

à propos de l'intrication quantique

1 Les corrélations quantiques à distance et instantanées

Il existe des corrélations quantiques à distance et instantanées dans un système quantique dit "intriqué". En outre ces corrélations ne sont pas explicables par des variables cachées.

Ces corrélations quantiques à distance, donnent naissance à des extensions philosophiques, qui font rêver parce qu'elles introduisent la non localité, l'ubiquité, elles détruisent sans appel tout ce qui ressemble au matérialisme, en ce sens elles situent la matière non plus dans l'espace-temps, mais dans un domaine relevant seulement de la pensée. Elles prennent à revers toute la philosophie des sciences antérieure, en s'appuyant sur une proposition scientifique, reconnue, acceptée, ce qui est imparable.

Le rapprochement des deux mots, instantané et à distance, fait naître une inquiétude que la force d'une expérience ne peut occulter complètement.

Nous allons faire voir cette expérience sous un jour nouveau. Auparavant il conviendrait de la décrire telle qu'on la voit aujourd'hui.

On sépare un objet en deux parties A et B, d'une certaine façon, disons par un "choc", et du fait du mode opératoire, les deux parties sont "intriquées" au sens suivant : Chaque partie possède, à tout instant, une propriété, disons sa "couleur", rouge ou bleu, qu'on peut révéler, une seule fois, à tel ou tel instant ultérieur au choc, par une observation. La couleur de A semble commander la couleur de B, quelle que soit la distance séparant A de B à l'instant de l'observation. Il y a une corrélation à distance, instantanée, entre les couleurs de A et de B, corrélation susceptible d'être expliquée par l'existence d'une variable cachée.

Ces observations peuvent être multipliées convenablement et les résultats doivent vérifier certaines inégalités, découvertes par Bell, si les corrélations s'expliquent par des variables cachées. Or l'expérience réalisée montre que ces inégalités ne sont pas vérifiées, donc, qu'il n'existerait pas de variables cachées. La corrélation, instantanée et à distance, à défaut de variable cachée, devient mystérieuse.

En bref, la nature fait apparaître des corrélations instantanées et à distance et ces corrélations ne peuvent pas s'expliquer par l'existence de variables cachées, c'est

le résultat de l'expérience. Pour expliquer ce qu'on observe, il faut envisager l'inimaginable, par exemple, qu'une information puisse être transmise en un temps nul, ou même négatif, c'est à dire que la nouvelle de tel évènement vous soit apportée avant même que cet évènement se soit produit.

Les inégalités de Bell sont correctement établies, l'expérience est bien conduite, son résultat direct est une vérité en tant que fait d'expérience.

S'il y a une erreur, où est elle ?

Notre première remarque est celle ci :

Ces expériences visent à montrer une corrélation entre deux particules corrélées par une préparation à cet effet. Cependant le caractère corrélé est un "spin" et personne ne sait ce qu'est un "spin". On sait se servir du spin, de manière concrète et utile, par exemple en imagerie médicale et en informatique, mais on ne sait pas ce que c'est.

Etant donné le caractère un peu surprenant de cette affirmation, nous allons l'appuyer par un argument. On peut poser un objet ordinaire sur une table, l'observer, le photographier, puis faire un tour complet autour de la table, et l'observer à nouveau, l'objet n'a pas changé, ses traits, son aspect, sa taille, sa nature, n'ont pas changé. Si cet objet est un spin, il a changé ! Si vous êtes intrigué par ce changement et que vous faites un deuxième tour autour de la table, le spin change encore mais pour reprendre son aspect initial.

Nota : Cet aspect du spin est signalé par Weinberg, c'est là que nous l'avons vu nous même pour la première fois, parce que nous avons pris connaissance de la relativité générale dans un traité de Weinberg avant de nous intéresser à la mécanique quantique.

En bref, si on pose qu'un caractère d'un objet est invariant pour l'observateur qui fait un tour complet autour de l'objet entre deux observations, alors le spin n'est pas un caractère d'un objet. Il ressemble davantage à une particularité du mouvement d'un objet, peut-être l'issue d'un mouvement dans tel environnement.

Lorsqu'on décrit un individu sur une fiche d'identité, on note, sa taille, la couleur des yeux, la forme du visage, le profil du nez, *etc*, mais on n'indique pas un trait majeur, bonne santé ou mauvaise santé, parce que la santé d'un individu, bonne ou mauvaise, n'est pas un caractère statique comparable en nature à la couleur des yeux.

Il existe un peu le même genre de relations entre un caractère associé à une particule, sa masse par exemple, et le spin associé aussi à cette particule.

Dans le même ordre d'idées, le poids d'un pain, 400 grammes pour une baguette, deux kilogrammes pour un pain de campagne est un caractère qui n'est pas de même catégorie que le caractère éventuellement rassis de ce pain. Le caractère rassis tient à l'histoire du pain, sa trajectoire depuis la sortie du four, son emballage, l'humidité de l'air, et il est en rapport, par le temps qui passe, à la fois avec le boulanger qui l'a cuit et avec le client qui le mange.

Le vocabulaire retenu n'a pas de conséquence directe sur l'exploitation de la mécanique quantique. Cette dernière fait appel à des amplitudes de probabilité et en déduit des probabilités. Les vocables utilisés pour dénommer divers intermédiaires

de calcul n'ont aucune importance. Ils ont été choisis, plus ou moins heureusement, par commodité mnémotechnique, mais comme le suggérait Hilbert, on peut construire une géométrie satisfaisante en désignant la droite par le mot table et le point par le mot chaise. Le spin est un caractère de l'état d'un système, rien d'autre. Ce caractère peut être un mouvement, ou un trait particulier d'un mouvement telle la face que présente un dé après avoir roulé, ou encore la face que présentait le dé dans la main du lanceur avant d'avoir roulé. Quant à l'état d'un système, c'est un élément d'un ensemble, l'élément repéré par une observation, observation qui met en jeu un intervalle non nul de l'espace temps.

Peut on faire usage des inégalités de Bell lorsque le caractère corrélé est un spin ?

Nous allons présenter une analyse pas à pas de la corrélation quantique entre les spins de deux particules préparées à cet effet. Par commodité, nous retenons des particules macroscopiques bien visibles et nous les désignons comme il nous plaît, mais nous les traiterons conformément aux règles de la mécanique quantique.

Notre particule est dite "écu". Elle se présente comme une pièce de monnaie affichant sur chaque face une valeur de spin. Le spin a donc deux valeurs, disons la valeur un euro inscrit sur la face avers et la valeur un dollar inscrit sur la face revers. (C'est une pièce à taux de change fixe comme celles qui ont été en usage tout au long du 19^{ème} siècle.).

Lorsque la pièce tourne rapidement sur une table autour d'un de ses diamètres, elle ressemble à une sphère d'égal diamètre et on ne peut pas lire les valeurs de spin inscrites sur chaque face. Efforçons nous d'imaginer que la pièce en mouvement est dans l'état habituel, tandis que la pièce posée à plat serait dans un état exceptionnel. Lorsque l'observateur lance sa pièce en mouvement tourbillonnant sur sa table bureau, elle tourbillonne longtemps, s'il part en voyage durant trois mois, elle tourbillonne encore à son retour. S'il part en voyage après avoir couché la pièce, il la retrouve encore tourbillonnante à son retour parce que la femme de ménage l'a relancée entre temps.

Préparons deux pièces dans un état intriqué. Pour ce faire, on pose à plat, l'une à côté de l'autre, les deux pièces sur une table. Les pièces sont indiscernables et on distingue deux positions, disons la position corrélée, si les deux pièces affichent la même valeur de spin, la position anticorrélée si les deux pièces n'affichent pas la même valeur de spin.

Les pièces posées à plat tendent à s'éloigner l'une de l'autre en glissant lentement sur la table.

Considérons deux pièces ainsi préparées, corrélées, et pour lesquelles on ne sait pas quelle est la valeur de spin affichée parce que le préparateur est parti. L'observateur s'approche de l'une des pièces, l'éclaire avec un luminaire, et lit la valeur de spin affichée, disons un euro. Cette lecture, est, en mécanique quantique, la réduction du paquet d'onde. Elle intervient dans un intervalle de temps, celui de l'éclairage de la pièce. En vertu du principe d'incertitude, si la pièce de monnaie est éclairée trop

brèvement, la lecture est hasardeuse. Une fois la lecture faite, l'observateur pose la pièce sur la table, sur une face ou sur une autre, ou bien lui imprime un mouvement tourbillonnant. Pour vérifier le travail de son préparateur, l'observateur s'approche de l'autre pièce, l'éclaire et, surprise, il lit un dollar alors qu'il s'attendait à lire un euro. Une enquête des plus simples lui révèle que quelqu'un est entré dans son bureau et a touché les pièces. Toute influence du milieu extérieur à la table et aux pièces met fin à l'intrication.

Tant que personne ne pénètre dans le bureau de l'observateur, les corrélations persistent et elles sont parfaites.

Préparer les deux pièces dans un état intriqué, ce n'est pas relever des valeurs de spin, ce n'est pas déplacer les pièces, ce n'est pas agir sur les pièces en tant que telles, les rogner par exemple, c'est agir sur leur mouvement, c'est faire cesser leur état habituel tourbillonnant et les mettre dans l'état exceptionnel des seuls mouvements glissant sur la table.

Il est certainement possible de distinguer dans les mouvements d'une particule deux types distincts de mouvements, l'un dit glissant, l'autre dit tourbillonnant. Des particules intriquées sont toujours en mouvement glissant tandis que des particules isolées sont soit en mouvement glissant soit en mouvement tourbillonnant.

L'incidence du milieu extérieur est telle que le mouvement tourbillonnant apparaît comme stable et le mouvement glissant comme instable.

Une particule intriquée est, en ce sens, dans un état instable.

Le spin est un caractère qui ne peut être relevé qu'en forçant la particule vers un mouvement glissant. Les particules intriquées sont déjà dans ce mouvement glissant avant même qu'on ne relève leur spin. Ainsi le spin qu'on relève est celui qu'elles avaient au moment où elles ont été préparées dans l'état intriqué.

Si le spin est un concept correspondant à ce que nous venons de présenter, l'appel aux inégalités de Bell est sans objet, les corrélations quantiques, instantanées et à distance, issues de l'intrication de particules indiscernables, deviennent évidentes. Il n'existe aucune variable cachée.

La classification des mouvements de particules n'est pas un problème facile et cette classification est dominée, à notre avis, par l'incidence du nuage universel de particules ténues sur tous les mouvements. On peut explorer cette voie pour préciser davantage le concept de spin, tel qu'il se manifeste dans les propriétés atomiques. Classification des mouvements ou interprétation du spin, c'est le même problème.

Remarque : Lorsqu'on retient le spin comme un caractère d'un objet matériel, l'existence de corrélations quantiques à distance et instantanées mises en évidence expérimentalement, suggère une révision du concept de matière ou d'objet, afin par exemple, d'introduire l'ubiquité de la matière. Ces prémisses orientent les philosophes, tels Bernard d'Espagnat, vers diverses conclusions qu'ils présentent comme issues d'une vérité physique scientifique. La plupart des physiciens n'adhèrent pas à ces

vues, suspectes, sinon fausses, parce que le résultat d'expérience est extrapolé au delà de ce qu'autorisent les prémisses. La physique se borne à proposer une estimation de probabilité d'un événement observable. Elle ne peut pas cautionner les déductions issues d'un processus aléatoire qu'elle ignore, hors cette seule estimation de probabilité. L'erreur d'interprétation, par le philosophe, du modèle descriptif quantique des phénomènes observables, a été induite par l'assimilation du spin à une propriété statique d'une particule alors que c'est certainement une propriété liée à la classification des mouvements de particules.

2 nature du photon

Nous avons présenté dans ce qui précède la tentative d'explication des aspects mystérieux de l'intrication quantique que nous imaginions avant d'avoir compris quelle était la nature d'une particule d'interaction telle que le photon. Nous savons aujourd'hui que le photon est une information caractérisant une certaine diminution du désordre des particules du nuage universel, un éther discret, un milieu de propagation des ondes électromagnétiques, de la force gravitationnelle et des ondes gravitationnelles. De même qu'une température n'est qu'une information statistique sur l'agitation de divers atomes, le photon n'est qu'une information (multidimensionnelle et non pas scalaire comme une température), le photon n'a pas d'existence physique, ce sont les particules du nuage universel, des neutrinos vraisemblablement, qui ont une existence physique.

Les expériences qui mettent en évidence l'intrication entre photons distants de 100 kilomètres ou même davantage n'ont rien de mystérieux, puisque les photons ne sont que des informations relatives à une diminution du désordre des particules de l'éther.

Il n'est pas inutile de dire quelques mots d'une application en projet des corrélations quantiques, à savoir l'ordinateur quantique.

3 l'ordinateur quantique

Ce terme d'ordinateur est quelque peu trompeur car cette application est orientée vers une fin particulière, la découverte des diviseurs d'un nombre, égal lui-même au produit de deux nombres premiers, grands. L'ordinateur au sens usuel, celui du commerce, est un outil bien moins spécialisé, il est capable entre autres performances de découvrir les diviseurs d'un nombre, mais il serait battu sur ce point, en rapidité, par l'ordinateur quantique.

Ceux qui imaginent pouvoir changer un jour leur ordinateur digital contre un ordinateur quantique se trompent lourdement.

L'utilité propre de l'ordinateur quantique sera toujours assez mince et si nous en disons quelques mots, ce n'est pas pour ses mérites propres, c'est parce qu'il se relie à l'existence des corrélations quantiques à distance.

Rappelons pour mémoire que c'est Feynman, qui le premier, a suggéré, qu'une corrélation quantique était susceptible d'être exploitée afin de découvrir des relations arithmétiques, en bref qu'elle pourrait épauler une machine à calculer et c'est Peter Shor qui a établi le mode d'emploi.

Rappelons aussi que les corrélations quantiques à distance ne constituent nullement une exception au principe d'incertitude de Heisenberg.

Distinguer un nombre entier grand du nombre voisin inférieur ou supérieur, est aisé *via* une représentation arithmétique des nombres, mais difficile *via* une mesure d'une grandeur physique quelconque, mesure d'un état quantique, comprise.

Nota : Imaginons un ruban de cent kilomètres de long et coupons à l'extrémité une longueur de un centimètre. On demande à un expert de mesurer le ruban et de déceler par cette mesure si on a coupé ou non un centimètre. Un grand nombre, c'est la longueur en centimètres d'un ruban qui relierait la terre à un astre lointain.

De même qu'une simple feuille de papier buvard peut constituer un modèle analogique de l'hydrodynamique des fluides dans un milieu poreux et perméable, l'ordinateur quantique sera peut-être un jour un modèle analogique de relations arithmétiques, modèle imparfait et donc de peu d'utilité pour le calcul sur des grands nombres.

Notre opinion personnelle est que les ordinateurs analogiques seront toujours inférieurs aux ordinateurs digitaux parce que le nuage universel de particules ténues est un environnement qui compromet fondamentalement l'exactitude rigoureuse de toute mesure corrélée avec d'autres mesures.

4 Proposition

Faisons l'hypothèse qu'il existe un nuage universel de particules ténues, disons "ultramondaines", en souvenir de Lesage, le premier à avoir formulé ce genre d'hypothèse. Cette hypothèse permet de lever quelques voiles sur les mystères naturels.

C'est ce nuage de particules ultramondaines qui engendre le principe d'incertitude de Heisenberg.

C'est ce nuage perturbateur de tout mouvement en son sein qui exclut des corrélations quantiques à distance sans limite. Dans un espace vide, il n'y a pas de limite à un mouvement, mais l'espace vide n'existe pas.

Le principe de relativité a signé la fin de l'éther ; le nuage universel de particules ultramondaines n'est pas seulement un nouvel éther, c'est aussi et surtout l'univers de Mach (ou le champ de Higgs).

Le Marquis de Laplace a su exprimer mieux que quiconque la confiance inspirée par le déterminisme :

Nous devons envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui, pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle et l'avenir comme le passé serait présent à ses yeux.

On écarte aujourd'hui cette vue en raison de la découverte d'un hasard fondamental, installé confortablement, pour sa commodité, dans le paradigme qui a remplacé la logique et introduit la magie.

Le nuage universel de particules ultramondaines permet d'entrevoir comment écarter la magie, certes au prix d'une complexité si vaste du milieu naturel que l'action de la nature, dans le détail le plus fin, nous échappera toujours. On ne compte pas les grains de sable d'une plage sans cesse battue par les flots, dans un déferlement chaotique.

Si, par une extension quelque peu abusive, chacun de nous est comme un grain de sable, nous sommes incapables et nous resterons toujours incapables de découvrir par la science une raison d'être à chaque grain de sable, un sens à notre vie.

Cependant, la physique ignore aujourd'hui ce qu'est la pensée, et il ne convient pas d'attendre d'elle une réponse dans les domaines ouverts davantage à la pensée qu'à l'observation.

Paris, le 19 mars 2010, revu le 19 juillet 2017, R. L. Charreton