

## 2.7

---

### *Des liens hors de l'espace et du temps ?*

*« Les vraies causes sont invisibles et agissent hors de l'espace-temps. Nous avons connaissance des causes à travers les effets visibles qu'elles produisent – les corrélations non locales. »*

A. Suarez (2008)<sup>1</sup>

#### *Retour à la ferme*

**R**etrouvons notre fermier du Chapitre 2.5 qui est bien perplexe face à ses poules aux œufs corrélés. Très bien informé des progrès de la physique, il a appris que les théories à variables cachées locales avaient été écartées par l'expérience d'Aspect. Par conséquent chercher l'origine de la couleur des œufs dans une information localisée dans une mémoire liée à la poule, qu'elle soit génétique ou cérébrale, ne peut qu'être infructueux. Sa lecture des ouvrages de physique quantique lui a donné toutefois une nouvelle idée.

Le fermier imagine qu'au moment où il soulève la poule pour récolter l'œuf, non seulement le choix œuf blanc ou œuf roux est déterminé aléatoirement pour le premier œuf mais qu'en même temps cet œuf se met à vibrer. La vibration se transmet alors *instantanément* dans tout l'espace. Ce champ vibratoire de nature encore inconnue serait responsable de la couleur de l'œuf de l'autre poule.

Ce que le fermier a imaginé est ce que les physiciens nomment une « théorie à variable cachée non locale ». Dans ce cas, l'information n'est plus localisée dans la poule depuis le début de l'expérience. Selon cette nouvelle hypothèse, dès que la Nature a décidé du choix de la couleur de l'un des œufs, l'information est transmise à l'autre œuf par le biais d'un champ qui s'établit instantanément.

Mais comment tester cette théorie ? Le fermier se dit que, même si la transmission d'information est instantanée, le choix aléatoire de la couleur du premier œuf (émetteur) est alors la cause du choix de la couleur du deuxième

---

<sup>1</sup> A. Suarez. Quantum randomness can be controlled by free-will – a consequence of before-before experiment. Dated April 5, 2008). <http://arxiv.org/abs/0804.0871>.

œuf (récepteur). Il s'agit donc d'une relation de cause à effet. Or, en physique, une cause doit toujours précéder un effet.

Le fermier qui décidément devient de plus en plus expert en physique décide de mettre à profit la relativité restreinte afin de mettre à l'épreuve cette relation de cause à effet. Il imagine d'installer les deux poules sur deux tracteurs qui s'éloignent l'un de l'autre. Il sait en effet que selon la relativité restreinte chaque tracteur emporte avec lui son temps propre. En conséquence, des événements qui seraient perçus comme simultanés pour des observateurs sans mouvement l'un par rapport à l'autre, ne le sont plus lorsque les observateurs sont en mouvement relatif. Si les tracteurs s'éloignent l'un de l'autre à vitesse constante, l'instant où la couleur de l'œuf est fixée aléatoirement par son observation (sa mesure), selon le temps propre associé à chaque tracteur, sera *antérieur* à celui de l'autre tracteur.<sup>1</sup>

Par conséquent *la relation de cause à effet devrait disparaître* et la corrélation des couleurs des œufs devrait s'évanouir : l'observation d'un œuf roux sous l'une des poules devrait s'accompagner de l'observation d'un œuf blanc ou roux, selon le hasard, sous l'autre poule.

Chaque matin, peu de temps avant l'heure habituelle de la ponte, le fermier et son fils se mettent au volant des deux tracteurs et s'éloignent l'un de l'autre. Mais ils ont beau répéter les expériences, ils doivent se rendre à l'évidence lorsqu'ils confrontent leurs enregistrements : *les couleurs des œufs des deux poules sont toujours parfaitement corrélées.*

Tout se passe donc comme si la cause commune qui impose – de façon aléatoire – des couples d'œufs de même couleur se moquait éperdument de la notion d'espace et de temps. Voyons comment cette expérience a été mise sur pied dans la vraie vie des laboratoires de physique.

### ***L'expérience « before-before »***

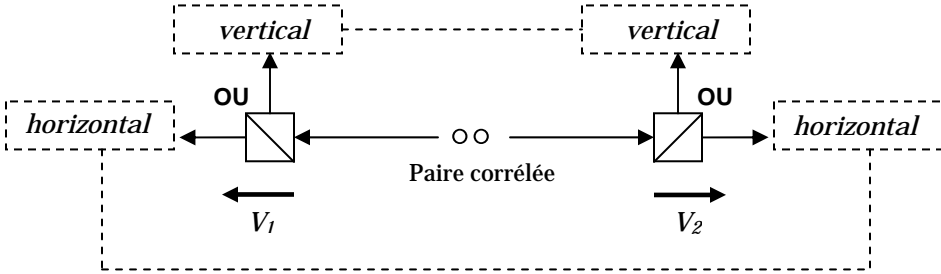
Une des propriétés physiques d'un photon est sa polarisation. Cette propriété a été mise à profit dans une expérience destinée à mettre à l'épreuve la relation de causalité entre les mesures de deux particules d'une paire corrélée dont la polarisation est verticale ou horizontale.

Dans l'expérience schématisée ci-dessous, les photons polarisés verticalement sont envoyés vers le haut par un appareil appelé polariseur. S'ils sont polarisés horizontalement, ils continuent horizontalement.

---

<sup>1</sup> Rappelons que le temps s'écoule plus lentement dans un véhicule en mouvement relatif. Bien évidemment, mettre en évidence des effets relativistes nécessiterait des véhicules quelque peu plus rapides que des tracteurs...

Nous pouvons schématiser cette expérience de la façon suivante :



Grâce un artifice technique, tout se passe comme si les polariseurs étaient en mouvement et s'éloignaient l'un de l'autre à grande vitesse ( $V_1$  et  $V_2$  sur le schéma). Comme nous l'avons expliqué, le temps propre associé à chaque polariseur est différent. Selon leur temps propre, chacun des polariseurs est le premier à orienter selon le hasard (horizontalement ou verticalement) le photon qui vient dans sa direction. C'est pourquoi cette expérience a été nommée « expérience *before-before* ».

La vitesse d'éloignement des polariseurs est telle que, selon la relativité restreinte, il ne peut y avoir de signal partant d'un photon pour informer l'autre photon de la paire. La relation classique de causalité de la physique est brisée.

Réalisée en 2002<sup>1</sup>, cette expérience a montré que, conformément à ce que prévoyait la physique quantique, *les corrélations non locales sont conservées*.

Interprétons cette expérience avec nos outils habituels. Nous n'insisterons guère car le lecteur en a maintenant compris l'usage. Lorsque l'observateur observe le photon de droite, il n'emprunte que l'un des deux chemins possibles : « observateur ayant enregistré un photon vertical à droite » ou « observateur ayant enregistré un photon horizontal à droite ». Le fait que le temps propre associé à chaque polariseur soit différent s'intègre simplement dans notre interprétation. En effet, pour prendre connaissance de l'enregistrement du photon de gauche, l'observateur doit utiliser des moyens classiques sans qu'il soit besoin de faire appel à des signaux plus rapides que la lumière.

---

<sup>1</sup> Stefanov et al (2002) ; le but de l'expérience était de tester la notion de simultanéité qui est sous-entendue par l'idée de non-localité. L'expérience a permis de réfuter un modèle de multisimultanéité proposé par Suarez et Scarani.

Puis le choix du chemin que l'observateur emprunte lorsqu'il prend connaissance de l'enregistrement du photon de gauche est contraint par la prise en compte de son passé d'observateur de la première particule d'une paire corrélée (principe n°3).<sup>1</sup>

Les promoteurs de l'expérience « *before-before* » ont conclu que la source des corrélations « non locales » était hors de l'espace et hors du temps (cf. citation en début de chapitre). Nous constatons que nos outils nous évitent de faire des hypothèses au-delà de nos principes initiaux et, en sciences, l'économie des hypothèses est toujours préférable. Notons également que le fait de considérer successivement le point de vue de chaque observateur, évitant ainsi le point de vue d'un super-observateur, nous a été particulièrement utile dans cette expérience qui fait appel aux propriétés de la relativité restreinte. La relativité restreinte s'interdit en effet de considérer un temps absolu ; seul le temps propre associé à chacun des observateurs a un sens.

Nous constatons à nouveau que les contraintes liées aux lois de la physique quantique semblent peser davantage sur l'observateur que sur une « réalité en soi » indépendante de l'observateur. On voit également tout l'intérêt d'une interprétation *relationnelle* de la physique quantique qui consiste à *indexer* (selon l'observateur considéré) le résultat d'une mesure. Nous aurons l'occasion d'en reparler.



---

<sup>1</sup> Insistons à nouveau sur le fait que, dans cette interprétation, le photon de gauche reste dans un état superposé ; le résultat de la mesure du photon de gauche n'est pas « fixé » par la mesure du photon de droite.