

La théorie de Bohm

Si la théorie de David Bohm évite le dualisme des états décrits et des états mesurés, son prix à payer est l'introduction de variables cachées et d'interactions à distance.

Michael Esfeld

Sciences et avenir hors série. Le paradoxe du chat de Schrödinger, No. 148 Octobre /
Novembre 2006, p. 71

Le physicien américain David Bohm (1917-1992) a développé une théorie qui s'oppose sur les plans formel et conceptuel à la mécanique quantique standard – celle qui est enseignée dans les cours de physique –, mais qui en reproduit exactement les prédictions. La théorie de Bohm ne connaît pas de problème de la mesure. Elle évite le dualisme de la mécanique quantique standard entre la dynamique de Schrödinger et le postulat de réduction d'états afin de tenir compte des valeurs numériques définies comme résultats de processus de mesure. Esquiver le problème de la mesure a cependant un coût. La théorie de Bohm se distingue ainsi de la mécanique quantique standard par deux traits particuliers.

Tout d'abord, Bohm suppose qu'un système quantique, un électron par exemple, est une particule dont la position possède en tout temps une valeur numérique définie. La mécanique quantique standard implique au contraire que la position d'un système quantique acquiert une valeur numérique définie uniquement lorsqu'on procède à sa mesure. Bohm concède néanmoins qu'on ignore la valeur numérique définie de la position. Cette valeur est la fameuse *variable cachée* de sa théorie. A cause de la valeur numérique définie de la position, tout système quantique est une particule, qui possède une trajectoire définie dans l'espace et dans le temps, bien qu'on ignore cette trajectoire.

Ensuite, Bohm introduit une grandeur physique que la théorie standard ne reconnaît pas : le potentiel quantique, qui détermine de manière causale la trajectoire d'un système quantique. La théorie de Bohm est donc déterministe, tandis que la mécanique quantique standard admet une interprétation non déterministe. A la différence d'un potentiel de la physique classique, le potentiel quantique ne diminue pas nécessairement avec la distance spatiale. De plus, la manière dont il détermine la trajectoire d'un système quantique peut dépendre de façon immédiate de facteurs éloignés dans l'espace. Il s'agit donc d'un type nouveau d'interaction, caractéristique du domaine quantique : une interaction à distance qui, contrairement aux autres interactions, ne respecte pas la vitesse finie de la lumière comme vitesse limite.

Bohm répond à la critique qu'Einstein a adressé à la mécanique quantique en proposant une théorie réaliste qui est supposée de représenter le domaine quantique de façon directe – les systèmes quantiques ont toujours une position définie et le potentiel quantique existe dans la nature. De plus, la théorie de Bohm rapproche au mieux description du domaine quantique et description de la physique classique : elle est déterministe, et les systèmes quantiques possèdent une trajectoire définie. Le prix à payer pour obtenir ce résultat est de concevoir le potentiel quantique de façon telle qu'il inclue des interactions à distance. Bohm quitte là l'esprit de la critique einsteinienne avec pour objectif de pouvoir reproduire les prédictions de

résultats d'expériences de la mécanique quantique, l'interaction à distance étant inacceptable pour Einstein.

Processus déterministe régi par le potentiel quantique, la mesure est pour Bohm un processus physique comme les autres, bien qu'on ne puisse calculer que des probabilités de résultats. La théorie de Bohm montre sans problème comment le processus de mesure aboutit à une valeur numérique définie de la propriété mesurée. Cette théorie reproduit exactement les mêmes prédictions que la mécanique quantique standard. Il n'est donc pas possible de préférer celle-ci à la théorie de Bohm sur la base des expériences. L'opposition entre la mécanique quantique standard et la théorie de Bohm est un exemple paradigmatique de la thèse philosophique de la sous-détermination de la théorie par l'expérience : voilà deux théories concurrentes et empiriquement équivalentes qui entraînent les mêmes prédictions expérimentales. Trois points permettent néanmoins de fonder une critique à l'adresse de la théorie de Bohm :

- La mécanique quantique est la déclinaison d'une théorie quantique plus large qui inclut la théorie des champs quantiques. La théorie de Bohm peut-elle être étendue à la théorie des champs quantiques ? Peut-elle en reproduire toutes les prédictions expérimentales ? Ces questions restent pour l'instant ouvertes.
- Est-il cohérent d'accorder à la position le statut de propriété privilégiée, la valeur numérique définie de la position étant la variable cachée ? Toutes les autres propriétés n'acquièrent, d'après la théorie de Bohm comme d'après la mécanique quantique standard, une valeur numérique définie que lors d'un processus de mesure.
- L'hypothèse d'un potentiel quantique étant, semble-t-il, une hypothèse ad hoc, supposer qu'un tel potentiel existe repose sur l'argument de reproduire les prédictions de la mécanique quantique standard.

Quoi qu'il en soit, le problème de la mesure étant toujours ouvert, la théorie de Bohm mérite d'être prise au sérieux – mais il est douteux qu'échapper à ce problème vaille la peine de payer le prix de variables cachées et d'interactions à distance.

Michael Esfeld, professeur d'épistémologie et de philosophie des sciences à l'Université de Lausanne

A lire

Bohm, David & Hiley, Basil (1993) : *The undivided universe. An ontological interpretation of quantum theory.* London : Routledge.

Cushing, James T., Fine, Arthur & Goldstein, Sheldon (dir.) (1996) : *Bohmian Mechanics and quantum theory : an appraisal.* Dordrecht : Kluwer.