



**HAL**  
open science

## Séparer l'inséparable

Michel Gondran, Alexandre Gondran

► **To cite this version:**

Michel Gondran, Alexandre Gondran. Séparer l'inséparable: ou comment remplacer le spineur singulet de l'expérience EPR-B dans l'espace de configuration par deux spineurs d'une particule unique dans l'espace physique. Colloque interdisciplinaire et européen de l'Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences (AEIS 2016) "Ondes, Matières et Univers", Feb 2016, Paris, France. , 2016. hal-01348958

**HAL Id: hal-01348958**

**<https://hal.science/hal-01348958>**

Submitted on 1 Aug 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## ou comment remplacer le spineur singulet de l'expérience EPR-B dans l'espace de configuration par deux spineurs d'une particule unique dans l'espace physique

Michel Gondran<sup>1</sup> and Alexandre Gondran<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences, Paris, France

<sup>2</sup> École Nationale de l'Aviation Civile, Toulouse, France



ECOLE NATIONALE DE L'AVIATION CIVILE

### Espace de configuration (3N dimensions) vs Espace physique (3 dimensions)

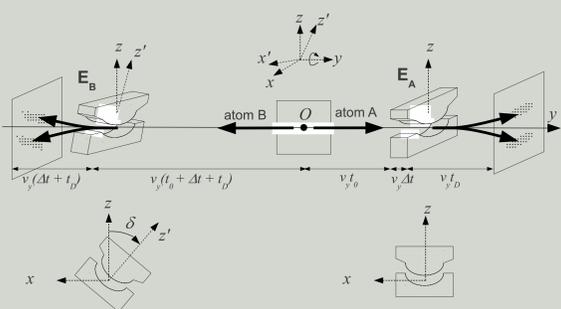
La fonction d'onde de  $N$  particules se propage dans un espace de configuration à  $3N$  dimensions

- ▶ Quelle interprétation à cette fonction d'onde ?
- ▶ Simple outil mathématique ou réalité physique ?
- ▶ Comment comprendre le réalisme non-local (variables supplémentaires de de Broglie-Bohm) ?

"This use of the  $q$ -space [configuration space] is to be seen only as a mathematical tool, as it is often applied also in the old mechanics; ultimately... the process to be described is one in space and time."

— Erwin Schrödinger

### Expérience EPR-Bohm : cas de deux particules corrélés



#### Conclusions habituelles :

- ▶ Impossibilité de décomposer une paire d'atomes intriqués en deux états, un par atome
  - ▶ Impossibilité d'interaction plus rapide que  $c$
- ⇒ Rejet du réalisme non-local (variables supplémentaires de de Broglie-Bohm)

#### Verrous :

- ▶ Extension spatiale de la fonction d'onde
- ⇒ Résolution explicite de l'expérience de Stern et Gerlach
- ⇒ Singulet tronqué de son extension spatiale
- ▶ expérience EPR-B en deux étapes
- ⇒ Explication de l'interaction entre les spins des deux particules

### Condition initiale 3 :

Le singulet est obtenu par antisymétrisation de A et B (principe de Pauli) avec des spin opposés :

$$\begin{cases} \Psi_0^A(r_A, \theta_0^A, \varphi_0^A) = f(r_A) \left( \cos \frac{\theta_0^A}{2} |+\rangle_A + \sin \frac{\theta_0^A}{2} e^{i\varphi_0^A} |-\rangle_A \right) \\ \Psi_0^B(r_B, \theta_0^B, \varphi_0^B) = f(r_B) \left( \cos \frac{\theta_0^B}{2} |+\rangle_B + \sin \frac{\theta_0^B}{2} e^{i\varphi_0^B} |-\rangle_B \right) \end{cases}$$

et spins opposés :  $\theta_0^B = \pi - \theta_0^A$ ,  $\varphi_0^B = \varphi_0^A - \pi$

Principe de Pauli :

$$\begin{aligned} \Psi_0(r_A, \theta_A, \varphi_A, r_B, \theta_B, \varphi_B) &= \Psi_0^A(r_A, \theta_A, \varphi_A) \Psi_0^B(r_B, \theta_B, \varphi_B) \\ &\quad - \Psi_0^A(r_B, \theta_B, \varphi_B) \Psi_0^B(r_A, \theta_A, \varphi_A) \\ &= -e^{i\varphi_A} f(r_A) f(r_B) (|+\rangle_A |-\rangle_B - |-\rangle_A |+\rangle_B) \end{aligned}$$

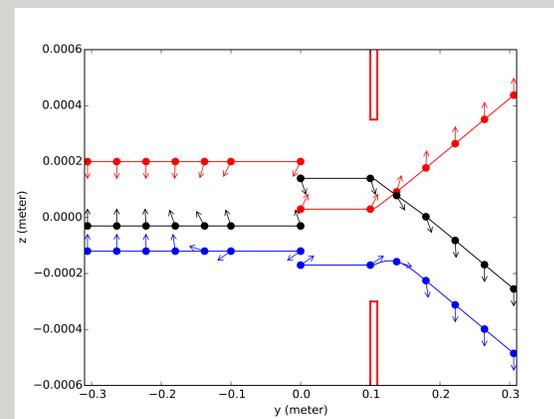
### Méthodologie

- ▶ Expérience EPR-B en 2 étapes successives
  - ▶ Mesure de A puis mesure de B
  - ▶ Équivalent d'un point de vue théorique que les 2 étapes simultanées
  - ▶ Permet de résoudre analytiquement les calculs
- ▶ Résolution de l'équation de Pauli avec singulet non tronqué

### EPR-B étape 1 : mesure de A

#### Résultats :

- ▶ La densité des particules  $B$  n'est pas affectée par la mesure des particules  $A$
- ▶ La densité des particules  $A$  est la même que la particule soit libre ou intriquée.



### Condition initiale 1 :

▶ Spineur complet avec extension spatiale

$$\Psi^0(z) = (2\pi\sigma_0^2)^{-1/4} e^{-\frac{z^2}{4\sigma_0^2}} \begin{pmatrix} \cos \frac{\theta_0}{2} e^{-i\varphi_0/2} \\ \sin \frac{\theta_0}{2} e^{i\varphi_0/2} \end{pmatrix}$$

▶ Spineur tronqué utilisé en information quantique

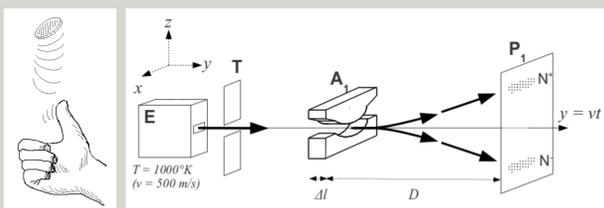
$$\Psi^0 = \begin{pmatrix} \cos \frac{\theta_0}{2} e^{-i\varphi_0/2} \\ \sin \frac{\theta_0}{2} e^{i\varphi_0/2} \end{pmatrix}$$

Essentiel pour comprendre la "mesure" du spin

⇒ dBB utilise la position pour obtenir des trajectoires

### Pile ou face classique et quantique

Aléa fondamentale ou variables supplémentaires ?



Pile ou face classique et pile ou face quantique (Stern-Gerlach)

?? Aléa pour l'observateur ⇒ Aléa fondamentale ??

En classique comme en quantique :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Orientation initiale} \\ + \text{Position initiale} \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Orientation finale} \\ + \text{Position finale} \end{array} \right.$$

### Spin : variable à valeur non prédéterminée avant la "mesure"

Comme l'orientation d'une pièce, l'orientation du spin n'est pas une propriété indépendante de la "mesure".

▶ La "mesure" contraint l'orientation à prendre seulement 2 valeurs possibles

Cependant :

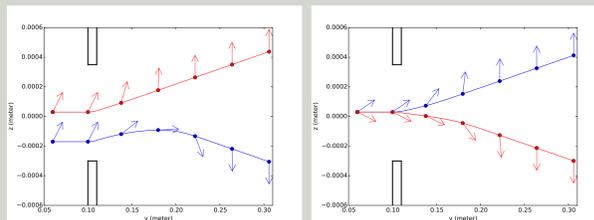
▶ l'orientation pré-existe à la "mesure"

▶ mais peut être différente de celle mesurée

▶ l'orientation est inconnue avant la "mesure"

### Même orientation, positions différentes Orientations différentes, même position

- ▶ 2 particules de même orientation (fonction d'onde) mais de positions initiales différentes (fig. gauche)
- ▶ 2 particules avec la même position initiale mais d'orientations différentes (fig. droite)



### Position initiale : connaissance indépassable ?

Es-ce qu'il est possible à l'expérimentateur de connaître la position initiale d'une particule ?

À priori non, car sinon on pourrait faire des communications supra-lumineuses

### Condition initiale 2 :

▶ Singulet complet avec extension spatiale

$$\Psi_0(r_A, r_B) = \frac{1}{\sqrt{2}} f(r_A) f(r_B) (|+\rangle_A |-\rangle_B - |-\rangle_A |+\rangle_B)$$

▶ Singulet tronqué utilisé en information quantique

$$\Psi_0(r_A, r_B) = \frac{1}{\sqrt{2}} (|+\rangle_A |-\rangle_B - |-\rangle_A |+\rangle_B)$$

Essentiel pour comprendre l'expérience EPR-B

cf. Dewdney, Holland, Kyrianiadis 1987

### EPR-B étape 2 : mesure de B

Simple Stern et Gerlach

L'orientation des spins des particules  $B$  avant cette seconde mesure ont 2 valeurs possibles :  $\delta$  ou  $\pi - \delta$ .

### Conclusions

- ▶ Espace de configuration = espace fictif (outil math.)
- ▶ Existence d'une action à distance
- EPR :  $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ particule} \\ + 1 \text{ particule} \\ + \text{interaction à distance instantanée des spins} \end{array} \right.$

Le réalisme non-local de Karl Popper :

"l'expérience d'Aspect serait la première expérience cruciale visant à trancher entre les interprétations lorentzienne et einsteinienne des transformations de Lorentz"

### Conséquences :

- ▶ Abandonner l'interprétation d'Einstein [de 1905] de la relativité restreinte pour l'interprétation de Lorentz
- ▶ Même formalisme (pas d'abandons d'équations)
- ▶ Espace et temps absolus mais non détectable