

## NIELS BOHR, LA PHYSIQUE QUANTIQUE, ET LA CONNAISSANCE DE LA NATURE COMME ACTIVITÉ HUMAINE

François Lurçat  
Paris, France

Niels Bohr est en particulier l'initiateur de la théorie quantique de l'atome (1913). Son œuvre égale en importance celle d'Einstein, son partenaire dans une longue discussion sur la signification de la théorie quantique, qui se prolonge encore aujourd'hui. Comme l'exposait Bohr dans son rapport de Côme en 1927, «ce qui caractérise la théorie quantique, c'est qu'elle apporte une limitation essentielle aux concepts de la physique classique dans leur application aux phénomènes atomiques». Par physique classique il faut entendre ici la mécanique newtonienne, complétée par l'électromagnétisme de Faraday-Maxwell et amendée par la relativité d'Einstein. Ce résultat négatif – la physique classique n'a pas l'universalité qu'on lui avait attribuée pendant deux siècles – avait été complété, à partir de 1925, par un autre, positif: il existe un formalisme mathématique, celui de la mécanique quantique, qui s'applique aux phénomènes atomiques et rend compte, en particulier, de la non-validité de la physique classique dans ce domaine. Selon Bohr, il convient d'intégrer ce formalisme dans une théorie physique dont un principe fondamental est que «notre interprétation des données expérimentales repose essentiellement sur l'emploi des concepts classiques».

Ainsi, d'une part, les concepts classiques ne permettent pas une description satisfaisante des phénomènes atomiques; ce n'est pas qu'ils perdent dans ce domaine toute pertinence, mais leur validité est limitée. Mais, d'autre part, les concepts classiques resteront toujours indispensables pour décrire les dispositifs et les résultats des expériences (*toujours* semble paradoxal; mais c'est l'analyse du sujet de la connaissance qui justifie la nécessité des concepts classiques; or si le domaine objectif de la physique est en extension constante, le sujet reste l'homme qui s'adresse à ses semblables).

Par suite la connaissance physique apparaît désormais comme *régionale*. Les concepts et les théories classiques sont vrais dans la région classique, définie par le fait que les actions mises en jeu dans les processus sont très supérieures à  $h$ , la constante de Planck. En gros, cette région est celle des objets macroscopiques. Elle ne recouvre pas l'ensemble des phénomènes physiques: il y a une région quantique où les concepts classiques, sans perdre toute valeur, ne peuvent plus être pris à la lettre.

Corollaire: la connaissance physique est *approchée*. Même dans leur domaine de validité, les concepts classiques (et les théories qui les mettent en œuvre) comportent une approximation: dans la région classique en effet, on doit négliger la structure atomique des objets, et l'erreur ainsi commise, négligeable en pratique, n'est pas nulle en toute exactitude spéculative. La physique quantique comporte une limitation symétrique: elle ne peut pas se

passer des concepts classiques, dont elle établit par ailleurs les limites de validité.

Accepter ou refuser le caractère régional et approché de la connaissance physique: tel est le dilemme qui permet de classer et de juger les diverses réceptions réservées à la physique quantique.

On peut tenter de deux manières de rétablir l'unité du monde physique. Louis de Broglie, David Bohm et d'autres ont tenté d'annexer la région quantique à la région classique, c'est-à-dire de la décrire en termes de concepts classiques. John Bell, qui soutenait ces tentatives, a montré qu'elles se paient nécessairement d'un prix très élevé: il faut renoncer à la localité, c'est-à-dire admettre des actions qui s'exercent à distance entre deux points sans se propager de l'un à l'autre. On peut penser (après Newton et Einstein) que ces actions à distance sont proprement unimaginables; les admettre serait, je crois, renoncer à l'intelligibilité spatio-temporelle, c'est-à-dire perdre d'un côté ce qu'on voulait gagner de l'autre en rétablissant la validité absolue des concepts classiques.

On peut aussi vouloir rétablir l'unité en annexant la région classique à la région quantique. L'existence des objets classiques n'est alors qu'une approximation; en réalité il n'y a que des atomes et du vide, tout est quantique. La physique classique ne fonde plus la physique quantique, elle en est seulement un cas limite. A mon avis, les auteurs qui tentent d'opérer cette annexion (naguère John von Neumann, aujourd'hui Roland Omnès et d'autres) achèvent de résorber la philosophie naturelle dans les mathématiques. Davantage encore que les précédents, ils renoncent à l'intelligibilité au profit d'un pur formalisme, dont la seule fonction est de calculer des résultats conformes à l'expérience, mais qui est incapable de faire comprendre ces résultats.

Bohr, pour sa part, accepte l'existence des objets classiques et leur fait jouer un rôle fondamental dans la théorie quantique. Il place au centre de sa formulation de la théorie le *postulat quantique* selon lequel «tout processus atomique présente un caractère de discontinuité, ou plutôt d'individualité, complètement étranger aux théories classiques, et caractérisé par le quantum d'action de Planck». Individualité signifie *indivisibilité*, comme le montre le corollaire du postulat: «on ne peut attribuer ni aux phénomènes ni à l'instrument d'observation une réalité physique autonome au sens ordinaire du mot.»

De là découle une interprétation physique de l'objet mathématique qui est censé décrire l'état d'un système quantique (fonction d'onde ou vecteur d'état). Cette question a été longuement discutée. Des expériences récentes justifient la thèse suivante: le vecteur d'état d'un système quantique est défini par les mesures que le dispositif expérimental rend matériellement possibles. Elles montrent que *certaines mesures ne perturbent pas l'objet observé*: on a fait trop de cas de la fameuse «perturbation du système par l'observation», à laquelle Bohr avait d'ailleurs renoncé dès 1949. Ce sont les mesures *possibles*, et non celles dont un observateur connaîtrait les résultats,

qui définissent le vecteur d'état: la «conscience de l'observateur» ne joue donc pas le rôle qu'on lui avait parfois attribué.

Tels sont quelques-uns des fruits de la reconnaissance du rôle nécessaire des concepts classiques, en ce qui concerne la compréhension de la mécanique quantique. D'autres fruits concernent la compréhension des *résultats* des calculs quantiques. Car la mécanique quantique, capable jusqu'à nouvel ordre de *calculer* les propriétés de tous les systèmes dont les lois dynamiques sont connues, fournit des résultats bruts qui ne font guère *comprendre* les phénomènes étudiés. Bohr disait à ce sujet que le formalisme quantique est «un schéma purement symbolique». Or, avant 1925, il avait développé, avec d'autres physiciens, des approches des phénomènes quantiques qui utilisaient les concepts classiques tout en tenant compte de leurs limitations: c'était la physique du principe de correspondance. Après la découverte de la mécanique quantique, on avait pu croire que ces approches étaient définitivement dépassées; on s'aperçoit maintenant qu'il n'en est rien. Les méthodes qu'on appelle aujourd'hui semi-classiques font revivre le principe de correspondance; elles sont en pleine expansion dans l'étude des systèmes chaotiques, la physique atomique et moléculaire, la physique nucléaire, etc. Ces importants résultats apportent une autre série de justifications aux idées bohriennes sur le rôle des concepts classiques.

Il reste à tenter de comprendre pourquoi les idées de Bohr sont aujourd'hui si mal connues (chez les physiciens et les philosophes) ou même si impopulaires (chez les spécialistes de la mécanique quantique). Ce n'est pas, en tout cas, pour des raisons scientifiques: elles n'ont pas été réfutées, mais confirmées. C'est, je pense, pour des raisons épistémologiques et métaphysiques.

Nos contemporains ont du mal à accepter les corollaires épistémologiques de la mécanique quantique selon Bohr, et en particulier l'idée que la connaissance physique est régionale et approchée. L'idéal d'une connaissance totale et exacte, bien qu'il ne soit guère compatible avec une science expérimentale, a plus d'attrait aujourd'hui que jamais (cf. les «*théories de tout*»).

Ce refus épistémologique va de pair avec une thèse (explicite ou non) sur le sujet de la connaissance. Pour Galilée, «la vérité dont les démonstrations mathématiques nous donnent connaissance est celle même que connaît la sagesse divine» (*Dialogue des grands systèmes*, fin de la 1<sup>re</sup> journée; trad. P.H. Michel). Pour le rationalisme classique, la vérité s'identifie à la pensée de Dieu. Ce cercle d'idées a survécu – sous une forme abâtardie – à toutes les révolutions scientifiques et philosophiques. Les phrases où Einstein, dans un esprit plus ou moins spinoziste, se réfère à Dieu, connaissent une popularité considérable: «Dieu est subtil, mais il n'est pas malveillant»; «lui, au moins, ne joue pas aux dés». Stephen Hawking et d'autres cosmologues espèrent connaître «la pensée de Dieu». Willis Lamb présente dans un article récent l'équation de Schrödinger comme le onzième commandement. Il s'agit là, dira-t-on, de plaisanteries; peut-être, mais elles pourraient bien

révéler le refus de cette idée toute simple que le sujet de la connaissance est humain, ainsi que des limitations et des exigences qu'elle implique.

La physique classique procède du sens commun; ses démarches sont proches de notre expérience quotidienne du monde sensible. Par suite, la thèse de la pérennité des concepts classiques a une double racine philosophique: la réalité du monde sensible, et le caractère humain du sujet de la connaissance. La double opposition à la pensée de Bohr (Einstein, von Neumann) s'apparente au rationalisme mathématique: nos sens nous livrent de pures apparences; ce qui est réel, ce sont les concepts de la physique (atomes, quarks, champs...).

Le problème de la compréhension de la mécanique quantique, qui pourrait sembler ésotérique, débouche sur la question des rapports de l'homme et de la nature. L'abus de la nature procède d'un orgueil intellectuel qui méprise le sens commun et le monde sensible: seuls les spécialistes savent ce qu'est la nature et ce qu'il convient d'en faire. Critiquer cette arrogance ne met pas en cause la science en tant que telle, mais l'*hubris* engendrée par ses succès, par la puissance qu'elle procure et par son manque d'interlocuteurs critiques. L'effort vers un usage raisonnable de la nature a une contrepartie théorique: il faut reconnaître avec Bohr (avec des poètes aussi) que la connaissance est humaine et que le monde sensible est réel.