

Le solipsisme convivial

Le rôle de l'observateur en physique quantique

Hervé ZWIRN

Origine du solipsisme convivial

- Le problème de la mesure et ses multiples tentatives de résolution
- L'interprétation d'Everett
- Analyse et Insatisfaction de Bernard d'Espagnat
- Suggestion dans « Conceptual Foundations of Quantum Mechanics » (1971) et « Le réel voilé » (1994)
- Développé dans « Les limites de la connaissance » (2000) et dans « Foundations of Physics » (2016) et « Physics Essays » (2017)

[1] Hervé Zwirn, « Les limites de la connaissance », Odile Jacob, (2000).

[2] Hervé Zwirn, "The Measurement Problem: Decoherence and Convivial Solipsism", Found. Phys., 46: pp 635 -667, (2016).

<http://arxiv.org/abs/1505.05029>

[3] Hervé Zwirn, "Delayed Choice, Complementarity, Entanglement and Measurement", Physics Essays, 30, 3 (2017).

<http://arxiv.org/abs/1607.02364>

Le problème de la mesure

Les systèmes quantiques sont susceptibles d'être dans des états superposés : $\Psi = \sum c_i |\varphi_i\rangle$

2 postulats contradictoires :

- L'équation de Schrödinger : $i\hbar \frac{d\Psi}{dt} = H\Psi$

- Le postulat de réduction: $\Psi = \sum c_i |\varphi_i\rangle \rightarrow |\varphi_k\rangle$

Le problème de la mesure

Le processus de mesure : 2 points de vue

Avant l'interaction entre S et A

Systeme S : $|\Psi_S\rangle = \sum c_i |\varphi_i\rangle$. Appareil A: $|A_0\rangle$

Grand système A + S : $\Psi_{SA} = |\Psi_S\rangle|A_0\rangle = \sum c_i |\varphi_i\rangle|A_0\rangle$

Après l'interaction entre S et A

- Equation Schrödinger : $\Psi_{SA} = \sum c_i |\varphi_i\rangle|A_0\rangle \rightarrow \sum c_i |\varphi_i\rangle|A_i\rangle$
- Postulat réduction : $|\Psi_S\rangle = \sum c_i |\varphi_i\rangle \rightarrow |\varphi_k\rangle$ et $|A_0\rangle \rightarrow |A_k\rangle$

Le problème de la mesure

Le processus de mesure : 2 points de vue

- Quand doit-on utiliser l'équation de Schrödinger ou le principe de réduction ?
- Principe de réduction : lors d'une mesure
- Comment définir une mesure ?

Le problème de la mesure

Une incohérence dans le formalisme quantique?

- Changer le formalisme ?
- Très nombreuses solutions proposées

Le problème de la mesure

Une incohérence dans le formalisme quantique?

- Bohr et l'Ecole de Copenhague
- Von Neumann, Wigner, London et Bauer
- Interprétation relationnelle, Qbism, Interprétation modale
- Théorie de Bohm
- Théories à collapse spontané (GRW)

L'interprétation d'Everett

- Rejeter le principe de réduction
- L'état superposé (intriqué) n'est jamais réduit

$$\Psi_{SA} = \sum c_i |\varphi_i\rangle |A_i\rangle$$

L'univers doit être considéré dans son ensemble et il évolue de manière déterministe selon l'équation de Schrödinger

- Comment rendre compte de nos observations ?

L'interprétation d'Everett

➤ Prendre l'observateur en compte

➤ L'état superposé avec l'observateur est :

$$\Psi_{SAO} = \sum c_i |\varphi_i\rangle |A_i\rangle |O_i\rangle$$

➤ Interpréter cet état superposé d'une manière particulière

L'interprétation d'Everett

- Principe de relativité des états pour un système composé
- Chaque $|O_i\rangle$ dans $\Psi_{SAO} = \sum c_i |\varphi_i\rangle |A_i\rangle |O_i\rangle$ correspond à un observateur ayant vu le résultat i . L'observateur initial se divise donc en autant d'observateurs qu'il y a de résultats et donc de mondes possibles
- Tous les résultats possibles d'une mesure se réalisent et chacun donne lieu à un monde

L'interprétation d'Everett

Les difficultés

- La base dans laquelle on a écrit Ψ_{SAO} n'a rien de particulier et on pourrait décomposer Ψ_{SAO} dans n'importe quelle autre base
(Problème de la base préférée : résolu par la décohérence)
- Retrouver la règle de Born
(Pas de solution vraiment satisfaisante)
- **Multiplication infinie du nombre d'observateurs**

L'interprétation d'Everett

Suggestion de Bernard d'Espagnat

- Modèle explicitement dualiste
(Conceptual Foundations of Quantum Mechanics, p 275; Le réel voilé, p 269)
- La conscience est une propriété qui n'est pas décrite par un vecteur d'état
- Elle n'est en correspondance qu'avec une des branches

Le solipsisme convivial

Deux principes :

- Le mécanisme d'accrochage
- Il n'y a pas de vecteur d'état absolu. Tout vecteur d'état est relatif à un observateur particulier

Le solipsisme convivial

Le mécanisme d'accrochage :

$$\Psi_{SAEO} = \sum c_i |\varphi_i\rangle |A_0\rangle |O_0\rangle \rightarrow \sum c_i |\varphi_i\rangle |A_i\rangle |O_i\rangle$$

Distinction entre l'état physique du cerveau de l'observateur et ce qu'il perçoit. Son cerveau (comme tout système physique) reste dans un état superposé. Mais il ne peut prendre conscience que d'une seule des branches de l'état superposé et cette branche est choisie de manière probabiliste en suivant la règle de Born.

C_k correspond aux perceptions dont l'observateur est conscient lorsque son cerveau est dans l'état $|O\rangle_k$

Le solipsisme convivial

Le mécanisme d'accrochage :

$$\Psi_{SAEO} = \sum c_i |\varphi_i\rangle |A_0\rangle |O_0\rangle \rightarrow \sum c_i |\varphi_i\rangle |A_i\rangle |O_i\rangle$$

$$\sum c_i |\varphi_i\rangle |A_i\rangle |O_i\rangle \xrightarrow{\text{est perçu comme}} |\varphi_k\rangle |A_k\rangle |O_k\rangle$$

$C_0 \rightarrow C_k$ qui correspond aux perceptions lorsque le cerveau est dans l'état $|O\rangle_k$

La probabilité que ce soit la branche k qui soit choisie suit la règle de Born $p_k = |c_k|^2$

Le solipsisme convivial

Une fois que la conscience est accrochée à une branche, elle ne peut que s'accrocher à des branches filles pour toutes les observations ultérieures

Cela garantit que :

- Répéter la même observation redonnera bien le même résultat

Que se passe-t-il si deux observateurs Bob et Charles font chacun de leur côté la même mesure sur un système ?

Toute communication entre deux observateurs est semblable à une mesure
⇒ Tout conflit avec un autre observateur est impossible

Le solipsisme convivial

Que se passe-t-il si deux observateurs Bob et Charles font l'un après l'autre la même mesure sur un système ?

Pour Bob :

$$\Psi_{SAB} = \sum c_i |\varphi_i\rangle |A_0\rangle |B_0\rangle \rightarrow \sum c_i |\varphi_i\rangle |A_i\rangle |B_i\rangle$$

La conscience de Bob s'accroche à une des branches : $C^B_0 \rightarrow C^B_k$

Pour Charles :

$$\Psi_{SAC} = \sum c_i |\varphi_i\rangle |A_0\rangle |C_0\rangle \rightarrow \sum c_i |\varphi_i\rangle |A_i\rangle |C_i\rangle$$

La conscience de Charles s'accroche à une des branches : $C^C_0 \rightarrow C^C_{k'}$

Il n'y a aucune raison pour que $k = k'$

Y-a-t-il conflit ?

Le solipsisme convivial

Après que Bob ait fait sa mesure, Charles sait que l'état de Bob s'est intriqué avec celui du système. Pour Charles, le système, l'appareil et Bob sont dans l'état :

$$\Psi_{SAB} = \sum c_i |\varphi_i\rangle |A_i\rangle |B_i\rangle$$

La conscience de Bob est accrochée à la branche k, mais Charles n'a pas accès aux états de conscience de Bob

Lorsque Charles fait sa mesure sur le système, il s'intrique à son tour et l'état global devient

$$\Psi_{SABC} = \sum c_i |\varphi_i\rangle |A_i\rangle |B_i\rangle |C_i\rangle$$

La conscience de Charles s'accroche à la branche k'

Puis Charles interroge Bob pour savoir ce qu'il a vu. Cela revient à faire une mesure de Bob par Charles

Le solipsisme convivial

Selon le mécanisme d'accrochage, lors d'une deuxième mesure, la conscience ne peut s'accrocher qu'à des branches filles de la branche à laquelle elle est déjà accrochée. Dans ce cas simple cela signifie que l'état global reste

$$\Psi_{SABC} = \sum c_i |\varphi_i\rangle |A_i\rangle |B_i\rangle |C_i\rangle$$

Mais la conscience de Charles ne peut s'accrocher lors de cette deuxième mesure qu'à une branche fille de la branche k', c'est-à-dire ici à la branche k' elle-même

Donc Charles entendra Bob lui répondre qu'il a obtenu k' comme lui-même

Qu'en est il en réalité ?

Le solipsisme convivial

- Question posée du point de vue d'un meta observateur capable de témoigner des états de consciences de Bob et Charles : Il n'existe pas
- Il n'y a pas de réalité absolue qui soit la même pour tout observateur
- Les vecteurs d'état et les branches auxquelles la conscience peut s'accrocher sont relatifs à chaque observateur
- Solipsisme : Chaque observateur ne perçoit que sa propre branche indépendamment de ce que perçoivent les autres
- Convivial : Aucun conflit n'est possible
- Dieu ne joue pas aux dés mais nous oui !

Le solipsisme convivial

Particules intriquées : paradoxe EPR

$$|\psi\rangle = 1/\sqrt{2} [|+\rangle^A |-\rangle^B - |-\rangle^A |+\rangle^B]$$

- Si une mesure du spin de A donne +, une mesure du spin de B donnera – (et vice versa)
- Cela est vrai quelle que soit la distance entre A et B
- Cela se produit instantanément

Le solipsisme convivial

Particules intriquées : paradoxe EPR

- Les dés ne sont pas jetés au moment où les particules se séparent (Variables cachées locales)
- Cela est exclu par les inégalités de Bell
- Confirmées par l'expérience d'Aspect

Le solipsisme convivial

La non séparabilité

- Si deux systèmes ont interagi, ils ne peuvent plus être considérés comme des entités individuelles mais doivent être pensés comme un tout indissociable quelle que soit la distance qui les sépare
- Aucun d'entre eux ne possède d'état individuel.
- Une mesure d'une grandeur sur l'un d'entre eux suffit à les séparer et à déterminer la valeur de la grandeur correspondante sur l'autre, même si celui-ci est à grande distance du premier (Non Localité)

Le solipsisme convivial

PARADOXE EPR ET NON LOCALITE

- Permet de résoudre le paradoxe EPR et d'éviter la non localité
- Les corrélations EPR ne sont pas un effet physique réel avec une action instantanée à distance mais sont constatées par un observateur lors de sa rencontre avec l'autre observateur dans un intervalle du genre temps
- Plus de non localité ou d'effet instantané à distance
- Prix à payer :
 - Plus de réalité absolue
 - Une réalité relative totalement différente de ce que l'intuition nous suggère