

2.5

Un même événement aléatoire à deux endroits à la fois ?

« Peut-être reste-t-il une peur profondément enracinée que le simple fait de considérer l'idée de non-localité pourrait rouvrir les vannes qui nous protègent de ce qui est perçu comme des pensées irrationnelles qui se tapissent sous la surface de la culture moderne. Même si c'était le cas, ce ne serait pas un argument valable contre la non-localité. »

David Bohm (1993) ¹

Les physiciens aux champs

Imaginons un fermier qui possède deux poules issues de la même couvée. Ces deux poules ont ceci de particulier : chacune pond invariablement un œuf unique chaque jour. Jusque là rien de bouleversant.

Chaque matin, le fermier vient récolter les œufs dans le poulailler. Pour cela, il soulève successivement chaque poule et il constate que chaque œuf est soit blanc, soit roux. Le choix de la couleur est *totale*ment aléatoire. C'est déjà un peu plus curieux mais il n'y a toujours pas de quoi remettre en cause les lois de la physique.

Mais, chose nettement plus admirable, les deux œufs quotidiens sont toujours de la même couleur. Le fermier essaye de comprendre comment cela est possible et il décide de placer les deux poules dans deux enclos très éloignés l'un de l'autre dont elles ne sortent pas. Le même phénomène a toujours lieu. Il enferme alors les poules dans des cages de Faraday pour que les signaux électromagnétiques ne puissent servir de moyen de communication. Les œufs sont toujours corrélés.

Peut-être, se dit le fermier, est-ce génétique ? Ces poules particulières pondent les œufs dans un ordre défini par leur matériel génétique. Ou bien

¹ D. Bohm and B.J. Hiley (1993). The undivided universe: an ontological interpretation of quantum theory (p. 157-158).

peut-être ont-elles mis au point une sorte de numéro de music-hall quand elles étaient poussins ? Par exemple, si l'on suppose qu'elles peuvent contrôler la couleur des œufs, elles ont pu apprendre par cœur une liste convenue précisant la couleur de l'œuf selon le jour de la ponte.

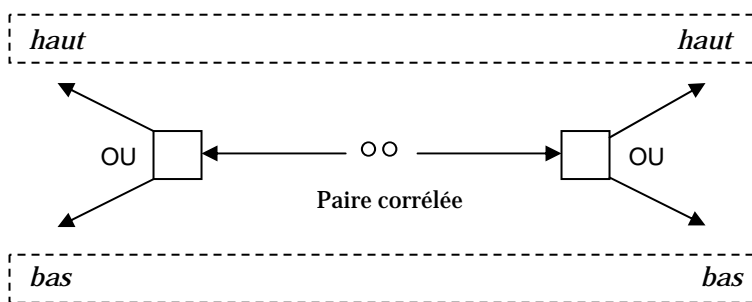
L'hypothèse que le fermier élabore dans ce cas est ce que les physiciens appellent une « théorie à variables cachées locales ». Chaque poule aurait emporté avec elle depuis le nid maternel des « variables » qui décideraient de la couleur des œufs successifs.

Quittons la ferme et ses sympathiques gallinacés et transposons cette métaphore campagnarde dans les termes de la physique quantique.

La remise en cause de la notion d'espace ?

Lorsqu'un électron passe dans un champ magnétique, sa trajectoire est déviée. On peut construire un dispositif où la déviation se produit soit vers le haut, soit vers le bas¹. Selon la physique quantique, le « choix » haut ou bas est aléatoire, selon la valeur mesurée du spin. Par ailleurs certains systèmes physiques émettent des paires d'électrons corrélés. Ceci signifie que les électrons de chaque paire sont toujours déviés dans la même direction. Pour chaque paire d'électron, on observe toujours « haut-haut » ou « bas-bas ».

Nous pouvons schématiser cette expérience de la façon suivante :



Le lecteur aura reconnu l'expérience EPR dont nous avons déjà parlé. Cette expérience, sous diverses formes équivalentes, a été source de beaucoup de discussions car elle semblait remettre en cause la vision classique du monde. En effet, argumentaient certains physiciens, si on fait une mesure sur l'une des particules, on « fixe » la valeur du paramètre mesuré (haut ou bas) ; comment l'autre particule peut-elle « savoir » – de façon *instantanée* qui plus est – quel chemin elle doit prendre ? N'est-ce pas la preuve que la mécanique quantique

¹ Selon le signe d'un paramètre physique appelé spin.

est incomplète et qu'il lui manque la prise en compte de « variables cachées » ? Il faut bien qu'au minimum les deux particules corrélées partagent une « information ». Or, tout semble se passer comme si les deux particules corrélées se comportaient comme une seule entité.

Nous allons voir que nos outils d'exploration vont nous permettre de rendre compte sans difficulté de cette expérience cruciale dans l'histoire de la physique quantique.

En effet, nous avons appris : 1) que la Nature explore tous les chemins possibles et 2) que nous ne pouvons considérer la réalité du point de vue d'un super-observateur qui connaîtrait simultanément les chemins suivis par différents observateurs ; seules les considérations *relatives à chaque observateur* ont un sens.

Supposons que les deux appareils soient situés à plusieurs kilomètres de distance. Examinons un électron – issu d'une paire corrélée – émis vers la droite. Nous savons que la Nature explore tous les chemins possibles : vers le haut *et* vers le bas. Le deuxième principe que nous avons défini dans le premier chapitre nous dit qu'un observateur de ce système physique n'emprunte – au hasard – que l'un des chemins possibles qui devient alors *sa réalité*. Supposons que le chemin « observateur avec électron de droite dévié vers le haut » ait été sélectionné aléatoirement lorsque l'observateur a enregistré le résultat de l'expérience. L'observateur doit maintenant comparer ce résultat à celui de la particule de gauche. Deux possibilités s'offrent à lui.

Première possibilité : L'observateur prend sa bicyclette et se rend à l'autre laboratoire distant de plusieurs kilomètres afin de relever lui-même le résultat de l'expérience. La Nature a exploré également tous les chemins possibles pour la particule de gauche. La somme des chemins possibles pour l'observateur est donc « observateur avec électron de gauche dévié vers le haut » *et* « observateur avec électron de gauche dévié vers le bas ».

Souvenons-nous que le présent de l'observateur doit être cohérent avec son passé (principe n°3). Par conséquent, une contrainte de cohérence avec le passé est imposée lors de l'enregistrement du chemin suivi par la deuxième particule de la paire corrélée. Le chemin qui s'impose à l'observateur est donc : « observateur avec électron de gauche dévié vers le haut ». En répétant les expériences, l'observateur conclura à la parfaite corrélation des déviations des électrons vers le haut et vers le bas.

Deuxième possibilité : L'observateur prend son téléphone et appelle son collègue affecté à l'autre laboratoire distant de plusieurs kilomètres. Le raisonnement est le même mais dans ce cas, nous devons faire appel en plus à

l'accord intersubjectif (principe n°4). Nous laissons au lecteur le soin de vérifier facilement que les deux observateurs ne peuvent que constater la corrélation des résultats qu'ils ont enregistrés.

Comme on le voit, nul besoin d'évoquer des signaux « plus rapides que la lumière » car, pour être en mesure de *comparer les résultats*, l'observateur doit utiliser des moyens classiques (mécaniques ou électromagnétiques) qui ne dépassent pas cette vitesse limite.

Cette expérience réalisée en 1982 par A. Aspect avec un matériel quelque peu différent (utilisant des photons) a été confirmée sur des distances de plusieurs kilomètres comme dans notre exemple. La conclusion de toutes ces expériences est que la physique quantique n'est pas incomplète et qu'il n'existe pas de variables cachées locales.

On dit parfois que l'expérience d'Aspect a mis en évidence la non localité de notre univers. On pourrait l'exprimer en d'autres termes en disant qu'un même événement aléatoire peut être observé à deux endroits. La notion d'espace semble alors remise en cause.

Si nous interprétons ces expériences du point de vue d'un super-observateur de la réalité, effectivement l'idée de non localité s'impose. Cette notion de non localité reste toutefois déplaisante pour bien des physiciens. Grâce aux outils que nous avons utilisés et qui décrivent la réalité physique *relativement à un observateur*, ces expériences peuvent être décrites sans faire appel à l'idée de non localité. Le prix à payer toutefois est d'admettre que tous les chemins possibles sont explorés par la Nature et de nous astreindre à définir systématiquement toute mesure relativement à un observateur donné.

