

MECANIQUE QUANTIQUE ET REALITE

par Albert EINSTEIN

(Ce texte, que nous reproduisons avec l'autorisation des Editions du Seuil, est extrait de la Correspondance Einstein-Born 1916-1955, pp. 185-188, Seuil, Paris, 1972 ; il était joint à une lettre d'Einstein datée du 5-4-1948 et a été, par la suite, publié dans la revue Dialectica, II, p. 320, 1948).

Je me propose dans ce qui suit d'exposer brièvement les raisons pour lesquelles la méthode utilisée par la mécanique quantique ne me semble pas satisfaisante dans son principe. Je dois noter tout de suite qu'il n'est pas dans mon intention de nier que cette théorie constitue un progrès important, voire définitif en un certain sens, dans la connaissance du monde physique. J'imagine que cette théorie sera incluse un jour dans une autre, un peu comme l'optique géométrique est englobée dans l'optique ondulatoire : les relations demeureront, mais les bases seront approfondies ou remplacées par d'autres plus larges.

I - Imaginons une particule libre décrite à un instant t par une fonction ψ (au sens de la mécanique quantique) limitée dans l'espace ; en vertu de cette description, la particule n'est pas localisée précisément et n'a pas de quantité de mouvement déterminée avec précision.

Dans quelle mesure puis-je considérer que cette description représente un fait individuel réel ? Deux points de vue me semblent possibles et concevables, que nous allons comparer :

a) La particule (libre) a réellement une position précise

et une quantité de mouvement précise, même si elles ne peuvent être déterminées en même temps, pour le même cas individuel, par une mesure. Si on adopte cette conception, la fonction ψ donne une description incomplète d'un phénomène réel.

Cette conception n'est pas celle qu'adoptent les physiciens. L'adopter signifierait pour eux s'efforcer d'établir, en plus des descriptions incomplètes, une description exhaustive du phénomène et chercher les lois correspondant à cette description. Ce serait faire éclater le cadre théorique de la mécanique quantique.

b) La particule n'a en réalité ni position déterminée ni quantité de mouvement déterminée ; la description qu'en donne la fonction ψ est incomplète par son principe même. La position précise de la particule que j'établis par une mesure locale ne peut être interprétée comme la position qu'occupait la particule avant la mesure. La localisation précise qui intervient lors de la mesure n'est produite que par l'intervention inévitable (non négligeable) de la personne qui mesure. Le résultat de la mesure dépend non seulement de la situation réelle de la particule, mais aussi de la nature, incomplètement connue dans son principe, du mécanisme de la mesure. Il en est de même quand on mesure la quantité de mouvement ou toute autre grandeur observable concernant la particule. Telle est actuellement l'interprétation que préfèrent les physiciens ; et il faut avouer qu'elle seule rend compte de façon naturelle, dans le cadre de la mécanique quantique, de l'état de choses empirique exprimé par le principe d'Heisenberg.

Selon cette conception, deux fonctions ψ différentes (pas seulement au sens banal) décrivent toujours deux situations réelles différentes (par exemple, la particule de position déterminée ou de quantité de mouvement déterminée).

Ce que je viens de dire vaut mutatis mutandis pour la description de systèmes constitués de plusieurs masses ponctuelles. Là encore, nous admettons (au sens de l'interprétation Ib) que la fonction ψ décrit exhaustivement un phénomène réel et que deux fonctions ψ (essentiellement) différentes décrivent deux phénomènes réels différents, même si elles peuvent conduire, quand on entreprend une mesure complète, à des résultats concordants ; la concordance des résultats de la mesure est, dans ce

cas, attribuée en partie à l'action partiellement inconnue de la mesure.

II - Si l'on se demande ce qui est caractéristique du monde physique des idées, indépendamment de la théorie quantique, la première réponse est celle-ci : les concepts physiques se réfèrent à un monde extérieur réel, c'est-à-dire qu'on pose des idées de choses (corps, champs, etc.) qui revendiquent une "existence réelle" indépendante du sujet qui les perçoit, et ces idées sont mises en relation (la plus sûre possible) avec les impressions des sens. Une autre caractéristique de ces choses physiques est qu'elles sont envisagées comme intégrées à un continuum espace-temps. Il semble également caractéristique de cette intégration des choses étudiées par la physique qu'à un certain instant ces choses revendiquent une existence autonome, dans la mesure où ces choses "se trouvent en diverses régions de l'espace". Sans cette hypothèse, provenant en premier lieu de la pensée quotidienne, d'une existence indépendante (un "être-ainsi") des objets distincts dans l'espace, la pensée physique ne serait pas possible au sens où nous l'entendons. On ne voit pas davantage comment les lois physiques pourraient être formulées et vérifiées sans cette distinction nette. La théorie du champ a poussé ce principe à l'extrême en localisant dans les éléments de l'espace infiniment petits (en quatre dimensions) les objets élémentaires, existant indépendamment l'un de l'autre, qui en sont le fondement, ainsi que les lois élémentaires élaborées pour eux.

L'indépendance relative des objets (A et B) distincts dans l'espace se traduit par le principe suivant : une intervention extérieure sur A n'a pas d'effet immédiat sur B : il est connu sous le nom de "principe d'action de proche en proche" et n'est appliqué avec conséquence que dans la théorie ondulatoire. La suppression complète de ce principe rendrait caduque l'idée de l'existence de système (quasi) clos et impossible, au sens où nous l'entendons, l'élaboration de lois empiriquement vérifiables.

III - Or je prétends que la mécanique quantique, interprétée conformément au paragraphe Ib, n'est pas compatible avec le principe II.

Considérons un système physique S_{12} composé de deux systèmes partiels S_1 et S_2 . Ces deux systèmes partiels peuvent avoir été précédemment en interaction physique, mais à l'instant où nous les considérons, cette interaction est terminée. Soit le système total complètement décrit, au sens de la mécanique quantique, par la fonction ψ_{12} des coordonnées $q_1 \dots$ ou $q_2 \dots$ des deux systèmes partiels (ψ_{12} ne peut être considérée comme un produit de forme $\psi_1 \psi_2$, mais seulement comme une somme de ces produits).

Soit les deux systèmes partiels séparés dans l'espace à l'instant t , de sorte que ψ_{12} n'est différent de 0 que si les $q_1 \dots$ appartiennent à une région limitée R_1 de l'espace et les $q_2 \dots$ à une région R_2 distincte de R_1 .

Les fonctions ψ de chaque système partiel S_1 et S_2 sont donc inconnues a priori ou même n'existent pas du tout.

Les méthodes de la mécanique quantique permettent cependant de déterminer ψ_2 (de S_2) à partir de ψ_{12} si l'on a effectué en outre, dans le système partiel S_1 , une mesure complète au sens de la mécanique quantique. On obtient ainsi, au lieu de ψ_{12} de S_{12} , la fonction ψ_2 du système partiel S_2 .

Mais dans cette détermination, il est essentiel de savoir quelle sorte de mesure complète au sens quantique on effectue sur le système partiel S_1 , c'est-à-dire quelle sorte de grandeur observable nous mesurons. Si, par exemple, S_1 est une particule unique, il est indifférent que nous mesurons sa position ou sa quantité de mouvement. Selon le choix que nous avons fait, nous obtenons des descriptions différentes de ψ_2 : selon le choix de la mesure effectuée sur S_1 , il résulte différentes prédictions (statistiques) quant aux mesures effectuées ultérieurement sur S_2 . Dans l'optique de l'interprétation Ib, cela signifie que le choix de la mesure complète sur S_1 produit

différentes situations réelles en S_2 , qui sont décrites par différentes fonctions $\psi_2, \underline{\psi}_2, \underline{\underline{\psi}}_2$, etc.

Du seul point de vue de la mécanique quantique, cela n'est pas un obstacle. Selon le choix particulier de la mesure effectuée sur S_1 , on crée effectivement des situations réelles différentes et on ne peut pas se trouver face à la nécessité d'attribuer en même temps au même système S_2 deux ou plusieurs fonctions ψ différentes : $\psi_2, \underline{\psi}_2$, etc.

Il en va cependant autrement si l'on veut s'en tenir à la fois aux principes de la mécanique quantique et au principe II, qui proclame l'existence autonome du phénomène réel présent dans deux portions séparées de l'espace, R_1 et R_2 . Dans notre exemple, la mesure complète effectuée sur S_1 constitue en effet une intervention physique qui ne concerne que la portion R_1 de l'espace. Mais une telle intervention ne peut pas agir immédiatement sur la réalité physique d'un objet situé dans une portion R_2 éloignée de l'espace. Il s'ensuivrait que tout énoncé à propos de S_2 auquel nous pouvons parvenir à l'aide d'une mesure complète sur S_1 doit être valable pour le système S_2 même si aucune mesure n'a été effectuée sur S_1 . Cela signifierait que tous les énoncés sont valables à la fois pour S quand ils peuvent être déduits de ψ_2 ou de $\underline{\psi}_2$, etc. C'est évidemment impossible quand $\psi_2, \underline{\psi}_2$, etc., doivent décrire les états de S_2 réels et différents : on est donc en conflit avec l'interprétation Ib de la fonction ψ .

Il ne semble pas faire de doute que les physiciens qui tiennent la description donnée par la mécanique quantique pour définitive en son principe réagiront à ces considérations de la façon suivante ; ils laisseront tomber l'exigence II d'une existence autonome de la réalité physique présente en différentes portions de l'espace ; ils peuvent invoquer à bon droit le fait que la théorie quantique ne fait nulle part explicitement usage de cette exigence.

Dont acte, mais je note ceci : lorsque je considère les phénomènes physiques que je connais, y compris ceux que la mécanique quantique a étudiés avec tant de succès, je ne trouve nulle part de fait qui me fasse paraître vraisemblable que l'on veuille abandonner l'exigence II. Aussi suis-je enclin à croire que, en vertu de Ia, l'on doit considérer la description donnée par la mécanique quantique comme une description incomplète et indirecte de la réalité, destinée à être remplacée plus tard par une description exhaustive et directe.

On devrait à mon avis, quand on cherche une base unitaire à l'ensemble de la physique, se garder de toute façon de s'en tenir dogmatiquement au schéma de la théorie actuelle.