une corrélation non locale entre les deux photons,

mais postule l'existence d'une structure locale. Pour lui, la polarisation des photons intriqués existe bel et bien avant la mesure. Elle est simplement cachée. Lui aussi développe ses équations et parvient à une inégalité mathématique testable expérimentalement.

VENU D'UN AUTRE ESPACE-TEMPS

«Anthony Leggett affirme avoir réalisé ses calculs vers la fin des années 1970, précise Cyril Branciard. Il ne les a publiés qu'en 2003. Il faut dire que, depuis, les corrélations quantiques sont devenues à la mode.» Cette première publication a été suivie par une dizaine d'articles scientifiques, dont la dernière, celle de l'équipe de Nicolas Gisin.

«Dans notre papier, nous avons reformulé et amélioré le modèle de Leggett, note Nicolas Gisin. Nous avons travaillé avec un groupe de l'Université de Singapour, dirigé par un de mes anciens collaborateurs, le professeur Valerio Scarani. C'est son groupe qui a réalisé l'expérience censée tester la validité des nouvelles inégalités que nous avons obtenues.» Elles n'ont pas résisté. Une fois de plus, l'hypothèse de l'existence d'une structure locale – même floue – dans le cas de deux photons intriqués

est mise en défaut. L'intrication, qui a désespérément besoin d'une explication, n'en a toujours pas. En aura-t-elle un jour?

Le phénomène est décrit – non expliqué – par la physique quantique qui fait appel à une construction mathématique qu'on appelle l'espace de Hilbert, très différent de notre petit espace-temps classique. Il faut se rendre à l'évidence, estiment les chercheurs genevois: «L'intrication existe bel et bien, mais son explication n'est pas de ce monde dans le sens où aucune histoire se déroulant dans notre espace-temps ne peut la décrire; l'intrication semble venir d'ailleurs.»

«Il s'agit d'un phénomène physique nouveau qui contribue à une révolution conceptuelle dans notre vision de l'Univers, poursuit Nicolas Gisin. Jusqu'à maintenant, on s'est rendu compte que la plupart des découvertes que l'homme a réalisées en science ont déjà été exploitées dans la nature. Est-ce le cas pour l'intrication? En existe-t-il dans notre table de bureau? Oui, dit la théorie. En pratique, on est encore incapable de répondre à cette question.» ■

Anton Vos