

# QUI VOUS A DIT QUE LA NATURE EST NONLOCALE ?<sup>1</sup>



Par **GILLES BRASSARD** < [brassard@iro.umontreal.ca](mailto:brassard@iro.umontreal.ca) >

Département d'informatique et de recherche opérationnelle, Université de Montréal,  
CP 6128, succursale Centre-Ville, Montréal, QC, H3C 3J7, Canada

**P**eu de temps après que le Prix Nobel de physique ait été attribué à Alain Aspect, John Clauser et Anton Zeilinger en 2022 « pour des expériences [...] qui ont établi la violation des inégalités de Bell [...] »<sup>2</sup>, les médias populaires ont foisonné d'articles pour annoncer qu'Einstein avait eu tort de croire fermement au réalisme local de la Nature, selon le *Principe de localité* qu'il avait exprimé ainsi dans son autobiographie :

Selon moi, il y a *une* hypothèse que nous devrions absolument retenir : la réalité factuelle (l'état) du système  $S_2$  est indépendante de ce qui est fait à un système  $S_1$  qui lui serait spatialement éloigné.<sup>3</sup>

Ce point de vue a été ébranlé lorsque John Stewart Bell a démontré en 1964 que certaines prédictions de la théorie quantique sont incompatibles avec toute théorie dite à *variables locales cachées* [2]. Quelques années plus tard, la position d'Einstein a semblé s'effondrer à la suite des expériences réalisées entre autres par les lauréats du Prix Nobel de physique de 2022, lesquelles ont confirmé ces prédictions. Faut-il vraiment en conclure que la Nature est nonlocale ? Est-ce bien ce que nous disent ces nobélisés ?

Dans une interview à l'émission radiophonique *Quirks and Quarks* sur les ondes du réseau anglais de Radio-Canada (CBC), qui a eu lieu immédiatement après l'annonce du comité Nobel, **John Clauser** a affirmé ceci : « Pour vous dire la vérité, je ne savais pas quel allait être le résultat. Je pariais sur Einstein. [...] J'ai été très triste car je croyais qu'Einstein avait raison mais, hélas, j'ai contredit son point de vue. »<sup>4</sup>

À l'occasion de son discours d'acceptation au mythique banquet Nobel, **Alain Aspect** a affirmé que « La conclusion est maintenant claire : la position d'Einstein sur la réalité physique ne peut pas être

<sup>1</sup> Une version plus longue de cet essai paraîtra ailleurs en anglais.

<sup>2</sup> « For experiments [...] establishing the violation of Bell inequalities [...] ». (Ici comme plus loin, les traductions libres en français sont de mon cru, avec la participation de Nicolas Gisin pour traduire de l'allemand.)

<sup>3</sup> « Aber an *einer* Annahme sollten wir nach meiner Ansicht unbedingt festhalten: Der reale Sachverhalt (Zustand) des Systems  $S_2$  ist unabhängig davon, was mit dem von ihm räumlich getrennten System  $S_1$  vorgenommen wird. » [1]

<sup>4</sup> « The truth is, I didn't know what the result was gonna be. I was betting on Einstein. [...] I was very sad because I thought Einstein was right but, unfortunately, I did disprove his point of view. » [3]

maintenue. » <sup>5</sup> Dans son podcast Nobel du 7 juin 2023, il a tenu des propos similaires à ceux de Clauser : « Je ne pouvais pas imaginer comment Einstein aurait pu avoir tort [...], mais je dois accepter le résultat. » <sup>6</sup> Dans son tout récent livre en français pour grand public averti *Si Einstein avait su*, il a renchéri en ces mots : « J'accepte l'idée [...] d'une interaction capable d'affecter l'état quantique à distance de façon instantanée. » [4]

Nous voyons donc que tant Clauser qu'Aspect croient que la Nature est nonlocale car c'est ce qu'ils veulent dire par « Einstein avait tort ». Qu'en est-il du troisième lauréat du Prix Nobel de physique de 2022, **Anton Zeilinger** ? Lors d'une communication personnelle, il m'a dit ceci : « Toutes les expériences nous disent que la nature ne peut pas être décrite par des propriétés locales au sens de Bell (ou de ses généralisations). » <sup>7</sup> Cela est rigoureusement exact. Zeilinger a immédiatement rajouté ceci : « Mais de dire que la nature est nonlocale serait aller trop loin à mes yeux. » <sup>8</sup> J'applaudis à cette opinion nuancée.

En effet, le Principe de localité d'Einstein n'a *rien à voir* avec la notion de localité de Bell, laquelle est basée sur les variables locales cachées. Par conséquent, « établir la violation des inégalités de Bell » ne peut pas servir à argumenter en faveur d'une vision nonlocale de la Nature, mais uniquement à corroborer sa nonlocalité *au sens de Bell*, ainsi que Zeilinger l'a si bien dit. Pourrait-il y avoir une autre façon pour la Nature d'être locale et réaliste, une autre façon qui ne demanderait qu'un peu plus d'imagination ?

C'est précisément ce qu'ont fait David Deutsch et Patrick Hayden au tournant du siècle : ils ont découvert comment expliquer toutes les prédictions de la théorie quantique dans un univers local-réaliste [6]. Par la suite, Paul Raymond-Robichaud a démontré l'équivalence entre le local réalisme et le principe du non-signallement que tous acceptent au sujet de la théorie quantique, pour autant que la dynamique de la physique soit réversible [7]. En conséquence, *aucune* expérience dont le but est de confirmer les prédictions de la théorie quantique ne peut servir pour conclure que la Nature est nonlocale !

En conclusion, qui vous a dit que la Nature est nonlocale ? C'est hélas une vue partagée par maints physiciens, incluant deux récents lauréats du Prix Nobel. Toutefois, leurs arguments pour en arriver à cette croyance sont des coquilles vides. Comme d'habitude, Einstein avait raison. :-)

## REMERCIEMENTS

Je suis profondément reconnaissant à des discussions s'étant étalées sur plusieurs décennies avec (en ordre alphabétique) Alain Aspect, Charles Alexandre Bédard, David Deutsch, Nicolas Gisin, Renato Renner, Paul Raymond-Robichaud, Lev Vaidman et Anton Zeilinger, bien que certains d'entre eux ne partagent pas ma perspective. D'inspirantes discussions plus récentes ont eu lieu avec

<sup>5</sup> « The conclusion is now clear: Einstein's view on physical reality cannot be upheld. »

<sup>6</sup> « I could not imagine how Einstein could be wrong, [...] but I have to accept the result. »

<sup>7</sup> « All the experiments tell us is that nature cannot be described by local properties in the sense of Bell (and extensions). » [5]

<sup>8</sup> « But to say that nature is nonlocal is going too far in my eyes. » [5]

Samuel Kuypers et Taha Skiredj. Ce fut Paul Raymond-Robichaud qui, le premier, m'a fait réaliser qu'aucune violation des inégalités de Bell ne peut servir à conclure que la Nature est nonlocale : un jour mémorable de 2012, il lui a suffi de quelques minutes pour changer à jamais ma vision de l'Univers. Merci Paul, je t'en serai éternellement reconnaissant !

Recherche appuyée en partie par le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, CRSNG (RGPIN-2022-04341 et ALLRP-578455-2022) et par l'Institut transdisciplinaire d'information quantique (INTRIQ) du Québec.

La photographie originale, à partir de laquelle le portrait a été développé par le bureau d'architecture belge LIGNES, a été prise par Hatim Kaghat.

## RÉFÉRENCES

1. *Albert Einstein, Philosopher-Scientist*, Library of Living Philosophers, Volume VII, edited by P. A Schilpp (MJF Books, New York, 1949, troisième édition, 1969), p. 84.
2. J. S. Bell, On the Einstein Podolsky Rosen Paradox, *Physics Physique Fizika* **1**(3), 195-200 (1964).
3. Bob McDonald, Nobel for Quantum Entanglement [...], *Quirks & Quarks*, Canadian Broadcasting Corporation Radio One, diffuse le 8 octobre 2022.
4. A. Aspect, *Si Einstein avait su* (Éditions Odile Jacob, Paris, 2025), p. 324.
5. G. Brassard, Profile of John Clauser, Alain Aspect and Anton Zeilinger: 2022 Nobel Laureates in Physics, *PNAS* **120**(23), e2304809120 (2023).
6. D. Deutsch et P. Hayden, Information Flow in Entangled Quantum Systems, *Proc. R. Soc. London* **456**, 1759-1774 (2000).
7. P. Raymond-Robichaud, The Equivalence of Local-Realistic and No-Signalling Theories, arXiv:1710.01380v2 [quant-ph] (2021).