

# Inégalités de Bell et Routage Ultra-Rapide

R. Jameson

A. Le Baron

20 mars 2003

## Résumé

De 1980 à 1982, une équipe de chercheurs menée par Alain Aspect a réalisé un montage expérimental qui a permis de trancher définitivement le débat sur le paradoxe EPR.

## 1 Cadre de l'expérience

Cette expérience s'inscrit dans la lignée des montages qui ont été créés pour démontrer la possibilité de violer les inégalités de Bell et valider les postulats de la mécanique quantique. Rappelons que la manière la plus simple de procéder consiste à étudier les corrélations obtenues lors de mesures sur l'état de polarisation de paires de photons intriqués.

Les expériences des années 70 (dont la plus connue est celle de Fry et Thomson en 1976) étaient des séries de mesures sur des dispositifs statiques. Elles ne garantissaient donc pas l'impossibilité d'une pré-détermination des états des photons au moment de leur départ de la source, ce qui pouvait potentiellement avoir lieu s'ils avaient un moyen de connaître d'avance la configuration du reste du dispositif expérimental.

Le montage décrit dans l'article permet de garantir que les photons ne peuvent pas connaître d'avance les axes de polarisation suivant lesquels ils seront étudiés. Pour cela, on utilise un dispositif de « routage » dont l'état change plus vite que le temps nécessaire à la lumière de parcourir la distance entre la source et les détecteurs.

## 2 Mise en œuvre

Une source de calcium émet des paires de photons intriqués et dans des états de polarisation orthogonaux. Ceux-ci sont acheminés indépendamment vers des photomultiplicateurs précédés chacun d'un polariseur. Le routage est réalisé par un dispositif électroacoustique.

### 2.1 Dispositif de routage

La lumière est alternativement déviée ou non en la faisant se propager dans de l'eau. On y maintient une onde stationnaire acoustique obtenue par

l'interférence de deux ondes ultrasonores à direction de propagation opposée. Ceci permet de faire apparaître et disparaître une structure diffractante avec une fréquence de 100 MHz. L'angle d'incidence de la lumière est optimisé (angle de Bragg). Ceci permet de faire basculer toutes les 10 ns le polariseur actif, ce qui est une faible durée par rapport au temps de propagation des photons entre la source et le dispositif de routage (la distance entre la source et chacun des routeurs est de 6 mètres et le temps de propagation est estimé par les auteurs de l'article à 40 ns).

### 2.2 Inégalité à vérifier

On note  $\vec{a}$  et  $\vec{a}'$  (resp.  $\vec{b}$  et  $\vec{b}'$ ) les angles des polariseurs possibles pour le photon  $A$  (resp.  $B$ ). On note  $N(x, y)$  le nombre de corrélations obtenues entre le polariseur  $x$  du côté  $A$  et  $y$  du côté  $B$ . On note  $\infty$  et  $\infty'$  les mesures obtenues en enlevant en  $A$  le polariseur  $a$  ou  $a'$ , de même pour le côté  $B$ .

L'inégalité de Bell généralisée s'écrit dès lors :

$$S = \frac{N(\vec{a}, \vec{b})}{N(\infty, \infty)} - \frac{N(\vec{a}, \vec{b}')}{N(\infty, \infty')} + \frac{N(\vec{a}', \vec{b})}{N(\infty', \infty)} + \frac{N(\vec{a}', \vec{b}')}{N(\infty', \infty')} - \frac{N(\vec{a}', \infty)}{N(\infty', \infty)} - \frac{N(\infty, \vec{b})}{N(\infty, \infty)}$$

Dans l'hypothèse d'un modèle déterministe à variables cachées, on doit avoir :

$$-1 \leq S \leq 0$$

## 3 Résultats expérimentaux

On obtient :

$$S = 0,101 \pm 0,020$$

L'inégalité précédente est donc violée par 5 écarts-type. Cette expérience a été très importante dans la validation de l'indéterminisme quantique. Les auteurs ont aussi obtenu des mesures pour diverses orientations relatives des polariseurs qui sont remarquablement proches des prévisions données par la mécanique quantique.

A. Aspect, J. Dalibard, G. Roger *Experimental Test of Bell's Inequalities Using Time-Varying Analyzers* Phys. Rev. Let. 49, 1804-1807, 1982