

## 2.8

---

### *Quand le passé se conjugue au futur*

L'expérience que nous allons décrire est connue sous le nom de « gomme quantique à choix retardé ». Elle peut sembler complexe au premier abord mais en comprendre la portée et l'intérêt est relativement aisé. Afin de nous motiver, voici ce qu'en dit le physicien Brian Greene :

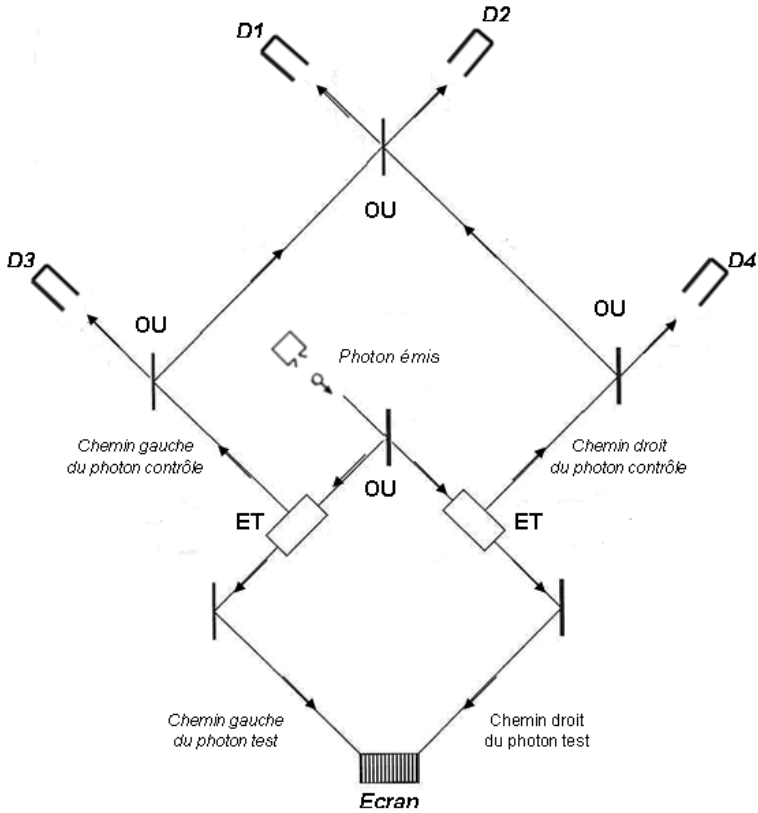
« Quand j'ai eu vent de ces expériences, je me souviens d'avoir été enthousiasmé pendant plusieurs jours. J'avais l'impression d'apercevoir furtivement une partie cachée de la réalité. L'expérience commune (celle de nos activités quotidiennes ordinaires) semblait tout à coup faire partie d'une devinette classique, dissimulant la véritable nature du monde quantique. Le monde de tous les jours semblait tout à coup n'être qu'un acte de magie inversée qui hypnotiserait son public en lui faisant croire aux conceptions de l'espace et du temps qui nous sont familières, tandis que, par un tour de passe-passe de la nature, l'incroyable vérité de la réalité quantique restait prudemment dissimulée »<sup>1</sup>.

En quoi consiste donc cette expérience qui trouble à ce point les plus flegmatiques des physiciens ? Le dispositif expérimental en est schématisé ci-dessous.

Des photons sont émis un par un. Ils rencontrent tout d'abord un miroir semi-réfléchissant : le photon est soit réfléchi soit transmis (c'est-à-dire qu'il continue son chemin tout droit). Dans les deux cas il rencontre un dispositif appelé convertisseur (C) qui émet deux photons en sortie pour un photon entrant. L'un des photons est ensuite dirigé vers un écran où son impact est enregistré. L'autre photon rencontre un premier miroir semi-réfléchissant où il est soit transmis et son impact enregistré par un détecteur (D3 ou D4), soit réfléchi et dirigé vers un deuxième miroir semi-réfléchissant. Qu'il soit transmis ou réfléchi sur ce deuxième miroir, son impact est alors enregistré par un détecteur (D1 ou D2).

---

<sup>1</sup> Brian Greene. *La magie du cosmos*. Robert Laffont (2005).



Pourquoi parle-t-on de gomme quantique ?

Reprenons la description du parcours des photons à partir du convertisseur. Les photons qui se dirigent vers le bas du schéma sont appelés photons tests ; ceux qui se dirigent vers le haut sont appelés photons contrôles. Grâce au convertisseur, pour chaque photon test, il existe un photon contrôle.

Supposons qu'un clic se fasse entendre dans le détecteur D3. Ceci nous permet d'en déduire que le photon test a emprunté la branche gauche en direction de l'écran. Si c'est le détecteur D4 qui clique, alors le photon test a emprunté la branche droite.

Si c'est le détecteur D1 ou le détecteur D2 qui sonnent, nous ne pouvons conclure. En effet le deuxième miroir semi-réfléchissant a masqué cette

information : il y a eu littéralement *effacement* de l'information concernant le chemin suivi. D'où l'expression de gomme quantique.

Pourquoi dit-on que le choix est retardé ?

Le dispositif expérimental est construit de telle sorte que le photon test a un impact sur l'écran *avant* que le photon contrôle soit détecté. On peut ainsi imaginer que les détecteurs sont aussi éloignés que l'on souhaite : on peut faire en sorte qu'il s'écoule plusieurs années avant que l'observateur prenne connaissance des résultats des photons contrôles.

Voyons maintenant les résultats obtenus sur l'écran. Nous constatons que les impacts de photon accumulés au cours de l'expérience forment une tache lumineuse sans franges d'interférences.<sup>1</sup>



Du fait que nous émettons les photons un par un, nous pouvons les numéroter. Nous pouvons ainsi les individualiser selon le chemin suivi. Nous savons ainsi que le photon 38 a fait cliquer le détecteur D1, que le photon 129 a fait cliquer le détecteur D3, etc. Nous pouvons par conséquent étudier *a posteriori* les traces d'impact des photons tests sur l'écran en fonction du chemin suivi par les photons contrôles.

Ainsi, si nous corrélons les photons contrôles parvenus aux détecteurs D3 (ou D4) avec leurs photons tests correspondants, nous obtenons également une tache lumineuse sans figure d'interférence.



Si nous corrélons les impacts sur les écrans avec les détecteurs D1 ou D2 qui ont permis d'effacer l'information sur le chemin emprunté, nous constatons que les impacts des photons dessinent des figures d'interférence :

---

<sup>1</sup> Cette expérience avait été proposée en 1982 (Scully et Drühl) ; elle a été réalisée en 1999 (Scully, Englert et Walther) et confirmée avec des dispositifs expérimentaux différents (Kim *et al*, 2000).



Comment interpréter ces différents résultats ?

Selon notre leitmotiv – la Nature explore tous les chemins possibles – le photon test est dans l'état superposé « photon test ayant emprunté la branche gauche » et « photon test ayant emprunté la branche droite ».

La Nature a également exploré tous les chemins possibles pour chacun des photons contrôles qui sont chacun dans un état superposé :

Photon en D1 et photon en D2 et photon en D3 et photon en D4

Pour chaque photon, l'observateur relie la place de l'impact du photon test sur l'écran avec le détecteur qui s'est déclenché lors du passage du photon contrôle. Comme nous l'avons dit, les détecteurs peuvent être très éloignés et l'observateur utilise un moyen classique quelconque pour en prendre connaissance.

Il est nécessaire que le présent de l'observateur soit cohérent avec son passé (principe n° 3). Par conséquent, les clics en D1 et D2 doivent être distribués de façon à ce que la comparaison réalisée *a posteriori* permette l'observation de franges sur l'écran.

Notons au passage que les franges en D1 sont complémentaires des franges en D2 : si on les additionne on retrouve le bruit initial (tache lumineuse sans franges).

Interprétons classiquement cette expérience. Nous sommes alors conduits à admettre qu'une information dans le futur (détecteur qui clique) est responsable d'une action dans le présent (place de l'impact sur l'écran). On ne peut éviter cette conclusion si on considère les événements depuis la place d'un super-observateur qui aurait connaissance de tous les points de vue *simultanément*.

Selon l'interprétation avec les différents principes que nous avons définis, c'est bien le passé qui a une influence sur le futur. Toutefois, ici encore, la contrainte porte sur l'observateur qui « sélectionne » parmi les futurs possibles celui qui est cohérent avec son passé. Ce choix d'un futur possible devient *sa réalité*. A partir du *bruit* initial sur l'écran, des franges d'interférence sont « sculptées » afin

de rendre compte des chemins superposés des photons sur lesquels on ne possède pas l'information « branche droite ou branche gauche ».

C'est donc *relativement à un observateur* que les trajets des photons tests et des photons contrôles obéissent aux lois quantiques.

Notons au passage que ces résultats montrent de la façon la plus claire qui soit que la disparition des franges n'est pas due à une quelconque perturbation du photon du fait de la mesure mais est bien liée à *l'information acquise par l'observateur* sur le chemin suivi.

