
PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Sur le problème quantique et classique, de l'irréversibilité.* Note de M. OLIVIER COSTA DE BEAUREGARD, présentée par M. Louis de Broglie.

Symétrie complète entre la prédiction et la rétrodictio n quantiques. Objectivité de l'irréversibilité macroscopique.

La symétrie complète entre la prédiction et la rétrodictio n quantiques utilisant respectivement l'onde retardée et l'onde avancée associées à la fonction propre fournie par une mesure, est visible sur les formules données par Fock (1), tout en restant quelque peu implicite dans le texte qui les accompagne; récemment, elle a été niée par Watanabé (2). Nous voulons montrer ici qu'elle est en fait totale; pour élargir notre audience, nous allons raisonner en termes de la théorie quantique prérelativiste.

L'évolution naturelle d'un système décrit par une fonction d'onde $\psi(q, t)$ est régie par l'une ou l'autre des équations équivalentes

$$(1) \quad \begin{cases} \psi(q, t_2) = U(t_2, t_1)\psi(q, t_1), \\ \psi(q, t_1) = U^{-1}(t_2, t_1)\psi(q, t_2) \equiv U(t_1, t_2)\psi(q, t_2); \end{cases}$$

U est un produit d'opérateurs unitaires différentiels qui, si l'hamiltonien dépend du temps t , ne commutent pas entre eux; t_1 étant fixée et t_2 variant, $\psi(t_2)$ est une onde retardée pour $t_2 > t_1$ et une onde avancée pour $t_2 < t_1$.

Supposons qu'à l'instant $t = 0$ l'on mesure une grandeur R , et qu'on trouve la valeur propre r_j (supposée, pour abrég er, simple et discrète) et la fonction propre normée η_j . Supposons aussi qu'à un instant antérieur $t < 0$ l'on ait mesuré une grandeur S , mais que le résultat de la mesure ait été perdu: que peut-on savoir, du fait de la mesure actuelle, sur les poids statistiques des diverses valeurs possibles s_i de S , supposées simples et discrètes?

Transportons-nous en pensée à l'instant passé $t < 0$, et imaginons que la mesure S ait fourni le résultat s_i et la fonction propre normée ζ_i . Si, alors, on décide de mesurer ultérieurement, au temps 0, la grandeur R , la probabilité

(1) *C. R. Acad. Sc. U. R. S. S. (Doklady)*, 60, 1948, p. 1157-1159.

de prédiction de la valeur r_j sera, en vertu des règles classiques,

$$(2) \quad \varpi(r_j, s_i) = |(\eta_j, U(o, t)\zeta_i)|^2;$$

j restant fixée, et i prenant alternativement ses différentes valeurs, nous avons ainsi les poids de prédiction de la valeur r_j respectivement associés à chaque résultat possible de la mesure S. Or, en vertu des propriétés des systèmes orthonormés, l'on a

$$(3) \quad \sum_i \varpi(r_j, s_i) = 1.$$

Revenons alors à notre problème de probabilité des causes. En vertu α , du principe de l'égalité *a priori* des cas possibles, β de la normalisation correcte assurée par la formule (3), $\varpi(r_j, s_i)$ représente aussi la probabilité de rétrodiction de la valeur s_i de S en fonction de la valeur actuelle r_j de R. Or, (2) s'écrit équivalentement

$$(4) \quad \varpi(r_j, s_i) = |(U(t, o)\eta_j, \zeta_i)|^2,$$

ce qui est la forme trouvée par application à l'onde avancée des règles valables pour l'onde retardée. C. Q. F. D.

Il résulte de ce qui précède que la source de l'irréversibilité de la mesure quantique analysée par von Neumann⁽²⁾ réside entièrement dans l'utilisation des ondes retardées et l'exclusion des ondes avancées : si, après la dernière d'une suite de mesures ordonnées dans le temps, exécutées sur un collectif de von Neumann, on prend connaissance des résultats dans l'ordre rétrograde, on démontre l'existence d'une irréversibilité à rebours⁽⁴⁾ dans le temps objectif, qui a pourtant le sens habituel pour les instants où s'accroît la connaissance de l'observateur. Sur ce point, nous nous retrouvons d'accord avec M. Watanabé.

Nous le sommes encore pour déclarer que les calculs de la théorie ergodique, à base classique ou quantique, fournissent une irréversibilité à rebours lorsqu'on les applique à la rétrodiction, évolution qui a pourtant subjectivement le sens habituel. Pourtant, nous ne pouvons suivre M. Watanabé lorsqu'il pense que l'irréversibilité *macroscopique* a une source purement subjective, car s'il est un domaine où la validité de la notion d'*objectivité* soit incontestable, c'est bien la physique macroscopique. Nous pensons personnel-

(2) *Phys. Rev.*, 84, 1951, p. 1008-1025; *Rev. de métaph. et de mor.*, n° 2, 1951, p. 128-142; L. DE BROGLIE, *Physicien et penseur*, Paris, 1952, p. 385-400.

(3) *Fondements mathématiques de la mécanique quantique*, Paris, 1946, chap. III, IV, V.

(4) *Rev. Quest. Sc.*, avril 1952, p. 171-199; L. DE BROGLIE, *Physicien et penseur*, p. 401-412.

lement (*) qu'il existe un lien organique entre les deux lois de l'*entropie croissante* et des *actions retardées*, et que l'une et l'autre traduisent une même propriété accidentelle de l'univers global, celle d'être, aux temps qu'atteint la science expérimentale, au voisinage d'une fluctuation de l'entropie. Pour nous, la flèche psychologique du temps serait le reflet subjectif de cette dissymétrie objective; et si, comme le dit M. Watanabé, c'est bien la flèche psychologique du temps qui entraîne l'irréversibilité quantique de Von Neumann, nous préciserons que c'est parce que l'observateur et l'appareillage sont engagés dans le devenir macroscopique.

(Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*,
t. 236, p. 277-279, séance du 19 janvier 1953.)