

## 2.3

---

### *Nos outils d'exploration des mondes possibles*

- « Dites-moi, je vous prie, de quel côté faut-il me diriger ?  
– Cela dépend beaucoup de l'endroit où vous voulez aller, dit le Chat.  
– Cela m'est assez indifférent, dit Alice.  
– Alors peu importe de quel côté vous irez, dit le Chat.  
– Pourvu que j'arrive quelque part, ajouta Alice en explication.  
– Cela ne peut manquer, pourvu que vous marchiez assez longtemps. »

Lewis Carroll, *Alice au pays des merveilles*

Dans les chapitres qui suivent, nous allons décrire plusieurs expériences qui – faisant suite à l'expérience d'Aspect de 1982 – questionnent de façon plus approfondie les différentes interprétations de la physique quantique.

Rappelons tout d'abord que l'expérience d'Aspect de 1982 était destinée à évaluer les théories à *variables cachées locales*. Ces théories font l'hypothèse que chacun des objets quantiques appartenant à une paire dite corrélée emporte avec lui l'information (appelée une « variable cachée ») correspondant au résultat de la future mesure. Le principe de *localité* (ou principe de séparabilité) stipule que des objets distants ne peuvent avoir une influence directe l'un sur l'autre. Seul l'environnement immédiat d'un objet peut influencer ce dernier. Ce principe provient de la relativité restreinte.

A l'opposé, les théories à *variables cachées non locales* font l'hypothèse qu'un *signal instantané* (de nature inconnue) permet à un objet quantique appartenant à une paire corrélée d'être informé d'une mesure sur l'autre objet quantique de la paire.

Le plus souvent on conclut (et c'est ce que nous avons fait plus haut dans une première approche) que l'expérience d'Aspect démontre la non localité de notre monde physique. En fait les inégalités de Bell font l'hypothèse d'un *réalisme local*. Et, dans la description des inégalités de Bell, on oublie souvent de citer l'hypothèse de *réalisme*. Selon cette dernière hypothèse, les objets physiques ont des états qui existent indépendamment de toute observation et qui

préexistent donc à toute mesure. C'est sur cette idée que sont fondées nos interprétations de la vie quotidienne concernant les objets qui nous entourent. Et Einstein ne pouvant admettre les conséquences de la physique quantique, resta fidèle à la vision réaliste du monde telle qu'elle est véhiculée dans les idées de la physique classique.

Toutefois, comme nous l'avons vu, l'expérience d'Aspect a permis de réfuter les théories réalistes à variables cachées locales. Mais était-ce la localité qui était réfutée ? le réalisme ? les deux ?

D'autres expériences, réalisées dans les années 2000, ont participé à la remise en cause d'une vision réaliste du monde physique tout en renforçant la physique quantique. Nous les décrivons dans les chapitres qui suivent.

Les « comprendre » selon les conceptions de la physique classique est voué à l'échec. Nous utiliserons l'interprétation relationnelle de la physique classique que nous avons décrite plus haut.

Afin de rendre cette interprétation plus accessible et plus facile à manier, nous allons adopter quatre principes simples qui – si nous les adoptons – nous permettront de décrire avec une relative facilité ces expériences. Nous les commenterons dans le chapitre suivant.

### **Premier principe : *La Nature explore tous les chemins possibles***

C'est probablement le principe que nous aurons le plus de difficultés à admettre. Pour le moment contentons-nous de l'enregistrer ; quand nous le verrons à l'œuvre dans des exemples concrets, nous l'accepterons plus facilement.

Imaginons une source de lumière qui émet des photons – des grains de lumière – face à un écran percé de deux fentes A et B. Certains photons qui ne sont pas arrêtés par l'écran passent par les fentes. Puisque nous nous représentons habituellement le photon comme une petite bille, nous pouvons raisonnablement supposer que chacun de ces photons passe par l'une des deux fentes A *ou* B.

En fait, pour la physique quantique, chaque photon passe par *les deux fentes à la fois* : A *et* B. On dit alors que le photon est dans un *état superposé*.

Plus généralement, lorsque plusieurs chemins sont possibles, *la Nature les explore tous*. Nous pouvons nous représenter le résultat comme un buisson plus ou moins dense des différentes branches de chacune des *réalités possibles*.

Le physicien qui enregistre le chemin emprunté par le photon peut lui-même suivre deux chemins possibles selon qu'il enregistre que le photon est

passé par le chemin A ou par le chemin B. La Nature explorant tous les chemins possibles, *il est lui aussi dans un état superposé* : observateur ayant enregistré le chemin A et observateur ayant enregistré le chemin B.

Nous nous trouvons donc face à un problème : aucun observateur qu'il soit physicien ou simple quidam ne se perçoit dans un état superposé. D'où la nécessité d'un deuxième principe...

**Deuxième principe : *Un observateur n'emprunte que l'un des chemins possibles***

Nous avons tellement l'habitude qu'une porte soit ouverte *ou* fermée que nous devrions pouvoir accepter ce principe sans douleur. Notons au passage que ce principe a les mêmes conséquences que la fameuse « réduction de la fonction d'onde ». Simplement nous considérons que cette « réduction » n'a de sens que relativement à un observateur donné (selon l'interprétation relationnelle).

Imaginons que l'on ajoute un dispositif physique (peu importe les détails) qui nous informe sur le chemin qu'a pris le photon. Comme pour la porte ouverte ou fermée, nous observerons ainsi que le photon est passé soit par la fente A, soit par la fente B. C'est l'équivalent du fameux chat de Schrödinger qui – mis en danger par un dispositif aléatoire – ne peut être à la fois mort et vivant.

On peut s'interroger sur la nécessité de définir un principe qui semble si évident. Souvenons-nous que nous avons terminé la description du premier principe avec un *nouvel objet* qui était une combinaison (« superposition ») des *deux futurs possibles* du photon et de son observateur.

Ce que nous dit de plus la physique quantique, c'est qu'au cours de l'enregistrement du chemin du photon, le choix parmi les différents chemins possibles se fait *au hasard*. Par exemple, si nous avons placé convenablement la source qui émet les photons, la probabilité sera de 1/2 pour le chemin A et 1/2 pour le chemin B ; nous pouvons également faire en sorte que 2/3 des photons passent par la fente A et 1/3 des photons passent par la fente B. Nous avons *le choix du dispositif expérimental*. En revanche nous ne pouvons rien faire pour influencer sur le chemin d'un photon donné. Nous devons savoir que ce *choix de la Nature est fondamentalement aléatoire* en ce sens que rien dans la théorie ne dit quel chemin sera suivi, non pas parce que la théorie est incomplète mais parce... c'est ainsi (nous y reviendrons néanmoins par la suite).

Du fait de ce principe, nous sommes assurés qu'en dépit de l'exploration par la Nature de tous les chemins possibles, un seul d'entre eux devient accessible à la conscience d'un observateur et *il devient alors sa réalité* (cf. l'encadré sur l'« effondrement » de la fonction d'onde à la fin du chapitre).

**Troisième principe : *Le présent d'un observateur est cohérent avec son passé***

Ce principe peut paraître encore plus superflu que le précédent. Il stipule que si nous avons enregistré par un dispositif adéquat que le photon est passé par le chemin A, alors si nous prenons connaissance à un instant ultérieur d'un *enregistrement de cet événement*, nous constaterons que c'est toujours le chemin A qui figure dans l'enregistrement. Il correspond à l'accord « intrasubjectif » dont nous avons déjà parlé.

Pourquoi énoncer alors un principe aussi inutile en apparence ?

Repartons de la première loi. Nous pouvons nous interroger sur le statut du *nouvel objet* que nous avons défini comme étant une *superposition des deux chemins possibles*. Est-il une « simple » représentation mathématique ? Est-il « réel » ? Tout ce que nous pouvons dire est que *notre réalité* s'en déduit par un tirage au sort. Nous devons être certains néanmoins que, dans le cours du temps, le hasard ne va pas « malencontreusement » nous assigner sur une « *branche* » *différente* de ce que nous prenions jusque là pour notre réalité.

Nous pouvons également énoncer ce principe en ces termes : si un chemin a été sélectionné au cours de l'histoire d'un observateur, alors ce dernier est assuré que ce chemin *fera toujours partie de son passé* lors d'une observation ultérieure.

**Quatrième principe : *Les chemins empruntés par différents observateurs sont cohérents***

Ce principe correspond à l'« accord intersubjectif » que nous avons déjà rencontré. Si le principe précédent s'attachait à garantir la cohérence des histoires d'un observateur donné au cours du temps, l'accord intersubjectif a pour but – comme son nom l'indique – de garantir l'accord de différents observateurs sur les enregistrements qu'ils ont réalisés.

Ce principe peut également paraître aller de soi. Il existe néanmoins une subtilité.

Reprenons le photon émis en direction des deux fentes. La Nature explorant l'ensemble des chemins possibles, le photon est donc dans un état superposé : photon ayant emprunté le chemin A *et* photon ayant emprunté le chemin B. Un premier observateur enregistre un chemin, par exemple le chemin A. Il confronte alors son enregistrement avec un deuxième observateur qui lui aussi a enregistré le chemin suivi par ce même photon. *Relativement au premier observateur*, le deuxième observateur est – avant tout échange d'information – dans un état superposé : observateur ayant enregistré le chemin A *et* observateur

ayant enregistré le chemin B. Puis les observateurs confrontent leurs enregistrements. L'accord intersubjectif nous dit que *relativement au premier observateur*, le chemin enregistré par le deuxième observateur ne peut être que le chemin A.

Nous devons insister sur un point capital : tout enregistrement d'un chemin est toujours *relatif à un observateur donné*. Si les deux observateurs sont d'accord sur ce qu'ils ont enregistré, nous ne sommes pas en droit d'en déduire qu'ils ont enregistré le même chemin. Ceci peut paraître très surprenant mais ce que prescrit l'accord intersubjectif est l'accord (la corrélation) entre différents observateurs de la « réalité ». Rien n'est dit du chemin que chacun d'eux a enregistré.

Se poser la question de savoir ce que chacun des observateurs a observé *réellement* n'a pas de sens dans ce cadre. Nous devons admettre que toute description de la « réalité » doit toujours se faire *relativement* à un observateur donné.

Il ne peut exister par conséquent d'observateur d'une réalité globale – un super-observateur en quelque sorte – qui dirait ce que le premier et le deuxième observateurs ont *réellement* observé. Tout ce que pourrait énoncer ce super-observateur omniscient serait la « forme » que revêt le système constitué par ces deux observateurs, c'est-à-dire : il existe un chemin où les deux observateurs ont enregistré A *et* un chemin où les deux observateurs ont enregistré B.<sup>1</sup>

N'oublions pas qu'en réfutant un temps absolu, Einstein a pu développer la relativité restreinte : le temps s'y définit *relativement à chaque observateur* de la réalité. Ici nous faisons un pas de plus : face à un événement aléatoire, *le futur doit toujours se définir relativement à un observateur donné*.

Nous avons déjà vu que l'importance et l'intérêt de l'accord intersubjectif apparaissent lors de la répétition des observations individuelles. L'accord intersubjectif permet alors à plusieurs observateurs d'établir les *mêmes corrélations*. Ils peuvent alors en déduire des lois et aboutir aux mêmes conclusions. L'*établissement de corrélations* reste la meilleure définition que l'on puisse donner de la science.

---

<sup>1</sup> Les chemins où les deux observateurs ont enregistré des chemins incohérents sont en quelque sorte « filtrés ».

***Les tables de la loi quantique***

**Premier principe**

La Nature explore tous les chemins possibles\*

(= *évolution de la fonction d'onde, principe de superposition*)

**Deuxième principe**

Un observateur n'emprunte que l'un des chemins possibles\*\*

(= « *effondrement de la fonction d'onde* »)

**Troisième principe**

Le présent et le passé d'un observateur sont cohérents\*\*\*

(= « *accord intrasubjectif* »)

**Quatrième principe**

Les chemins empruntés par différents observateurs

sont cohérents

(= *accord intersubjectif*)

\* *Partant d'une situation donnée, tous les chemins ne sont donc pas possibles.*

\*\* *Le choix se fait de façon aléatoire.*

\*\*\* *Dit autrement : lorsque la fonction d'onde est « réduite », elle le reste.*