

Le choc quantique

- Le paradoxe EPR et la réalité -

[Complément à la capsule audio de Radio-Canada](#)

*par Stéphane Durand **

Vous avez été déroutés par les 5 affirmations qui concluaient ma chronique audio? Normal! Car il y a un immense mystère encore non-résolu derrière la physique quantique; un mystère qui touche aux fondements mêmes de la réalité.

Voici en quelques mots le noeud du problème, ainsi que des précisions sur les 5 possibilités. Pour des explications plus complètes, voir les références à la fin.

Le formalisme quantique, tel qu'il est enseigné dans tous les livres, fonctionne d'une façon admirable. Mais dans certaines situations, ce formalisme implique une influence instantanée entre 2 particules aussi lointaines l'une de l'autre qu'on le veut. C'est ce qu'on appelle **l'intrication quantique** ou **l'effet EPR** ou encore le **paradoxe EPR** (pour Einstein, Podolsky, Rosen). Le problème est qu'une telle influence instantanée est plus rapide que la vitesse de la lumière, et que cela viole la théorie de la relativité d'Einstein selon laquelle la vitesse de la lumière est une limite infranchissable. Cela n'est pas banal, car la vitesse de la lumière n'est pas une limite comme les autres, c'est une limite fondamentale sur laquelle repose toute la cohérence temporelle des événements. En effet, une vitesse plus grande que celle de la lumière implique une inversion de causalité (c'est-à-dire une inversion du passé et du futur), ou même des retours dans le passé.

On peut comprendre ce phénomène de la façon simplifiée suivante:

- 1) plus on va vite, plus l'écoulement du temps est ralenti (cela est parfaitement vérifié en laboratoire);
- 2) à la vitesse de la lumière, le temps s'arrête;
- 3) si on dépasse la vitesse de la lumière, le temps commence à s'écouler à l'envers (et donc il y a inversion de causalité).¹

Attention: l'intrication quantique est vérifiée en laboratoire, et est même à la base de la [téléportation quantique](#), elle-aussi vérifiée en laboratoire. C'est donc un phénomène bien réel. C'est l'interprétation de ce phénomène qui est incomprise. Et comme ce phénomène est en contradiction avec la relativité, qui est aussi une théorie parfaitement vérifiée expérimentalement, cela implique qu'il y a quelque chose de fondamental qui nous est incompris. Plus précisément, c'est la nature du lien mystérieux existant entre des particules intriquées qui est au cœur de toutes les discussions, car ce lien semble exister hors de l'espace et du temps! Ou alors, il implique quelque chose d'encore plus fabuleux! Aucune

* Centre de recherches mathématiques, Université de Montréal.

¹ Plus précisément: on peut montrer que si on tire une balle d'un fusil vers une cible à une vitesse plus grande que celle de la lumière, alors pour certains observateurs la balle voyage plutôt de la cible vers le fusil!

explication intuitive de ce lien n'est possible. En fait, une des 5 possibilités suivantes (très déroutantes!) est sûrement vraie:

Les 5 possibilités :

1) Il existe des connections hors de l'espace et du temps. Autrement dit, il existe un 2e niveau de réalité non-matériel et non-énergétique, ainsi que non-limité par la vitesse de la lumière. C'est, en particulier, [l'interprétation prônée par Nicolas Gisin](#), récipiendaire du prestigieux [Prix J.S. Bell](#) pour ses expériences très raffinées sur l'intrication et la téléportation quantiques. Voir aussi son tout récent livre indiqué ci-dessous. (Mentionnons que ce 2e niveau de réalité n'est aucunement relié à un quelconque phénomène paranormal.)

2) Des retours dans le passé sont possibles au niveau microscopique. Comme on l'a dit, une influence supraluminique (c.-à-d. plus rapide que la lumière) implique une inversion de causalité pour certains observateurs. On peut donc simuler un tel effet avec un signal moins rapide que la lumière mais voyageant vers le passé. Ou, autrement dit, on peut simuler une influence instantanée avec un signal non-instantané avançant puis reculant dans le temps. (Voir par exemple [cet article](#).) Notons que ce signal est aléatoire, donc ne permet pas de communiquer, et par conséquent ne conduit à aucun paradoxe.

3) L'univers est supra-déterministe : c'est-à-dire que tout, absolument tout, est prévu à l'avance, incluant toutes nos pensées et décisions. Cela semble aller contre le dogme de la physique quantique qui introduit un hasard fondamental dans la nature, en opposition à la physique classique (de Newton et Einstein) qui était déterministe. Cependant, il s'agit ici d'un supra-déterministe, qui va plus loin que le déterministe usuel, en enlevant toute indépendance entre des phénomènes qui devraient l'être. Par exemple, on peut très bien expliquer les résultats de l'effet EPR en supposant que le choix du physicien, de faire telle ou telle mesure sur une particule intriquée, est corrélé à l'état acquis par la particule lors de sa création. (Cette interprétation est prisee par certains philosophes mais aucun physicien n'y adhère car elle enlève tout sens à la science.)

4) Il existe des mondes parallèles ou ce qu'on appelle des **réalités multiples** : c'est-à-dire qu'il existe des copies de nous-mêmes, vivant des histoires similaires dans des réalités parallèles. Voilà une interprétation ultra déroutante de la physique quantique, mais elle est endossée par plusieurs physiciens célèbres car elle concilie de façon toute naturelle la physique quantique et la relativité. (Voir par exemple les capsules vidéos [14](#) et [15](#) ainsi que ce [texte complémentaire](#).) On pourrait rétorquer qu'une telle multiplication de réalités est impossible car cela correspond aussi à une multiplication de la matière. Mais qu'est-ce que la matière? La réponse est beaucoup [plus ambiguë qu'on ne pourrait le croire](#)! (Voir aussi le [texte précédent](#).) Vous pouvez vous-même utiliser toute la puissance de cette théorie avec une [application pour téléphone](#) ! :-)

5) Nous vivons dans une simulation informatique. (Peut inclure tous les points précédents!) Voilà peut-être la possibilité la plus déroutante d'entre toutes. Pour l'instant, personne n'a encore réussi à trouver une façon de démontrer que cette hypothèse est fausse... mais cela ne veut pas dire qu'elle est vraie! Cette possibilité est discutée très sérieusement depuis la parution d'un article célèbre de Nick Bostrom, intitulé [The](#)

[simulation argument](#). Nick Bostrom est le directeur du [Future of Humanity Institute](#) de l'université d'Oxford. Notez que pour ceux qui croient en un au-delà, la vie terrestre n'est pas très loin de pouvoir être considérée comme l'équivalent de vivre dans une simulation !!!

Voilà, c'est très sérieux, l'une de ces 5 possibilités est nécessairement vraie... ou sinon quelque chose d'encore plus “flyé”.²

* * *

Remarques:

1) L'intrication quantique ne permet pas de communiquer, c'est-à-dire d'envoyer un message contrôlé; mais sa simple existence va à l'encontre de la relativité, en particulier au moment de l'effondrement de la fonction. Dans le cas de deux particules intriquées, l'effondrement se fait aux deux endroits simultanément, et c'est le cœur du problème. On dit que la théorie quantique est non-locale. (voir aussi la fin du point 4 ci-dessous.)

2) Répétons que la notion de matière au sens usuel est déjà remise en question par la relativité, la physique atomique, la cosmologie et la théorie des champs. Par conséquent, l'idée de réalités qui se dédoublent n'est pas si inconcevable!

3) Vous trouvez quand même que l'interprétation des mondes multiples n'a aucun sens? Alors écoutez la capsule vidéo [no 18](#)! Notez aussi que la plus prestigieuse revue scientifique de la planète, la revue Nature, a fait un mini-spécial sur l'interprétation des mondes multiples de la mécanique quantique dans son [numéro du 5 juillet 2007](#), incluant [un article du renommé physicien Max Tedmark](#).

4) Revenons sur le fait crucial que la limite de la vitesse de la lumière n'est pas banale. Tout d'abord, mentionnons que toute forme de matière et d'énergie est limitée par la vitesse de la lumière. Cela est prédit par la relativité et vérifié en laboratoire de toutes sortes de façons. Par conséquent, si une “entité” peut aller plus vite que la lumière, elle doit être d'une autre nature que la matière et l'énergie ordinaires. C'est justement le cas de l'intrication quantique.

Mais il y a encore plus profond. C'est que la vitesse de la lumière gouverne la structure causale de l'univers. Comme on l'a dit, cela signifie qu'une vitesse plus grande que celle de la lumière produit nécessairement des inversions de causalité (l'effet précède la cause; par exemple, une balle de fusil sort d'une cible pour rentrer dans le canon du fusil qui l'a tirée) et, de plus, permet d'envoyer des messages dans le passé. Or l'envoi de messages dans le passé conduit obligatoirement à des incohérences, i.e. des contradictions, à moins que le libre-arbitre soit une illusion. La seule façon d'éviter les contradictions potentielles est de supposer que ces influences remontant le cours du temps sont fondamentalement aléatoires, donc non-contrôlables, et donc qu'elles ne permettent pas de communiquer. Voilà pourquoi la non-localité quantique (qui est aléatoire) ne conduit à aucun paradoxe effectif.

Autres références:

- [Le paradoxe EPR](#)
- [Le livre de Nicole Gisin](#) (ici avec [une description](#))
- [un vidéo sur le choc quantique](#)

² Par exemple, on pourrait aussi imaginer ce qu'on pourrait appeler la “grande conspiration”, selon laquelle tous les résultats statistiques déroutants des expériences quantiques seraient explicables par le simple fait (très très improbable mais possible!) d'une telle possibilité statistique incroyablement rare.