

~~A une époque~~
Olivier Costa

1953-3

MÉCANIQUE QUANTIQUE. — *Une réponse à l'argument dirigé par Einstein, Podolsky et Rosen* (1) *contre l'interprétation bohrienne des phénomènes quantiques*. Note de M. OLIVIER COSTA DE BEAUREGARD, présentée par M. Louis de Broglie.

Le paradoxe d'action à distance dénoncé par Einstein (1) est en réalité un paradoxe de causalité *avancée*. Impossibilité, sur ce point, de mettre en défaut l'interprétation bohrienne de la théorie quantique.

Voici un exemple tout aussi paradoxal, à première vue, que celui d'Einstein (1), dans l'interprétation bohrienne de la Mécanique quantique. Dans l'idéal *microscope de Heisenberg* (2) la mesure consiste en la réception d'un photon en un point du plan image, II; de là l'on déduit rétroactivement soit le lieu d'émission de ce photon dans le plan-objet, I (grande ouverture du faisceau), soit la valeur initiale de son impulsion transversale (petite ouverture du faisceau), soit un compromis entre ces cas extrêmes (ouverture moyenne du faisceau); pour fixer les idées, l'on peut imaginer que l'ouverture du faisceau est déterminée par un diaphragme réglable appartenant au système oculaire. Le paradoxe est alors le suivant : si l'on admet la thèse bohrienne, suivant laquelle l'opération de mesure contribue activement à déterminer le résultat de la mesure, l'on est *obligé* d'admettre que la mesure effectuée dans le plan-image II contribue *activement* à fixer la position, ou l'impulsion, qu'avait le photon dans le plan-objet I, *et même les grandeurs correspondantes pour l'électron diffuseur*; il s'agirait là, proprement, d'un phénomène de *causalité avancée*, remontant le cours du temps, et entrant en conflit direct avec l'idée, suggérée par l'expérience macroscopique, qu'un événement passé est devenu intangible. Après la période durant laquelle est intervenue la diffusion Compton, on dispose en principe d'un certain temps pour régler le diaphragme oculaire de champ, c'est-à-dire pour choisir laquelle des deux grandeurs incompa-

(1) *Phys. Rev.*, 47, 1935, p. 777-780.

(2) *Principes physiques de la théorie des quanta*, Paris, 1932, p. 15-18.

tibles, position ou impulsion, l'on désire connaître pour l'électron diffuseur; alors, il y a incompatibilité absolue entre l'idée traditionnelle d'après laquelle le choc, en tant qu'événement passé, est devenu intangible, et l'idée bohrienne d'après laquelle l'opération de mesure contribue activement à *déterminer* le résultat de la mesure; tout le poids de l'argument d'Einstein (1) est ainsi transporté du paradoxe de la *causalité immédiate à distance* à la *causalité rétroactive*.

Le point important est qu'*aucune expérience appartenant à l'actuel domaine quantique ne peut mettre en défaut le schéma bohrien sur sa conséquence ici mise en évidence*. Si l'on fait fonctionner le microscope à rebours (« retour optique inverse »), la précédente causalité avancée se transforme en causalité retardée classique, aisément admise par les habitudes du bon sens : dans le plan I, il existe, de manière bien définie, une mesure compatible avec la mesure effectivement faite en II (émission d'un photon d'un point bien déterminé); que la mesure I soit faite ou non n'a aucune importance, son résultat est connu d'après celui de la mesure II. *Mais le même argument vaut pour sauvegarder la causalité avancée dans le cas primitif de sorte que, dans l'actuel état des connaissances, un éventuel rejet du schéma bohrien sur la base du précédent argument constitue une option proprement métaphysique*.

En fait, il existe une très étroite connexion entre le paradoxe d'Einstein (1) et celui que nous venons de mettre en lumière. Dans le texte d'Einstein, la mesure effectuée sur le système I « crée », selon le schéma bohrien, une *onde de rétroaction*, qui est en même temps une *onde de rétroaction*; vue dans l'Univers, celle-ci vient se réfléchir sur le miroir inhomogène du genre espace que constitue la mesure antérieurement effectuée sur l'ensemble des systèmes I et II, pour engendrer, sur le système II, une *onde retardée* de vision et d'action; du point de vue de l'observateur I, il n'importe pas que l'observateur II fasse ou non la mesure compatible avec la sienne propre. En d'autres termes, bien qu'*a priori* les résultats des mesures homologues I et II puissent être quelconques, *ils ne sont pas indépendamment quelconques*; bien qu'à présent complètement séparés, les observateurs I et II restent corrélés au moyen d'une onde successivement avancée et retardée (ces deux qualificatifs s'échangeant lorsque l'on passe d'un observateur à l'autre), *cela du seul fait qu'ils connaissent l'un et l'autre le résultat de la mesure globale antérieure*.

Nous pensons que les précédentes considérations constituent une réponse valable à l'argument d'Einstein (1), en même temps qu'elles éclairent d'un jour nouveau les surprenantes implications du schéma bohrien de la Mécanique quantique. Ces considérations nous semblent essentiellement

compatibles avec celles, beaucoup plus abstraites, de la réponse de Bohr ⁽²⁾ à Einstein.

⁽²⁾ *Phys. Rev.*, 48, 1935, p. 696.

(Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*,
t. 236, p. 1632-1634, séance du 27 avril 1953.)