

Département
de
Communication
et des Relations
Extérieures

Communication Recherche - com.recherche@ulb.ac.be

Mathieu Léonard : +32 (0)2 650 48 50 / +32 (0) 473 97 22 56

Nathalie Gobbe : +32 (0)2 650 92 06 / +32 (0) 474 84 23 02

Communiqué de presse - Boucles causales quantiques



Le raisonnement causal est omniprésent - de la physique à la médecine, en passant par l'économie et les sciences sociales, ainsi que dans la vie quotidienne. Lorsque nous appuyons sur un bouton et qu'une cloche sonne, il nous apparaît logique que c'est la pression du bouton qui a enclenché la cloche. En effet, on suppose que l'influence causale ne va que dans un sens - de la cause à l'effet - et ne revient jamais de l'effet à la cause : la sonnerie de la cloche ne provoque pas la pression du bouton qui l'a déclenchée. Aujourd'hui, des chercheurs de l'Université d'Oxford et de l'Université libre de Bruxelles ont développé une théorie de la causalité en théorie quantique, selon laquelle les relations de cause à effet peuvent parfois former des cycles. Cette théorie offre une nouvelle compréhension des processus exotiques dans lesquels les événements n'ont pas un ordre causal défini. L'étude est publiée dans Nature Communications.

L'une des façons dont la théorie quantique défie les intuitions classiques est de remettre en question nos idées sur la causalité. L'intrication quantique peut être utilisée pour produire des corrélations entre des expériences lointaines dont on sait qu'elles échappent aux explications causales satisfaisantes dans le cadre des modèles causaux classiques.

En outre, une unification de la théorie quantique et de la gravité devrait permettre des situations dans lesquelles la structure causale de l'espace-temps est soumise à l'indéfinition quantique. Ce qui suggère que les événements n'ont pas du tout besoin d'être ordonnés de manière causale.

Récemment, une équipe de chercheurs d'Oxford et de Bruxelles a développé une théorie de la causalité dans la théorie quantique. Dans celle-ci, les concepts de causalité sont définis en termes intrinsèquement quantiques plutôt que de se rapporter à un niveau classique émergent de résultats de mesure. Cela a permis une compréhension causale des corrélations produites par les états

intriqués. Aujourd'hui, cette équipe de chercheurs a réussi à généraliser la théorie qui permet à l'influence causale d'aller par cycles, fournissant ainsi une compréhension causale des processus avec des événements dans un ordre causal indéfini.

"L'idée clé qui sous-tend notre proposition est que les relations causales dans la théorie quantique correspondent à une influence par le biais de ce que l'on appelle des transformations unitaires - ce sont les types de transformations qui décrivent les évolutions de systèmes quantiques isolés. Cette approche est très proche de celle des modèles de causalité classiques qui suppose un déterminisme sous-jacent et situe les relations causales dans des dépendances fonctionnelles entre les variables," explique Jonathan Barrett de l'université d'Oxford.

L'idée principale de la nouvelle étude est d'appliquer le même principe aux processus dans lesquels l'ordre des opérations peut être dynamique ou même indéfini, étant donné qu'une grande partie de ces processus peut être comprise comme résultant également de transformations unitaires, mais pas de celles qui se déroulent dans une séquence ordinaire.

"Auparavant, les processus dont l'ordre causal est indéfini étaient généralement considérés comme simplement incompatibles avec tout compte causal. Notre travail montre qu'une grande partie d'entre eux - ceux qui peuvent être compris comme résultant de processus unitaires et qui sont censés être ceux qui pourraient avoir une réalisation physique dans la nature - pourrait en fait être considérée comme ayant une structure causale définie, même si elle implique des cycles," déclare Robin Lorenz, un des auteurs correspondants de l'étude.

"L'idée de structures causales cycliques peut sembler contre-intuitive, mais le cadre des processus quantiques dans lequel elle est formulée garantit qu'elle est exempte de paradoxes logiques, comme la possibilité de remonter dans le temps et de tuer son jeune moi," explique Ognyan Oreshkov de l'Université libre de Bruxelles. *"Aussi exotiques qu'ils puissent paraître, certains de ces scénarios sont connus comme ayant des réalisations expérimentales dans lesquelles les variables d'intérêt sont délocalisées dans le temps."*

Cela signifie-t-il que l'espace-temps n'a pas la structure causale acyclique qu'on lui prête normalement ? Pas exactement, puisque dans les expériences mentionnées, les événements qui sont liés de manière causale et cyclique ne sont pas localisés dans l'espace-temps.

Cependant, les chercheurs pensent que la structure causale de l'espace-temps elle-même pourrait devenir cyclique de cette manière quantique. Ceci, à l'intersection de la théorie quantique et de la relativité générale, où des processus analogues à ceux réalisables en laboratoire sont attendus, mais avec des événements locaux dans leurs cadres de référence spatio-temporels respectifs.

Publication:

"Cyclic quantum causal models",
Jonathan Barrett, Robin Lorenz, Ognyan Oreshkov,
Nature Communications.
DOI: 10.1038/s41467-020-20456-x

Scientific contact (Brussels):

Ognyan Oreshkov
Centre for Quantum Information and Communication (QuIC)
Université libre de Bruxelles
Av. F. D. Roosevelt 50 – CP165/59
B-1050 Brussels, Belgium
+32-2-650 29 56

oreskov@ulb.ac.be

<http://quic.ulb.ac.be/members/oreskov>

Scientific contacts (Oxford):

Robin Lorenz

Cambridge Quantum Computing Ltd

9a Bridge Street

Cambridge

CB2 1UB, UK

rwllorenz@gmail.com

Jonathan Barrett

Department of Computer Science

University of Oxford

Wolfson Building, Parks Road

Oxford OX1 3QD, UK

+44 1865 273842

jonathan.barrett@cs.ox.ac.uk

<https://www.cs.ox.ac.uk/people/jonathan.barrett/>