

# RÉFLEXIONS SUR LA PHILOSOPHIE DE BOHR, HEISENBERG ET SCHRÖDINGER

A. Shimony

► **To cite this version:**

A. Shimony. RÉFLEXIONS SUR LA PHILOSOPHIE DE BOHR, HEISENBERG ET SCHRÖDINGER. Journal de Physique Colloques, 1981, 42 (C2), pp.C2-81-C2-98. 10.1051/jphyscol:1981204 . jpa-00220690

**HAL Id: jpa-00220690**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00220690>**

Submitted on 1 Jan 1981

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## RÉFLEXIONS SUR LA PHILOSOPHIE DE BOHR, HEISENBERG ET SCHRÖDINGER

A. Shimony

*Départements de Philosophie et de Physique, Université de Boston, Boston, Massachusetts, USA*

Résumé. - Aumoment où Bohr nie le sens des mots "réalité physique" s'ils ne font pas référence à un dispositif expérimental, il renonce à toute connaissance de la "chose en soi". Le rapport de son épistémologie à l'idéalisme et au positivisme reste cependant obscur. Heisenberg dévie de Bohr quand il énonce une thèse métaphysique à partir de la mécanique quantique. Heisenberg constate qu'il y a une modalité intermédiaire - la potentialité - entre la possibilité logique et l'existence. Quand il essaie d'expliquer la transition de la potentialité à l'existence, il n'arrive pas à nous persuader. Schrodinger rejette l'interprétation que donne Bohr de la mécanique quantique comme un exercice positiviste, et il cherche une interprétation réaliste. Néanmoins, la métaphysique de Schrodinger est au fond idéaliste; elle maintient l'idée que l'aspect matériel du monde est composé des mêmes éléments que l'esprit, mais dans un ordre différent.

Abstract. - In denying that the words "physical reality" are meaningful without reference to an experimental arrangement, Bohr renounces any knowledge of the "thing-in-itself." However, the relation of his epistemology to both idealism and positivism remains obscure. Heisenberg departs from Bohr in enunciating a metaphysical implication of quantum mechanics. Heisenberg asserts that there is an intermediate modality - potentiality - between logical possibility and existence. His attempts to explain the transition from potentiality to existence are not convincing. Schrödinger rejects Bohr's interpretation of quantum mechanics as a positivist exercise and seeks instead a realist interpretation. Nevertheless, the metaphysics of Schrodinger is fundamentally idealistic, maintaining that the material aspect of the world is composed of the same elements as mind, but in a different order.

Plusieurs des pionniers de la mécanique quantique - notamment Planck, Einstein, Bohr, de Broglie, Heisenberg, Schrödinger, Born, Jordan, Landé, Wigner, et London - s'occupaient sérieusement de questions philosophiques. En chaque cas, on peut poser une question d'intérêt psychologique et historique: est-ce un penchant philosophique qui a attiré l'investigateur vers une recherche physique liée à la philosophie, ou bien est-ce que ce sont les difficultés conceptuelles de la physique fondamentale qui l'ont entraîné malgré lui dans le labyrinthe de la philosophie? Je ne m'occuperai pas de cette question, mais je voudrais citer l'avis de Peter Bergmann, qui me plaît beaucoup: il entendait d'Einstein que "le théoricien de la physique est . . . un philosophe

dans des habits d'ouvrier "(/1/,p.v) <sup>(1)</sup>.

Les questions qui me préoccupent sont celles des implications philosophiques de la mécanique quantique - soit épistémologiques, touchant l'étendue, la validité, et le caractère de la connaissance humaine; soit métaphysiques, concernant le caractère du réel. La mécanique quantique n'est pas un système de philosophie, mais on peut se demander si elle est susceptible d'un encadrement cohérent dans un système de philosophie. Je me propose d'examiner la pensée de trois maîtres de la mécanique quantique - Bohr, Heisenberg et Schrödinger - non pas avec une intention critique ou historique, mais dans l'espoir de trouver des éclaircissements concernant des problèmes posés par la physique actuelle. Je dois dire d'avance que les éclaircissements nous échapperont encore; néanmoins, les idées de Bohr, Heisenberg et Schrödinger sont riches et évocatrices de nouvelles études.

On peut esquisser certains principes généraux de la philosophie de Bohr sans aucune référence à la mécanique quantique, bien que ses efforts pour interpréter les découvertes de la nouvelle physique aient donné leur forme définitive à ces principes. Bohr insiste toujours sur le fait que la connaissance scientifique exige des descriptions qui ne prêtent à aucune équivoque, dont une condition nécessaire est une distinction entre le sujet et l'objet (/2/,p.101). Le succès de nos communications dans la vie quotidienne concernant les positions et les mouvements des objets macroscopiques montrent à posteriori que nous pouvons nous servir de ces descriptions sans équivoque, mais on ne trouve aucune affirmation dans les essais de Bohr que de telles conceptions sont à priori, comme les catégories de l'entendement de Kant. La clarté de cette description macroscopique n'implique point, à son avis, que les objets atomiques ont moins d'existence que les objets macroscopiques (/2/,p.16). Pourtant, à cause de notre connaissance indirecte des objets atomiques, et de plus, à cause du quantum d'action, une description sans équivoque d'un phénomène atomique doit "comprendre une description de tous les éléments pertinents du dispositif expérimental" (/2/,p.4).

De temps en temps, Bohr indique que ses thèses épistémologiques n'entraînent pas à une métaphysique: par exemple, "la notion d'un sujet ultime ainsi que des conceptions comme celles du réalisme et de l'idéalisme n'ont pas de place dans la description objective telle que nous l'avons définie" (/2/,p.79)

---

(1) Toutes les citations ont été traduites par A.S.

Au lieu d'une métaphysique, Bohr propose une stratégie purement épistémologique - la mobilité de la séparation entre le sujet et l'objet (/2/, pp.91-2). Je suis très reconnaissant à Aage Petersen /3/ , qui fut l'assistant de Bohr pendant sept ans, pour le témoignage - supplémentaire aux écrits de Bohr mais s'accordant avec eux - concernant son renoncement à la métaphysique. Même la psychologie doit reconnaître ce renoncement, parce qu' "en toute affirmation contenant une référence à nous-mêmes nous introduisons, pour ainsi dire, un nouveau sujet qui n'apparaît pas comme partie du contenu de l'affirmation" (/2/, p.101). Le projet général d'élaborer une épistémologie qui rejette en principe l'appui d'une métaphysique rappelle le système épistémologique de Kant. Bien que Bohr s'écarte des idées kantiennees concernant la structure de la connaissance humaine, comme la possibilité de jugements en même temps synthétiques et a priori, il partage avec Kant le renoncement à toute connaissance de la "chose-en-soi".

Les propos bien-connus de Bohr sur la mécanique quantique proviennent pour la plupart de ses thèses épistémologiques, en conjonction avec la découverte physique du quantum d'action. Ce dernier empêche la constatation de toutes les propriétés d'un objet physique par une unique disposition expérimentale, ou même la réunion de toutes ces propriétés dans une image unique. Mais à cause de la mobilité de la séparation de l'objet et du sujet, on peut donner des descriptions complémentaires d'un système physique. L'étendue des descriptions possibles est si riche qu'aucune des prédictions expérimentales ne dépasse en principe les moyens du formalisme quantique, et dans ce sens le formalisme est complet. Quant à l'analyse d'Einstein, Podolsky et Rosen, Bohr dit:

"Bien sûr, dans un cas comme ceci . . . il n'est pas question d'un dérangement mécanique du système sous investigation pendant la dernière étape critique du procédé de mesure. Mais même à cette étape, il y a essentiellement la question d'une influence sur les conditions exactes qui définissent les types de prédictions concernant le comportement futur du système. Dès que ces conditions constatent un élément inhérent de la description de chaque phénomène auquel le terme "réalité physique" peut proprement s'appliquer, nous voyons que l'argumentation des dits auteurs ne justifie pas leur conclusion que la description de la mécanique quantique est essentiellement incomplète" (/2/, pp. (60-1).

Bohr énonce en effet que l'argumentation d'Einstein, Podolsky et Rosen est trompeuse, parce qu'elle se fonde sur la supposition que nous pouvons parler intelligiblement de l'état d'un système physique en dehors de toute disposition expérimentale, ce qui équivaut à un discours

de la "chose-en-soi".

Il y a du bon sens dans ces propos. A mon avis, Bohr est un des grands phénoménologues de la science, montrant une rare finesse à propos des liens entre les conceptions théoriques de la physique et les procédés expérimentaux. Ses "expériences de pensée", qui libèrent les phénomènes des complications inessentiels, témoignent de sa faculté remarquable. Néanmoins, quelque chose manque dans son interprétation intégrale de la mécanique quantique. Peut-être a-t-il renoncé prématurément et sans raisons définitives à l'un des grands desseins de la pensée occidentale, qui est d'établir l'appui mutuel de l'épistémologie et de la métaphysique. Bohr nous conseille de renoncer à l'explication de l'activité consciente, parce que l'introspection modifie le contenu de l'esprit qu'on veut examiner (/4/, pp.13-14). Mais on peut objecter que "l'explication de l'activité consciente" consiste en une théorie des principes régissant l'esprit, et non pas en une chronique de son contenu. On comprend qu'il y a quelque chose de paradoxal dans l'acquisition d'une connaissance des principes régissant l'acquisition de la connaissance; mais à mon avis ces raisonnements manquent de la force des paradoxes bien connus de la théorie des ensembles et de la sémantique qui se fondent sur l'auto-référence.

Il y a une autre raison pour mon scepticisme concernant le renoncement Bohrien à la métaphysique. Si ce renoncement se présente comme un principe, en quoi diffère-t-il d'un espèce de positivisme, selon lequel le contenu d'une affirmation est complètement épuisé par ses implications pour l'expérience? Bien sûr, en s'écartant de l'idéalisme (/2/, pp. 78-79), il rejette probablement toute espèce de positivisme; et de plus, Bohr montre toujours un très fort attachement à la présence d'objets quotidiens, qu'il ne veut pas interpréter comme paquets d'impressions des sens. Mais on arrive à un point où le renoncement Bohrien à la métaphysique commence à paraître un artifice: il essaie d'éviter l'assaut lancé par les positivistes sur nos préconceptions réalistes, et en même temps l'obligation d'examiner les questions d'ontologie. On se demande si un tel artifice ne mènerait pas à plus d'obscurité que d'illumination.

Heisenberg s'identifie souvent à l'interprétation de Copenhague de la théorie quantique (/5/, 3 et 8), et il partage une grande partie des thèses philosophiques de Bohr. Il y a pourtant au moins des différences de nuances entre eux, et peut-être aussi des différences plus profondes, qui doivent être signalées.

On voit une affinité à Bohr et aussi à Kant dans le passage suivant: "ce que nous observons, ce n'est pas la Nature elle-même, mais la Nature exposée à notre méthode d'interrogation (/5/, p.58). Pourtant,

Heisenberg n'accepte pas, si entièrement que Bohr, l'idée kantienne du renoncement à la connaissance de la "chose-en-soi". Il dit, avec circonspection, mais d'une manière néanmoins significative, que "Pour le physicien atomique, la "chose-en-soi"- si tant est qu'il se sert de cette conception - est, en fin de compte, une structure mathématique; mais cette structure - à l'encontre de Kant - est déduite indirectement de l'expérience" (/5/,p.91). Dans la mesure où il accepte l'attribution de l'état quantique à la particule atomique en soi (/5/,p.185), il affaiblit le renoncement à la métaphysique, qui est l'un des traits de la philosophie de Bohr.

Je me hasarde à exprimer une opinion plus forte: que Heisenberg énonce une implication métaphysique de la mécanique quantique plus explicitement que les autres pionniers de cette science <sup>(2)</sup>: La mécanique quantique exige, selon Heisenberg, une modalité qui se situe entre la possibilité logique et l'existence qu'il appelle "la potentialité" (/5/,p.53). Cette modalité apparaît en considérant la question: "qu'est ce qui arrive entre deux observations?", une question à laquelle sa réponse est: "le terme "arrive" est limité à l'observation" (/5/,p.52). Malgré cette réponse, Heisenberg ne veut pas se présenter comme positiviste, parce que selon la mécanique quantique, le système est caractérisé entre les deux observations par un état quantique, ou autrement dit, par une fonction d'onde. Cet état se développe continûment dans le temps de façon déterminée par les conditions initiales, et à cause de l'indépendance de cet état des données de tout observateur, il mérite l'épithète "objectif". L'état quantique ou la fonction d'onde ne décrit rien de l'existant ("wirklich"), mais "Il contient des énoncés touchant des possibilités ou mieux des propensions ("potentia" dans la philosophie d'Aristote)" (/5/,p.53). La référence historique doit peut-être être écartée, parce que la potentialité quantique est complètement dépourvue d'une signification téléologique, qui est centrale à la conception d'Aristote. Ce qui va de pair avec la conception d'Aristote, c'est le caractère indéfini de certaines propriétés du système. Ce qui manque chez Aristote, c'est qu'une propriété devient définie grâce à l'observation, et que les probabilités de tous les résultats possibles sont bien déterminées, d'où il résulte que la collection de potentialités acquiert une structure mathématique. Ces probabilités, que Heisenberg caractérise comme "objectives" (ibid.), ne dérivent pas de l'ignorance de l'observateur, comme celles de la mécanique statistique classique.

---

(2) On trouve une énonciation pareille dans Margenau /6/

Voici un passage remarquable, dans lequel Heisenberg se permet le terme "ontologie", qui appartient à la métaphysique, et donne à entendre la complexité structurelle des potentialités:

"La conception d'"état" formerait alors une définition initiale concernant l'ontologie de la théorie quantique. On voit sur-le-champ que cet emploi du terme "état", particulièrement du terme "état co-existant", est si différent de l'ontologie matérialiste habituelle qu'on peut douter que l'emploi d'une telle terminologie soit commode. D'autre part, si on considère le terme "état" comme décrivant quelque potentialité plutôt qu'une réalité - on peut même remplacer le terme "état" par le terme "potentialité" - la conception de "potentialités coexistantes" est tout à fait raisonnable, puisqu'une potentialité peut contenir ou recouper d'autres potentialités" (/5/, p.185).

L'interprétation de Heisenberg de la fonction d'onde comme une collection de potentialités est fondée en grande partie sur une considération de l'interférence d'amplitudes dans l'expérience à deux fentes. Il reconnaît le succès formel des modèles à variables cachées de Louis de Broglie et de Bohm, mais il fait objection à la réalité d'ondes dans un espace de configuration de plus de trois dimensions (/5/, pp.13-132). Les objections de Heisenberg manquent de rigueur, mais son intuition était correcte et fut justifiée par les théorèmes profonds de Gleason /7/ et de Bell /8,9,10/. Par suite de leur travail soigneux, on sait maintenant qu'une théorie à variables cachées, libre de contradictions mathématiques, et aussi en accord avec les expériences, doit avoir deux propriétés: (1) elle doit être "contextualiste" - c'est-à-dire, les valeurs des quantités sont déterminées en partie par l'appareil de mesure; (2) elle doit être "non-locale", dans le sens de Bell. Si on ne trouve pas ces propriétés à son goût (particulièrement la non-localité, qui transgresse les conceptions relativistes d'espace-temps), on est obligé d'admettre que la fonction d'onde donne une description complète d'un système physique. Et alors, si on ne veut pas renoncer à la métaphysique, il ne reste aucune conception ontologique raisonnable de la fonction d'onde autre que celle de Heisenberg.

La justification de la conception de la fonction d'onde comme une collection de potentialités pose, pourtant, un autre problème métaphysique: comment s'effectue la transition de la potentialité à l'existence? Autrement dit, comment se fait la réduction du paquet d'ondes? Il me semble que Heisenberg offre deux solutions, bien qu'il ne les distingue pas nettement.

L'une d'elle est essentiellement celle de Bohr: La connaissance exige une séparation entre le sujet et l'objet, bien que la position de cette séparation soit mobile. Comme l'appareil de mesure se situe du côté du

sujet, il est décrit en termes classiques, dans lesquels on ne trouve pas les potentialités quantiques (/5/, pp.57-58). Dans la mesure où cette solution appartient à la philosophie générale de Bohr, nous l'avons discutée auparavant. D'autre part, il est difficile de voir comment une adhésion étroite à la philosophie de Bohr serait compatible avec la doctrine métaphysique de Heisenberg concernant les potentialités.

La seconde solution s'accorde mieux avec cette doctrine. Elle diffère de la première solution en appliquant certaines conceptions de la mécanique quantique au processus de la mesure. Heisenberg suggère que l'état microscopique de l'appareil de mesure est indéterminé par suite de son interaction avec le reste du monde (/5/, p.53). A ce point, il semble dire que la description appropriée de l'appareil doit faire usage d'un opérateur statistique (qui est équivalent à une matrice densité). Il suggère ensuite que l'opérateur statistique final du système appareil plus atome est diagonal dans une certaine base de vecteurs, dont chacun est vecteur caractéristique d'une quantité désignée de l'appareil (/5/, pp.54-55). Il espère faire bon usage du fait que l'état initial de l'appareil est indéterminé pour arriver à la fin du processus de la mesure à la matrice densité diagonale mentionnée plus haut. Il pourrait alors regarder la quantité désignée comme inconnue mais bien définie, comme dans la physique classique, et dans ce cas, la conscience de l'observateur ne serait point l'agent de la réduction du paquet d'ondes. "Nous pouvons dire que la transition du "possible" à l'existant a lieu aussitôt que l'interaction de l'objet avec l'appareil de mesure, et, par ce moyen, avec le reste du monde, est entrée en jeu; elle n'est pas reliée à l'enregistrement du résultat par la conscience de l'observateur" (/5/, pp.54-55). Cette explication proposée de la transition de la potentialité à l'existence est si claire qu'elle est susceptible d'être évaluée mathématiquement. Voici l'un des rares cas, envisagés par Leibniz, pour lesquels une question métaphysique admet une solution mathématique. Malheureusement, du point de vue de Heisenberg, le résultat de l'évaluation est négatif. La loi dynamique de la théorie quantique ne permet pas à l'opérateur statistique d'évoluer de la façon exigée par la solution proposée par Heisenberg - un résultat établi par Wigner /11/ sous des conditions spéciales, et généralisé par d'Espagnat /12/ , Shimony /13/ , et d'autres.

Pour conclure, Heisenberg a tiré de la mécanique quantique une thèse métaphysique qui est profonde et radicale: que l'état d'un objet physique est une collection de potentialités. Mais sa découverte est incomplète, en ce que la transition de la potentialité à l'existence reste mystérieuse. Le poète T.S. Eliot a dit (à propos d'autres choses)



"Between the potency  
 And the existence  
 . . . . .  
 Falls the Shadow".

("The Hollow Men", /14/, p.104)

Tournons nous maintenant vers Schrödinger, qui, à mon avis, est le plus remarquable philosophe parmi les physiciens de notre siècle, à l'exception possible d'Einstein. Je propose d'extraire de ses oeuvres trois groupes de remarques tout à fait différentes. Bien qu'on ne trouve pas de contradictions entre ces remarques, il y a des divergences qui méritent l'inspection.

1. Le premier groupe de remarques concerne les implications du formalisme quantique, tant qu'il est considéré comme une description objective de la nature, et non pas seulement un moyen de faire des prédictions. La remarque la plus célèbre concerne le chat mis dans une superposition d'un état vivant et d'un état mort /15/. Schrödinger donne son adhésion - au moins provisoire - à l'interprétation de la fonction d'onde comme collection de potentialités, mais il insiste sur le fait que la loi dynamique de la mécanique quantique empêche la transition à l'existence. Il est clair dans le contexte que l'argumentation de Schrödinger a la forme d'une réduction à l'absurde. Il veut signaler que le formalisme quantique a besoin de changements.

Dans son commentaire sur l'expérience d'Einstein, Podolsky et Rosen, Schrödinger souligne la non-séparabilité de l'état des deux particules: "ils ne peuvent plus être décrits de la même façon qu'auparavant, c'est-à-dire, en attribuant à chacun d'eux son propre représentant. Je ne voudrais pas appeler cela un, mais plutôt le trait caractéristique de la mécanique quantique" /16/. Dans ce commentaire, il n'entreprend pas une réduction à l'absurde. Il reconnaît qu'on a affaire à une thèse métaphysique radicale, dont l'évidence expérimentale était à son époque incomplète. Il demande si un état non-séparable de particules distantes l'une de l'autre est réalisable dans la nature, laissant la résolution de cette question à l'expérience. Autant que je sache, il n'a jamais fait de remarque sur la réponse positive apportée à cette question par Bohm et Aharonov /17/ de son vivant, à partir de l'expérience de Wu et Shalnov /18/.

2. Le second groupe de remarques philosophiques de Schrödinger est sa polémique défendant le réalisme contre l'interprétation positiviste de la science. Il admet que postuler l'existence de corps matériels, régis par les lois de la physique, remet de l'ordre dans notre expérience et produit une "économie de pensée"; mais il insiste sur le

fait que le succès de ce postulat révèle quelque chose d'important au delà de nos conventions : "L'économie et le supplément mental surajouté avec succès à l'expérience, en particulier l'extrapolation vers l'avenir, ...présupposent une qualité bien définie de l'expérience : qu'elle peut être ordonnée. Ceci est un fait qui lui-même demande une explication" (/20/, p.183).

Schrödinger considère l'interprétation de Copenhague de la mécanique quantique comme un exercice positiviste (/21/, pp.202-205). En insistant sur les observations faites sous conditions alternatives, le principe de complémentarité, à son avis, évite les problèmes ontologiques posés par la mécanique quantique. Par contraste, Schrödinger lui-même parle de la réalité physique des ondes de la mécanique quantique: "Quelque chose qui exerce une influence sur le comportement physique d'une autre chose ne doit pas, sous aucuns rapports, être considérée moins réelle que la chose qu'elle influence - quelle que soit la signification que nous donnons à l'épithète dangereuse "réelle" (/21/, p.198). Il admet que personne n'a dessiné jusqu'à présent une image fidèle de la réalité physique (/21/, p.204). Mais il espère que le renoncement à la conception d'une particule douée d'une identité individuelle et la reconnaissance de la primauté des ondes nous conduisent vers l'image souhaitée (/21/, pp.205 ff). En tout cas, Schrödinger ne veut pas abandonner ce grand dessein en faveur de ce que l'interprétation de Copenhague nous présente: un "ou . . . ou", qui lui semble trop facile (/20/, p.160).

3. Le troisième groupe de remarques philosophiques que je vais citer est choisi parmi les écrits spéculatifs de Schrödinger, qui s'occupent de l'apparence et de la réalité, du soi, de Dieu, et surtout de la relation entre la matière et l'esprit. C'est singulier qu'il ne fasse presque nul usage de la physique, ni de ses analyses philosophiques de la physique, en s'intéressant à ces questions. On trouve une explication de ce silence dans sa thèse que la science est fondée sur "l'objectivation" - c'est-à-dire, sur "la simplification du problème de la nature par une exclusion préliminaire du sujet en train de s'instruire du complexe de ce qui est à comprendre" (/20/, p.183); mais les problèmes philosophiques les plus profonds touchent précisément ce sujet qui est exclu du tableau scientifique du monde.

En peu de mots, les thèses philosophiques principales sont les suivantes :

(i) La dichotomie de l'esprit et de la matière, bien qu'elle soit utile dans la conduite de nos vies, est à la fin artificielle. La raison est que "le monde réel" autour de nous et "nous-mêmes" (c'est-

à-dire, notre être mental) sont composés des mêmes matériaux de construction, . . . . mais arrangés en ordre différent - perceptions de sens, images de mémoire, images de l'imagination, pensée" (/22/, pp.91-2)

(ii) La difficulté de trouver la place de l'esprit dans notre tableau scientifique du monde, c'est précisément que l'esprit et la matière sont composés des mêmes éléments: "Pour arriver de l'aspect - esprit à l'aspect-matière ou vice-versa, nous devons, pour ainsi dire, disjoindre les éléments et les réunir dans un ordre tout-à-fait différent" (/22/, p.92).

(iii) Malgré l'illusion d'une multitude de sujets, chacun ayant ses propres pensées et sentiments, il n'y a, à vrai dire, qu'un seul Esprit. Dans "What is Life?" /19,20/ - un livre qui plaide fortement en faveur de la possibilité de réduire la biologie à la physique, et qui avance l'idée du caractère chimique du code génétique, une décennie avant Watson et Crick - l'épilogue contient une seule équation:

"ATHMAN = BRAHMAN (le soi personnel est égal à l'omni-présent, tout-contenant soi éternel, "/20/, Epilogue)

- pas une équation typique de la physique!

La divergence entre les éléments de la philosophie de Schrödinger, que j'ai mentionnée plus haut, doit être évidente. D'une part, il défend le réalisme physique contre l'interprétation positiviste; d'autre part, il propose une métaphysique idéaliste qui rappelle celle de "The Analysis of Sensations" /23/ du grand positiviste Mach, ainsi que l'idéalisme indien. J'éprouve des réactions très mélangées à l'égard de ce déferlement d'idées que Schrödinger nous offre.

D'abord, sa critique de l'interprétation positiviste de la science est juste. Peut-être n'est-il pas juste de nommer positiviste l'interprétation de Copenhague de la mécanique quantique, parce que Bohr et Heisenberg rejettent cette épithète. Mais l'analyse faite plus haut indique que Bohr et Heisenberg se trouvent dans des états plutôt métastables pour ainsi dire, et que le positivisme est un des états stables dans lesquels ils peuvent tomber. Par conséquent, la critique de Schrödinger est fondée, malgré des doutes concernant son exégèse de textes.

Je partage son espérance d'une solution complètement physique des problèmes de la mécanique quantique, notamment du problème de la réduction du paquet d'ondes et du problème de la non-localité. Il est nécessaire de reconnaître un niveau de description auquel le discours physique soit approprié, même si l'ontologie fondamentale de l'univers est idéaliste. Dans le langage de Schrödinger, le monde est susceptible de l'opération de "l'objectivation". Pour la plupart d'entre eux, il semble que les processus décrits par la mécanique quantique ne débordent -

dent pas ce niveau physique. Les appareils par lesquels les phénomènes typiquement quantiques se manifestent - les interféromètres, les spectromètres, les compteurs en coïncidence, etc. - sont aussi matériels que n'importe quel objet quotidien. La question essentielle est de savoir si les "inter-phénomènes" (terme de Reichenbach) ont un caractère aussi physique que ces appareils. Schrödinger est d'accord avec Bohr et Heisenberg que nulle variante de la physique classique ne peut décrire les "inter-phénomènes", mais il insiste - en forte opposition avec eux - que les ressources purement physiques pour atteindre ce but sont loin d'être épuisées.

Une ligne de recherche peu explorée est de remplacer la loi linéaire habituelle régissant la propagation d'ondes quantiques (c'est-à-dire, l'équation de Schrödinger) par une loi non-linéaire. Tel remplacement serait compatible avec la primauté ontologiques des ondes, dont Schrödinger reste toujours partisan. Il apparaît même dans les textes (/24/, p.451) que Schrödinger considérerait la possibilité d'une modification non-linéaire de la dynamique quantique, bien qu'il ne paraisse pas avoir suggéré un exemple spécifique. Cette ligne de recherche a de l'attrait pour moi, mais je dois faire deux remarques négatives. L'une est que cette ligne de recherche promet au mieux de résoudre le problème de la réduction du paquet d'ondes, et n'offre rien concernant le problème de la non-localité. L'autre remarque est que les résultats expérimentaux jusqu'à ce jour ne donnent pas d'appui à cette conjecture /25/ .

Une autre ligne de recherche, qui ne va pas au delà du niveau physique, c'est l'étude des liens entre la mécanique quantique et la structure d'espace-temps. Autant que je sache, Schrödinger n'a jamais fait une telle suggestion, bien qu'il ait été un investigateur profond de la structure d'espace-temps. Il y a, pourtant, deux raisons de prendre au sérieux cette ligne de recherche. L'une est la difficulté d'appliquer les procédés de la quantification à l'espace-temps. L'autre est la non-localité (dans les sens de Bell) de certaines prédictions expérimentalement corroborées de la mécanique quantique. J'ai parlé en d'autre lieu /26/ de la possibilité de la "coexistence paisible" entre la non-localité de la mécanique quantique et la structure relativiste de l'espace-temps, qui dérive en partie du fait qu'on ne peut pas se servir de la non-localité quantique pour transmettre un message instantanément. Si cette coexistence ne se justifiait pas, il faudrait faire une démarche radicale: une modification de la structure relativiste de l'espace-temps.

Il me semble possible que toutes les tentatives d'expliquer la

réduction du paquet d'ondes sur le niveau physique échouent. Il ne resterait alors qu'une explication de la transition des potentialités quantiques à la réalité: l'intervention de l'esprit. Je voudrais souligner qu'à mon avis il est très improbable que nous soyons poussés à cette extrémité. Néanmoins, je pense que Schrödinger a tort en excluant cette possibilité a priori. Peut-être l'évidence physique nous montrera de nouvelles restrictions sur l'opération de l'objectivation et révélera des imperfections dans le niveau physique - des fissures, pour ainsi dire, par lesquelles le caractère essentiellement mental du monde transparaîtra. Il y a beaucoup de gens qui embrassent avec enthousiasme la thèse de l'indispensabilité de l'esprit à la réduction du paquet d'ondes, une thèse au sujet de laquelle j'admets avec circonspection seulement la possibilité qu'elle soit vraie. Je fais allusion particulièrement aux auteurs de la collection d'articles parapsychologiques qui s'appelle "The Iceland Papers" /27/. Afin que cette thèse atteigne une condition au-dessus d'une pure spéculation, il faut des expériences soigneuses et capables de répétition. Pourtant, je doute que de telles expériences n'aient déjà été accomplies. On pourrait dire que mes doutes montrent du conservatisme ou même du conformisme; mais à cette accusation je donne la réponse suivante. Avec l'assistance de trois élèves j'ai tenté de transmettre un message par le moyen de la réduction d'un paquet d'ondes, une tentative qui aurait dû réussir si la thèse précitée et une supposition auxiliaire avaient été vraies. Notre résultat fut négatif, ce qui présente un obstacle à la thèse de l'indispensabilité de l'esprit à la réduction du paquet d'ondes, bien qu'il soit loin d'être définitif /28/.

En retournant à Schrödinger, il est hors de question de faire valoir sa métaphysique en quelques minutes. Pourtant je voudrais indiquer la possibilité de formuler une métaphysique idéaliste qui, à mon avis, remédie à plusieurs imperfections de la sienne. Je trouve sa thèse que l'esprit ne se laisse pas encadrer dans une image scientifique du monde peu convaincante. La science de psychologie - c'est-à-dire, la vraie étude de la pensée, des sensations, et des sentiments, et pas seulement l'étude du comportement - a fait assez de progrès pour mettre cette thèse en doute. Et sa doctrine d'un Esprit unique est difficile à concilier avec l'évidence étendue des chagrins privés, d'espoirs cachés, et de complots secrets. Il discute brièvement (/29/, pp.94-95) d'un exemple d'un idéalisme pluraliste, à savoir de la monadologie de Leibniz, mais il l'écarte sur le champ parce que "les monades n'ont pas de fenêtres", ce qui contredit l'existence de langage et de communication. Autant que je sache, Schrödinger ne mentionne jamais l'idéalisme pluraliste de Whitehead, selon lequel les monades sont douées de fenêtres,

pour ainsi dire, parce que l'un d'eux peut contribuer aux sensations d'un autre. Whitehead suppose que l'état instantané d'une particule élémentaire doit être caractérisé en termes mentaux, comme "sensation", bien que les sens de ces termes soient extrapolés loin de leurs sens ordinaires. Son grand dessein est l'intégration de la physique dans une psychologie généralisée, comme Maxwell a intégré l'optique dans la théorie de l'électromagnétisme. Whitehead n'accepte pas du tout la thèse de Schrödinger, citée auparavant, qu'on doit "disjoindre les éléments et les réunir dans un ordre tout-à-fait différent" en établissant un rapport entre l'aspect-matière et l'aspect-esprit du monde. Selon Whitehead, l'aspect-matière est plutôt une version abrégée de l'aspect-esprit. "La notion d'énergie physique, qui est au fondement de la physique, doit alors être conçue comme une abstraction de l'énergie complexe, douée d'émotions et d'intentions . . ." (/30/, p.188).

Je ne voudrais pas cacher l'obscurité du discours de Whitehead. Tout obscur qu'il soit, il nous présente pourtant une possibilité importante que Schrödinger a niée: la possibilité d'intégrer l'esprit dans un tableau scientifique du monde.

En terminant, je voudrais faire une spéculation additionnelle: Peut-être les grandes implications métaphysiques de la mécanique quantique - à savoir, la non-séparabilité et le rôle des potentialités - a rendu l'unification de la physique et la psychologie moins lointaine. Peut-être avons nous affaire ici aux principes structurels, qui sont applicables aux phénomènes psychologiques non moins que physiques. S'il en est ainsi, les découvertes physiques de Schrödinger sont plus liées à ses préoccupations métaphysiques qu'il ne le reconnaît. Selon le calendrier révolutionnaire, nous nous trouvons encore au mois de brumaire, mais nous espérons que germinal va arriver.

Je suis très reconnaissant à Monsieur A. Frenkel pour ses commentaires conceptuels et son assistance linguistique. Les recherches qui ont servi de base à cet article sont soutenues en partie par la National Science Foundation of the United States.

Bibliographie

- /1/ Bergmann, P., Basic theories of Physics 1 (New York:Prentice-Hall) 1949
- /2/ Bohr, N., Atomic Physics and Human Knowledge (New York: Wiley) 1958
- /3/ Petersen, A., Quantum Physics and the Philosophical Tradition (Cambridge, Mass.: M.I.T.) 1968
- /4/ Bohr, N., Essays 1958-1962 on Atomic Physics and Human Knowledge (1963)
- /5/ Heisenberg, W., Physics and Philosophy (New York: Harper) 1962
- /6/ Margenau, H., Physics Today 7 (1954) 6
- /7/ Gleason, A., Journal of Mathematics and Mechanics 6 (1957) 885
- /8/ Bell, J.S., Physics 1 (1965) 195
- /9/ Bell, J.S., Reviews of Modern Physics 38 (1966) 447
- /10/ Bell, J.S., in Foundations of Quantum Mechanics, ed. B. d'Espagnat (New York: Academic, 171) 1971
- /11/ Wigner, E., American Journal of Physics 31 (1963) 6
- /12/ d'Espagnat, B., Suppl. Nuovo Cimento 4 (1966) 828
- /13/ Shimony, A., Physical Review D 9 (1974) 2321
- /14/ Eliot, T.S., Collected Poems 1909-1935 (New York: Harcourt, Brace et Co.) 1936
- /15/ Schrödinger, E., Naturwissenschaften 23 (1935) 807, 823, 844
- /16/ Schrödinger, E., Proceedings of the Cambridge Philosophical Society 31 (1935) 555
- /17/ Bohm, D. and Aharonov, Y., Physical Review 108 (1957) 1070
- /18/ Wu, C.S. and Shaknov, I., Physical Review 77 (1950) 136
- /19/ Schrödinger, E., What is life? (Cambridge, England: University Press) 1945
- /20/ Schrödinger, E., What is life? and Other Scientific Essays (Garden City, New York: Doubleday) 1956
- /21/ Schrödinger, E., Mind and Matter (Cambridge, England: University Press) 1957
- /22/ Schrödinger, E., Nature and the Greeks (Cambridge, England: University Press) 1954
- /23/ Mach, E., The Analysis of Sensations (New York: Dover) 1959
- /24/ Schrödinger, E., Proceedings of the Cambridge Philosophical Society 32 (1936) 446
- /25/ Shull, C.G., Atwood, D.K., Arthur, J. and Horne M.A., Physical Review Letters 44 (1980) 765

- /26/ Shimony, A., International Philosophical Quarterly 18  
(1978) 3
- /27/ Puharich, A., The Iceland Papers (Amherst, Wisc.: Essentia  
Research) 1979
- /28/ Hall, J., Kim, C., McElroy, B. and Shimony, A., Founda-  
tions of Physics 7 (1977) 759
- /29/ Schrödinger, E., My View of the World, (Cambridge, England:  
University Press) 1964
- /30/ Whitehead, A. N., Adventures of Ideas, (New York: New Ame-  
rican Library of World Literature) 1965



Discussion après l'exposé de : A. Shimony

Intervention de : A. Aspect (à l'adresse de J. Vuillemin)

Vous reprochez à Heisenberg son éclectisme philosophique. En quoi cette attitude est-elle répréhensible?

Intervention de : J. Vuillemin

La philosophie explicite (il y en a plusieurs, dans le cas de Heisenberg) d'un physicien ne reflète pas nécessairement sa philosophie implicite, qui, elle, consiste dans ce qu'il fait, non dans ce qu'il croit faire. La première n'est qu'un symptôme de la seconde. Peu importe donc que la première soit faite d'emprunts hétéroclites si la seconde est cohérente. Cependant, dans le cas de Heisenberg, l'éclectisme dans les références philosophiques paraît traduire une hésitation plus profonde entre une conception phénoménologique et une conception métaphysique (voir article Shimony p.1, § 3, l. 1 - 3).

Pourquoi l'éclectisme dans la philosophie implicite d'un physicien est-elle blâmable?

Une philosophie est un choix entre systèmes incompatibles. Par exemple, une conception phénoménologique ("philosophie de l'expérience") niera qu'une particule a ses propriétés intrinsèques (D'Espagnat, A la recherche du réel, pp. 19-20), ce qui élimine les paradoxes, mais rend mystérieuse la possibilité de lois naturelles. Une conception réaliste accepte l'existence de telles propriétés. Elle s'expose alors aux paradoxes et même à une information partielle. Il pourra se faire que pour conserver la cohérence du réalisme, il faille l'amputer et fort sévèrement.

Pour qu'une expérience comme celle d'Aspect puisse réfuter la forme commune du réalisme, il faut encore que, l'énumération des hypothèses constitutives de cette philosophie étant supposée complète, le réaliste s'en tienne au corps de ces hypothèses sans l'adultérer par ses emprunts qui changeraient l'objet du débat.

Intervention de : M. Paty

Il est vrai que Heisenberg fait preuve, dans ses textes philosophiques, d'un éclectisme bien excessif. Cela ne me semble pas nécessairement le lot de tout scientifique dès lors qu'il se pose des problèmes

philosophiques, et ce n'est certainement pas le cas d'Einstein. Je ne reprendrai pas ici la question de savoir si Einstein a, au cours de sa carrière, suivi des orientations différentes comme on l'a souvent dit. Pour ma part, je ne pense pas que tel ait été le cas. Fondamentalement, Einstein était philosophiquement un réaliste, et il a toujours eu à l'égard de la théorie physique des exigences très nettes. Il manifeste une position réaliste dans son travail de 1905 sur la relativité, et il exige de la théorie physique une profondeur, une rigueur et une simplicité fondamentale exprimée dès ses articles de 1905, 1906, 1909 sur les quanta: ces deux propositions sont assez contraires aux idées reçues, mais il suffit d'aller regarder les textes.

Cette question n'est pas oiseuse: il ne s'agit pas d'un simple souci historique, entendons de l'histoire prise pour elle-même. Les conceptions d'Einstein se trouvent au coeur de nos débats d'aujourd'hui au sujet de la physique, et il est particulièrement important de situer, par rapport à ces problèmes, et également pour ce qui est de leurs principaux protagonistes, les relations de la science et de la philosophie, de la physique et de l'épistémologie.

Si l'éclectisme d'un Heisenberg me paraît criticable, il n'en est pas de même, à mon avis, de l'ouverture d'esprit dont faisait preuve un Einstein. Je dis bien "ouverture d'esprit" et non pas laxisme ou opportunisme comme on l'en a accusé en se fondant, à tort, sur ses propres déclarations. Tout le monde connaît en effet sa phrase sur l'"opportunisme sans scrupule" au point de vue épistémologique qui devrait être l'apanage du chercheur. Mais on connaît moins le paragraphe entier du texte "Reply to criticisms" d'où cette formule est extraite (publié à la fin du livre édité en 1949 par P.A. Schilpp, Einstein Philosopher-Scientist). Dans ce texte, Einstein définit, précisément, ce que doivent être à ses yeux les rapports de la science et de l'épistémologie. C'est un texte extrêmement mesuré, où la formule en question prend figure de boutade. Il y est dit tout d'abord que l'épistémologie sans la science serait vide, et que la science sans l'épistémologie serait à peine pensable, qu'elle n'aurait aucune rigueur conceptuelle; mais que le scientifique ne saurait s'enfermer dans un système épistémologique, car il est astreint à la soumission aux conditions extérieures, c'est-à-dire à la réalité. Que, donc, "il doit apparaître à l'épistémologue systématique comme une espèce d'opportuniste sans scrupule". ("Doit apparaître à": cette distanciation interdit de prendre au pied de la lettre la recommandation comme s'il y était dit: "il doit être"). Il précise ensuite ce qu'il faut entendre par là: "il apparaît comme un réaliste dans la mesure où il cherche à décrire un monde indépendant des actes de la perception; comme un idéaliste dès lors qu'il considère les con-

cepts et les théories comme des libres inventions de l'esprit humain (c'est-à-dire qu'elles ne peuvent être déduites logiquement du donné empirique); comme un positiviste s'il considère que ses concepts et ses théories ne sont justifiés que dans la mesure où ils fournissent une représentation logique des relations entre les expériences des sens. Il peut même apparaître comme un platonicien ou un pythagoricien s'il considère que le point de vue de la simplicité logique est un outil indispensable et effectif de sa recherche".

On est bien loin d'un éclectisme qui allierait entre elles des conceptions disparates, chacune érigée en système, et contradictoires entre elles. Il s'agit de la définition d'une stratégie intellectuelle de la recherche scientifique, en fonction de tendances de la pensée et non de la soumission à des doctrines strictes. En fait, ce programme épistémologique me paraît admirablement résumer, et dans des termes extrêmement pesés - en chacun se tient une analyse philosophique des plus actuelles-, l'attitude de l'esprit scientifique. Je crois que peu de scientifiques ou d'épistémologues auraient su exprimer d'une façon aussi profonde et mesurée - témoins les débats récents - les positions respectives par rapport à l'attitude de recherche, du réel extérieur, du processus de conceptualisation, des exigences de logique interne des propositions, de leur lien à l'observation, du critère de simplicité.

Il ne s'agit pas ici de doctrines formelles dont on pourrait juger de l'incompatibilité logique entre elles et pour lesquelles ou serait tenu de respecter une cohérence et donc de rejeter certains termes. Il est question d'attitudes ou d'exigences de la pensée qui ne correspondent pas à des termes figés, et qui sont suffisamment souples pour pouvoir coexister. Dans le programme exposé par Einstein, il est clair que l'exigence de réalisme domine.

On a dit certes, qu'il ne fallait pas s'en tenir à ce que les scientifiques disent, mais étudier ce qu'ils font, c'est-à-dire quelle philosophie se trouve effectivement à l'oeuvre dans leur démarche. J'en conviens volontiers: la position réelle pratique et l'épistémologie exprimée sont deux choses fort différentes qui ne coïncident pas nécessairement. Il n'en reste pas moins que la philosophie explicite des scientifiques vaut d'être considérée en elle-même. Cela est particulièrement clair dans le cas d'Einstein, qui me paraît être un philosophe au sens plein du terme.