

2.10

Le vieux monde est derrière nous

Droit d'inventaire

Dans les chapitres précédents, nous avons assisté à des remises en cause radicales de notre vision du monde. Petit à petit, des pans entiers de notre entendement du monde s'effondrent avec la remise en cause des notions classiques de localité et de causalité.

Pourtant, aussi sensationnelles soient-elles, ces idées se frayent difficilement un chemin. En dehors des cercles spécialisés, elles ne trouvent qu'un écho limité, sans commune mesure avec ce que ces résultats nous apprennent sur notre rapport à la « réalité ». Attendons la prochaine « mise à jour » qui réglera ces bizarreries se disent probablement ceux qui n'admettent pas cette atteinte au bon sens. Oui, mais...

Depuis 1982, avec l'expérience d'Aspect, nous sommes entrés dans une nouvelle ère. L'étrangeté quantique n'est plus confinée dans les équations ; les expériences que nous avons décrites, réalisées après 1982, ont pris leur indépendance vis-à-vis de la théorie qui les avait suscitées. Même si la physique quantique connaissait une révision majeure (ou serait englobée dans une théorie plus générale), les étrangetés expérimentales seraient toujours reconnues comme telles. D'ailleurs, la superposition quantique (plusieurs chemins coexistent) et la non localité (un même événement aléatoire à deux endroits) sont d'ores et déjà exploitées dans des dispositifs permettant le cryptage des communications.

Parmi les remises en cause la plus « inadmissible » est probablement celle du « réalisme ». La physique classique est fondée en effet sur l'idée que toute entité physique a une existence indépendante de son environnement et de nos observations. C'est à cette idée « réaliste » de la physique qu'Einstein était farouchement attaché. L'expérience d'A. Aspect de 1982 avait pour but d'éprouver certaines interprétations de la physique quantique qui avaient une approche *à la fois réaliste et locale*. Les résultats ont montré que l'une au moins des deux hypothèses était fautive sans qu'il soit possible de conclure plus avant.

De fait, de nombreux physiciens – et c'est compréhensible – se sont rattachés à l'hypothèse réaliste et l'idée de non localité a été mise en avant.

Toutefois, les inégalités de Leggett, destinées cette fois à évaluer certaines interprétations de la physique quantique ayant une approche *à la fois réaliste et non locale*, ont été violées récemment par les expériences d'A. Zeilinger (2007). L'une au moins des deux hypothèses était donc fautive. Les théories à variables cachées non locales avaient déjà été ébranlées par l'expérience *before-before*. Pour leurs instigateurs, l'expérience *before-before* indique que les corrélations quantiques ont leurs racines *en dehors de l'espace et du temps*.

Ces données récentes montrent donc qu'en dépit du renoncement à l'hypothèse de localité, un coup sévère est maintenant porté à l'hypothèse de réalisme. En d'autres termes, si le monde existe tel qu'il est, c'est parce que nous l'observons... (ce qui ne signifie pas que nous le modelons selon nos désirs).

Si, comme nous l'avons fait tout au long de ce texte, nous faisons porter les contraintes de la logique quantique sur l'observateur, nous pouvons nous accommoder sans trop de dommages de l'abandon de l'hypothèse réaliste ; la logique quantique considère en effet qu'il n'existe pas de propriété absolue indépendante de l'observateur.

Le monde nous apparaît alors comme un *ensemble de relations* plutôt que comme une collection d'objets physiques indépendants. Or, souvenons-nous, le but de la science est d'établir des corrélations ; et *in fine* il y a toujours un observateur qui *compare* des résultats pour établir des corrélations.

Concernant la biologie, on ne peut que s'étonner de voir se perpétuer une démarche totalement ignorante de la nouvelle représentation du monde liée aux révolutions de la physique. En effet, pour la biologie contemporaine, l'univers est toujours cette grande boîte – l'espace – remplie de petits morceaux de matière – les atomes, les molécules – soumis à des forces mécaniques et électromagnétiques. Et c'est tout. De ce jeu de lego sont censés surgir les amibes, les dinosaures et les jeunes filles en fleur. Or, la physique moderne – la physique quantique – nous enseigne que cette image du monde est fautive. Non pas dépassée, mais fautive. Ainsi, lire *l'Introduction à l'étude de la médecine expérimentale de Claude Bernard* – publiée en 1865 – est toujours un plaisir. C'est toutefois un plaisir qui le dispute à l'amertume. La démarche du grand physiologiste n'a en effet pas pris une ride et tout biologiste contemporain n'y trouve rien à redire. N'est-ce pas un signe alarmant ?

Mais, après tout, diront certains, pourquoi changer une vision du vivant qui permet de remplir les bases de données de façon exponentielle et alimenter en abondance les revues scientifiques en nouveaux résultats ? Cette productivité n'est-elle pas un gage de vérité ? L'efficacité de la biologie contemporaine est

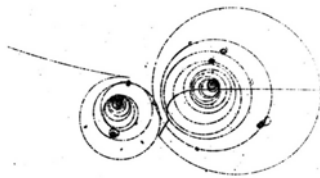
indéniable. Mais la pertinence scientifique peut-elle s'évaluer à l'aune de gigaoctets de mémoires informatiques ?

Un seul exemple de l'histoire des sciences devrait nous convaincre du contraire. L'astronomie de Ptolémée a régné pendant près de quinze siècles. Plaçant la terre au centre du cosmos, les astronomes devaient alors recourir à des artifices mathématiques complexes – les épicycles – pour expliquer le mouvement des astres. Ces outils mathématiques étaient nécessaires pour rendre compte – entre autres – du rebroussement du cheminement des planètes sur la voute céleste. Les prédictions des éclipses et autres phénomènes astronomiques s'avéraient satisfaisantes et tout allait donc pour le mieux. Le prix à payer était toutefois la complexité croissante des représentations des mouvements des corps célestes au fur et à mesure des nouvelles observations. Puis vinrent des astronomes audacieux qui eurent l'idée de placer le soleil au centre de notre système planétaire ; d'autres remplacèrent les trajectoires circulaires par des ellipses. Exit alors la notion d'épicycles et ses complications. Newton compléta le travail. Des ouvrages vénérables et volumineux compilant des masses de données furent alors abandonnés à la poussière au fond des bibliothèques. L'univers astronomique était devenu simple et élégant.

Les images sont trompeuses

Notre réticence à nous affranchir du réalisme est probablement liée à notre structuration cérébrale qui nous fait nous représenter le monde sous forme d'images. Ces images basées sur la logique classique ne fonctionnent plus dans un cadre quantique.

Le passage du monde microscopique à notre monde macroscopique peut être illustré par un exemple simple. On connaît ces images de trajectoires de particules obtenues autrefois grâce aux chambres à bulles. On pourrait penser qu'une particule élémentaire dont on met en évidence la trajectoire dans une chambre à bulle avait une position et une trajectoire bien définie avant de pénétrer dans cet appareil en y laissant sa trace curviligne.



(Photo CERN)

Pourtant, selon la physique quantique, avant de pénétrer dans cette chambre à bulles, cette particule n'avait qu'une probabilité de présence *sans trajectoire définie*. C'est *l'interaction* avec l'appareil de mesure qui est responsable de la « création » de cette trajectoire. À force de « voir » des trajectoires et de représenter les particules et les atomes comme de petites billes, nous avons fini par croire à leur existence. Bien que ce soit beaucoup moins aisé qu'avec les équations de la physique classique, la physique quantique permet aussi de calculer ces trajectoires telles qu'elles sont enregistrées dans des appareils de mesure. Comme l'explique E. Klein :

« On calcule, en utilisant les principes de la physique quantique, la probabilité que, du fait de leur interaction avec l'onde incidente, deux molécules contenues dans la chambre à bulle soient excitées (c'est le phénomène qui engendre l'apparition des bulles). Il s'avère que cette probabilité est extrêmement faible dans tous les cas, à l'exception de ceux où les deux molécules sont alignées parallèlement à la direction du faisceau de particules incidentes (on néglige dans un premier temps les effets du champ magnétique). Il est ensuite facile de généraliser : les molécules qui seront excitées par une même onde sont toutes alignées selon cette direction, créant ainsi la figure d'une trace rectiligne. »¹

La conclusion est donc, comme le suggère le même auteur, qu'« il faut se méfier de l'éloquence de certains petits faits : ils semblent parler d'eux-mêmes mais ne reflètent en réalité rien d'autre que nos propres grilles de lecture ». Les images offertes par les instruments de mesure peuvent être par conséquent trompeuses et nous ne devons pas perdre de vue qu'elles sont elles-mêmes une construction.

Que cherche à nous dire la physique quantique ?

Nous avons déjà vu qu'une qualité secondaire d'un objet est une qualité qu'un objet ne possède pas en propre mais en commun avec un observateur. L'exemple le plus classique est la couleur. Nous disons couramment que le ciel est bleu. Mais nous savons bien que « bleu » est une sensation qui n'appartient pas en propre au ciel. Des rayons lumineux d'une certaine longueur d'onde sont émis en direction de notre rétine et la stimulation des cellules spécialisées de cette dernière produit un influx nerveux avec un codage spécifique qui est interprété par notre cerveau par « couleur bleue ». Les couleurs que nous observons autour de nous sont donc « dans notre tête » et notre cerveau projette littéralement nos sensations sur le monde extérieur. Nous pouvons

¹ E. Klein. Petit voyage dans le monde des quanta, p. 130.

admettre le même raisonnement pour les odeurs, le chaud et le froid ou encore le toucher.

L'exemple de la vitesse est également classique. Nous avons l'habitude de dire que la vitesse d'un véhicule A est de 60 km/h sans autre précision. Cette affirmation nous est immédiatement intelligible, mais comme nous l'avons appris cette vitesse est toujours implicitement relative à un objet de référence, considéré comme « fixe », par exemple une borne au bord de la route. Par rapport à un véhicule B qui vient vers lui à la vitesse de 40 km/h (par rapport à cette borne), la vitesse du véhicule A par rapport au véhicule B est de 100 km/h. La vitesse n'est donc pas une qualité primaire, mais bien une qualité secondaire.¹ Cette vitesse de 100 km/h n'est pas une caractéristique du véhicule A, ni du véhicule B, mais du couple véhicule A-véhicule B.

La physique quantique étend cette notion bien au-delà et conduit à des notions difficiles à admettre pour le « bon sens ». En effet, pour la physique quantique, même les variables de position que le sens commun considère comme des variables primaires, c'est-à-dire appartenant en propre à l'objet, doivent être considérées comme des propriétés secondaires, dépendantes du contexte expérimental et de l'observateur. En effet, la physique quantique nous dit que les différents états possibles (dans le futur) d'un objet ou d'un dispositif expérimental doivent être également considérés comme des qualités secondaires. Ainsi, supposons une particule qui est placée au hasard par un dispositif quantique soit en A, soit en B. Avant l'observation de la position de la particule, nous ne pouvons affirmer la localisation en un endroit précis ; tout au plus peut-on parler de la probabilité d'être observée (en cas de mesure) à tel ou tel endroit. C'est la mesure par un observateur qui amène à la réalité (à notre réalité plus exactement) la position de la particule en A ou en B (au hasard).

La physique quantique n'est donc pas une physique des objets mais une *physique des événements* qui deviennent dès lors la seule réalité tangible de l'univers observable. On pourrait même dire que pour la physique quantique les relations entre les objets ont plus de réalité que les objets eux-mêmes ! Or, nous savons que si l'évolution d'un système a plusieurs issues, alors entrent en jeu les probabilités. C'est ici que nous commençons à comprendre ce que cherche à nous dire la physique quantique : *les probabilités sont, elles aussi, des propriétés secondaires.*

Nous devons préciser maintenant ce que l'on appelle libre choix dans le cadre de la physique quantique et définir les différentes étapes d'une observation.

¹ A l'exception notable de la vitesse de la lumière mais ceci une autre histoire...

Les deux libertés de choix

Lorsqu'une expérience est réalisée, on peut distinguer trois processus successifs.¹ Le processus 1 est la mise en place du dispositif qui va permettre d'interroger la Nature. Il consiste en une préparation constituée de l'objet quantique que l'on souhaite mesurer et d'un appareil de mesure qui couple l'objet quantique au monde macroscopique. Cet appareil de mesure peut être un instrument de physique comme un compteur Geiger, un détecteur de photons, un interféromètre, etc. mais ce peut être également l'œil de l'expérimentateur et son cerveau. Au cours du processus 1, l'expérimentateur a le *libre choix* du dispositif.

Le processus 2 est un principe d'évolution. Il résulte de la mise en œuvre de l'équation de Schrödinger. À partir des conditions initiales, le système évolue et l'équation de Schrödinger permet de calculer le nuage des mondes possibles qui en résultent. Cette évolution est locale et déterministe.

Le processus 3 est la réponse de la nature à la question initiale. Parmi les différents résultats possibles proposés par le processus 2, la Nature choisit *librement* le résultat que nous observerons.

Dans l'exemple du chat de Schrödinger, l'expérimentateur a la liberté d'imaginer et de construire un dispositif expérimental qui, par exemple, laisse le chat vivant avec une probabilité de 2/3 et conduit à un chat mort avec une probabilité de 1/3. La Nature est libre de répondre chat vivant ou chat mort dès lors que sur un grand nombre d'expériences les fréquences respectives 2/3 et 1/3 sont respectées.

Chaque réponse individuelle de la Nature, par exemple le « clic » (ou son absence) d'un compteur Geiger doit être considérée par conséquent comme une perception élémentaire, subjective. Cette perception est du même ordre que la perception d'une couleur. C'est une propriété commune à l'objet observé et à l'observateur. Ce que perçoit « réellement » une autre conscience nous est inconnu. Pour une « couleur » nous pouvons l'admettre assez facilement. Pour la réponse de la Nature (« clic ») à une question probabilistique, c'est nettement plus difficile à concevoir.

L'accord intersubjectif est la réalité du monde

Il n'y aurait donc que des qualités secondaires ? L'univers ne serait-il que subjectivité ? Serions-nous voués au solipsisme ?

¹ Selon Von Neumann (revu par Stapp).

Précisons à nouveau que les événements dont nous parlons sont des phénomènes élémentaires, c'est-à-dire des événements qui font l'objet d'une mesure, d'une observation ou d'une perception. Ainsi, il peut s'agir de l'impact d'un photon qui marque une plaque photographique après être passé par les deux fentes du dispositif de Young. Mais si nous répétons les expériences, que se passe-t-il ? En d'autres termes si nous additionnons un grand nombre de perceptions élémentaires, chacune étant un choix libre de la Nature (vis-à-vis de chacun des observateurs), alors les différents observateurs seront d'accord sur ce qu'ils observent : par exemple, la présence ou l'absence de franges d'interférence sur un écran, un chat de Schrödinger vivant dans la moitié des cas ou un dé (quantique) qui montre la face six dans un cas sur quatre (et qui par conséquent montre que le dé est pipé).

Nous sommes donc sauvés du solipsisme. Nous pouvons échanger avec d'autres consciences, mais ce que nous échangeons ce ne sont pas des perceptions isolées, mais des régularités statistiques, des équations mathématiques ou des formes générales. Les perceptions individuelles de ces autres consciences nous restent toutefois inaccessibles et seule la répétition des mesures donne un sens *communicable* aux observations. Les probabilités sont donc bien les pierres qui construisent l'édifice que constitue la physique quantique.

En résumé, chaque événement (quantique) individuel est subjectif car c'est *une propriété commune à l'observateur et à l'objet observé/mesuré* ; il peut être assimilé à une perception. Seule la répétition des expériences permet d'élaborer des lois objectives ; l'accord intersubjectif est la seule réalité objective du monde.

