

4- Bohm et ses principes ampliatifs de sélection théorique

Michel Bitbol

Incontestablement la théorie à variables cachées, formulée par Bohm en 1952, est empiriquement équivalente à la mécanique quantique standard de 1926, et elle est donc parfaitement acceptable de ce point de vue, comme l'a souligné Jean Bricmont. Sa simple existence a démenti très tôt les théorèmes dits d'« impossibilité » des théories à variables cachées, dérivés de celui de von Neumann. On doit, à partir de là, admettre, avec Bernard d'Espagnat, que « le formalisme quantique est essentiellement neutre en ce qui concerne la question des variables cachées »¹. Mais cette position de principe une fois admise, je voudrais faire valoir quelques raisons qui me conduisent à ne pas accorder crédit aux contenus descriptifs de la théorie que Bohm a formulée en 1952. Leur seul intérêt, selon moi, est celui d'un contre-exemple opposé aux dogmes théoriques des années 1930 ; un *simple* contre-exemple illustratif, qui n'a pas les moyens d'atteindre à son tour à une position dogmatique, c'est-à-dire de prétendre fournir une représentation raisonnablement fidèle du réel.

Ma première raison de ne pas prendre au sérieux les contenus descriptifs de la théorie de Bohm de 1952 tient à son autocritique en partie involontaire. Poussée jusqu'à ses ultimes conséquences, la théorie de Bohm de 1952 ne parvient en effet même pas à respecter l'esprit de son propre programme, initialement atomiste. Au premier degré, elle représente bien le monde comme un ensemble de corpuscules séparés et dotés de propriétés. Mais la non-localité et le contextualisme conduisent à faire disparaître la totalité des conséquences de cette représentation. Les corpuscules sont séparés, mais ils s'influencent instantanément à distance; les corpuscules ont des propriétés, mais celles-ci sont altérées de façon non-contrôlable par les appareils qui servent à les révéler. L'analyse par la pensée, permise par la théorie de Bohm, ne peut avoir, en raison de sa structure même, aucune conséquence en termes d'analyse effective au laboratoire.

Assez récemment, on a pu par ailleurs montrer que les particules postulées par Bohm ne portaient pas leurs propriétés au point de l'espace où elles sont censées se trouver. Des résultats d'expériences d'interférométrie des neutrons², dans lesquelles l'interféromètre est tantôt parallèle tantôt orthogonal au champ de gravitation, ne peuvent en effet être pris en compte qu'à condition d'admettre qu'entre la préparation et la détection, la masse des neutrons est répartie dans

¹ B. d'Espagnat, *Le réel voilé*, Fayard 1994 p. 72. La phrase citée est assortie d'un correctif: « (tant que l'hypothèse de complétude n'y est pas faite) ». C'est-à-dire que le formalisme de la mécanique quantique n'est neutre en ce qui concerne la question des variables cachées qu'à condition de voir dans ce formalisme non pas une description complète de « ce qui est » (ce qui exclurait évidemment tout supplément descriptif), mais seulement un instrument prédictif ou une description lacunaire.

² H.R. Brown, C. Dewdney, & G. Horton, « Bohm particles and their detection in the light of neutron interferometry », *Foundations of Physics*, 25, 329 (1995).

tout le volume de l'interféromètre. Si l'on veut supposer malgré cela que les neutrons sont bien localisés à tout instant, comme le veut la théorie de Bohm de 1952, il faut admettre qu'ils ne portent pas en permanence leur masse là où ils se trouvent. Dépouillées de leur vêtement de propriétés, les particules sont ainsi ravalées au rang de « *bare particulars* », c'est-à-dire d'« individus dénudés ». Plus on avance dans la recherche, et plus les éléments de représentations classiques que véhiculait la théorie de Bohm en 1952 deviennent résiduels. À tel point que cette théorie peine de plus en plus à satisfaire au besoin de figuration concrète des processus intermédiaires (entre la préparation et la détection) qui était sa raison d'être au départ.

Passons à une autre difficulté. On a constaté que, dans le cadre de la théorie de Bohm de 1952, la présence d'une particule n'est pas toujours nécessaire pour qu'un détecteur réponde comme s'il venait d'en recevoir une. Il s'agit là du phénomène dit des « *fooled detectors* », c'est-à-dire des « détecteurs trompés ». Or, après la perte de son pouvoir de rassembler des propriétés comme la masse ou la charge électrique, la seule fonction qui semblait encore pouvoir être assignée à une particule localisée traitée comme « individu dénudé » était d'expliquer la localité des impacts sur des écrans détecteurs. Avec le phénomène des « détecteurs trompés », des impacts localisés peuvent survenir sans aucune particule localisée pour les expliquer. Non content d'être incertain, le contenu descriptif de la théorie de Bohm s'avère explicativement inutile.

Au fond, sous la couche superficielle d'une représentation corpusculaire-atomiste rémanente, l'approche proposée par Bohm en 1952 manifeste donc tout autant la crise de cette représentation que les versions standard de la mécanique quantique. Bohm et quelques-uns des partisans de sa théorie ont fini par l'admettre et par en tirer des enseignements drastiques³. Ainsi, suivant le Bohm des années 1970-80, une trace dans le volume de quelque chambre à bulles est seulement un « [...] aspect [d'un processus global sous-jacent] apparaissant dans la perception immédiate [...]. La décrire comme la trace d'une « particule » revient à admettre, en plus, que l'ordre primaire pertinent du mouvement est semblable à celui qui se manifeste dans l'aspect immédiatement perçu »⁴. La nouvelle thèse fondamentale de Bohm est que *sous* l'ordre explicite des mouvements d'allure corpusculaire dans l'espace-temps, se tient un ordre implicite holistique et non spatio-temporel. «Le mot « électron », insiste Bohm, ne devrait pas être considéré comme davantage qu'un *nom* par lequel nous attirons l'attention sur un certain aspect de l'holo-mouvement [...] — de telle sorte que ces « particules » ne sont plus considérées comme autonomes et comme existant séparément »⁵. Selon Bohm, par conséquent, les soi-disant « particules » ne doivent plus être considérées comme autonomes et existant séparément; notre discours en termes de particules, insiste-t-il, est une manière de s'égarer ontologiquement en attachant une signification substantielle aux apparences spatio-temporelles fragmentaires

³ Pour un commentaire sur ce point, voir B. d'Espagnat, *Le réel voilé*, *op. cit.* p. 343

⁴ D. Bohm, *Wholeness and the implicate order*, Ark paperbacks, 1983, p. 155

⁵ *Ibid*

déployées à partir de l'ordre implicite. La représentation initiale des particules a abouti à sa propre négation.

Une autre raison que j'ai de ne pas prendre au sérieux le contenu descriptif d'une théorie à variables cachées comme celle de Bohm est qu'elle est « métaphysique » au sens le plus aventureux, pré-kantien, du terme. Je sais que cette critique a l'air surannée, et empreinte d'un esprit positiviste que Jean Bricmont récuse par avance, mais elle peut facilement être étayée avec des arguments plus convaincants que ceux dont se contentaient les membres de l'école de Copenhague. Tout d'abord, je voudrais récuser un contre-argument sous-jacent à l'exposé de Jean Bricmont. Il est exact, comme il l'a souvent souligné, que les vecteurs d'état ne sont pas plus directement accessibles à l'expérience que ne le sont les potentiels quantiques ou les trajectoires corpusculaires bien définies de la théorie de Bohm de 1952. Mais, dans l'interprétation littérale de la mécanique quantique, les vecteurs d'état n'ont aucune prétention à décrire quelque processus naturel que ce soit. Seulement à permettre le calcul de la probabilité d'un certain résultat expérimental à la suite d'une préparation donnée. Il est inévitable qu'un outil de calcul ne soit pas accessible à l'expérience en tant que tel ; il est en revanche choquant de commencer par postuler de véritables processus physiques se déroulant dans la nature pour ensuite déclarer qu'ils sont principiellement, et en vertu de la théorie même qui les postule, inaccessibles à l'expérience. Or, même si la valeur instantanée des variables impliquées dans la théorie de Bohm n'est pas vraiment inaccessible — contrairement à ce que suggère l'expression « *variables cachées* » —, le suivi point par point d'une trajectoire « indépendante » est principiellement exclu par le contextualisme de cette théorie, et l'utilisation des influences non-locales pour transmettre de l'information *instantanément* à distance est rendu impossible par l'incontrôlabilité, également principielle, des conditions initiales. La théorie de Bohm est dès lors « stérile »⁶, puisqu'elle ne donne lieu à aucune prédiction supplémentaire par rapport à la mécanique quantique standard. Bohm et Hiley eux-mêmes ont admis que leur « théorie » n'était en fait qu'une « interprétation » de la mécanique quantique, en ce sens qu'elle ne donne lieu à aucune prédiction distincte de cette dernière. Et seuls quelques rares physiciens continuent à affirmer, avec des arguments à ma connaissance insuffisants, qu'il existe des « expériences cruciales » permettant de trancher entre la théorie de Bohm de 1952 et la mécanique quantique standard.

À partir de là, on s'aperçoit que la pluralité des théories à variables cachées et des représentations associées, alors même qu'aucun critère empirique ne permet de trancher entre elles, apparaît n'avoir aucune chance d'être un jour réduite. Quelle raison a-t-on, dans ces conditions, de désigner l'une d'entre elles plutôt qu'une autre comme représentation raisonnablement fidèle de la nature ? Comment esquiver le problème de la sous-détermination des théories si celles-ci ont pour corrélat l'absence non seulement présente mais future de critère de décision ? On pourrait bien sûr écarter l'argument de la sous-détermination si tout ce qu'on attendait d'une théorie comme celle de Bohm était une sorte de

⁶ B. d'Espagnat, *Le réel voilé*, op. cit. p. 372

béquille de l'imagination. Là où la mécanique quantique standard est silencieuse, la théorie de Bohm nous offre au moins une image commode ; elle nous fournit au minimum une figuration de quelque chose qui pourrait se passer entre la préparation et la détection, tout en restant compatible avec la capacité prédictive de la mécanique quantique standard. Et peu importe au fond que cette image soit seulement une fiction, et même une fiction parmi beaucoup d'autres également plausibles, pourvu que la fiction soit commode et qu'elle aide le physicien. Le problème est que cet aveu d'un statut de pure convenance est rarement fait par les partisans de l'interprétation de Bohm 1952. Que ce soit intentionnellement ou à leur corps défendant, ils passent facilement des énoncés figuratifs aux énoncés ontologiques. Lors d'une réunion similaire, j'ai été par exemple un peu surpris d'entendre Jean Bricmont nous dire que la théorie de Bohm nous indique *ce qui arrive* dans le monde physique. N'aurait-il pas été plus prudent de dire que cette théorie nous aide à faire des calculs *comme si* nous savions ce qui arrive dans le monde physique ? Et après tout, lorsqu'une image se révèle efficace dans certaines circonstances, l'assortir d'un *comme si* ne lui enlève pas grand-chose, si ce n'est peut-être le pouvoir mobilisateur des illusions.

À côté de ces critiques vigoureuses, je voudrais à présent souligner qu'en situation de forte sous-détermination, le choix de l'une ou de l'autre des théories en présence peut se justifier par une argumentation rationnelle. En particulier, le choix de la théorie de Bohm est accessible à une justification rationnelle, même si cette justification ne saurait se réduire à l'affirmation peu crédible d'atteindre une représentation fidèle de la réalité. Plusieurs philosophes des sciences ont ainsi souligné, à l'encontre du relativisme, ou du programme fort de la sociologie de la connaissance scientifique, que les critères de choix de théories sous-déterminées ne reposaient pas exclusivement sur des préférences personnelles ou des orientations culturelles. Ces critères peuvent d'abord impliquer des *valeurs* gnoseologiques largement partagées, comme le suggère H. Putnam⁷. Ils peuvent ensuite se développer en ce que Larry Laudan appelle des « principes ampliatifs », c'est-à-dire des règles rationnelles de conduite et d'élaboration théorique qui vont au-delà de la stricte nécessité de sauver les phénomènes. Les principes ampliatifs, comme leur nom l'indiquent, amplifient le champ du débat sur la valeur d'une théorie, en l'étendant au-delà de la stricte demande d'adéquation empirique, pour y inclure des exigences de nature intellectuelle. Aussi bien les valeurs, lorsqu'elles sont reconnues et thématiques, que les principes ampliatifs lorsqu'ils sont explicités, sont accessibles à la discussion contradictoire, et peuvent faire l'objet d'accords reposant sur des raisons largement reconnues comme acceptables, contrairement aux simples déterminismes culturels ou subjectifs. Notre but devient alors de reconnaître la nature des valeurs et des principes ampliatifs susceptibles de favoriser le choix de la théorie de Bohm au détriment des théories quantiques standard, et réciproquement. Cela nous permettra de comprendre qu'on puisse choisir d'adhérer au programme de Bohm de 1952 en dépit de ses défauts relevés ; et à

⁷ H. Putnam, *Realism with a human face*, Harvard University Press, 1990, trad. fr. *Le réalisme à visage humain*, Seuil, 1993

l'inverse cela me permettra d'exposer aussi clairement que possible mes arguments à l'encontre d'une telle adhésion.

Quelles valeurs guident ceux des chercheurs qui, évitant de suivre Bohm dans son ultime aboutissement moniste, continuent à voir dans sa théorie originale de 1952 un point d'appui crédible pour une représentation corpusculaire-atomiste du monde ? Quels sont les principes ampliatifs qui les conduisent à accepter des notions aussi baroques que celle d'entités individuelles dépouillées de leurs propriétés, ou encore de détecteurs qui se déclenchent sans particules alors même que l'on tient ordinairement le déclenchement ponctuel et discret de tels détecteurs pour une « preuve » de l'existence de particules ? On s'aperçoit vite, à la lecture de leurs textes que la principale de ces valeurs, celle qui domine toutes les autres et qui impose de renoncer à certaines d'entre elles, est ici l'exigence de *continuité historique* avec les théories de la physique classique, voire avec l'attitude ontologique naturelle du sens commun. Cette orientation est exprimée avec beaucoup de clarté par Bohm et Hiley eux-mêmes, lorsqu'ils se font les avocats de la version initiale de la théorie de Bohm : « Il est essentiel de montrer, écrivent-ils, que la mécanique quantique contient un niveau classique qui n'est pas présupposé comme dans l'approche habituelle, mais qui s'ensuit comme une possibilité à l'intérieur de la théorie quantique elle-même »⁸. Dans l'approche habituelle, c'est-à-dire celle qui est dérivée des idées de Bohr, le mode classique de description est en effet *présupposé* afin de prendre en compte les aspects manifestes du fonctionnement des appareillages, et d'interpréter en termes de *mesures* de variables certains événements macroscopiques qui arrivent à ces appareillages. Réciproquement, les prédictions quantitatives de la physique classique sont retrouvées comme approximations à grande échelle des théories quantiques. Ceci permet d'établir un double lien affaibli, mais suffisant tant qu'on s'en tient à une attitude d'instrumentalisme méthodologique, entre la physique quantique et la physique classique.

Par contraste, la théorie de Bohm a pour ambition d'aller au-delà de ce simple accord *opératoire et quantitatif*, et de maintenir une relation par *continuité des concepts et des représentations*. L'un des avantages de cette continuité des concepts et des représentations, comme l'a souligné à juste titre J. Bricmont, est de maintenir du même coup une sorte d'unité figurative et discursive entre les sciences physiques et les sciences non-physiques. Dans la cascade des réductions allant d'un niveau d'organisation à l'autre, les sciences de la nature utilisent presque toutes le même langage de propriétés intrinsèques, de processus spatio-temporels se déroulant d'eux-mêmes dans la nature, face à un sujet expérimentateur qui ne fait que les mettre en évidence. Une physique du phénomène bohrien contextuel, et de la pure prédiction de ce type de phénomène, fait exception, et brise l'élan des réductions. Alors que la physique était censée fournir le niveau de base de l'explication scientifique, voire son ultime fondement, elle finit, lorsqu'on s'en tient à une mécanique quantique standard d'esprit bohrien, par renvoyer l'image en miroir du niveau le plus élevé, c'est-à-dire celui

⁸ D. Bohm & B. Hiley, *The undivided universe*, Routledge, 1993, p. 160

de l'activité humaine. Elle boucle une sorte de cercle des sciences, au lieu de prendre sa place dans une construction hiérarchique allant de la base physique aux efflorescences chimiques, biochimiques, cellulaires, pluri-cellulaires, neuro-physiologiques, et sociales. La théorie de Bohm de 1952 permet incontestablement d'éviter cela en parlant elle aussi le langage des propriétés intrinsèques et des processus spatio-temporels autonomes. Cela constitue un argument incontestable en faveur de la théorie de Bohm, l'expression d'une valeur d'homogénéité du système des sciences, la traduction d'un principe ampliatif de continuité historique et architectonique des concepts scientifiques.

Cependant, à mes yeux de philosophe de la physique d'orientation néo-kantienne, cet argument n'est pas satisfaisant. Car au fond, la brusque cassure de continuité dans l'échelle des concepts qu'a imposé la mécanique quantique standard peut être vue comme un avantage plutôt qu'un défaut. L'avantage de conduire à s'interroger de façon plus impérative que jamais auparavant sur les conditions de possibilité d'un discours en termes d'objets spatio-temporels et de propriétés intrinsèques. Ce discours, il ne faut pas l'oublier, est une véritable conquête obtenue par le sujet connaissant au moyen d'un ensemble de procédés que j'appellerai avec Kant des procédés *constitutifs*. Il se trouve que les procédés constitutifs courants aboutissant à des objets situés dans l'espace ordinaire, de type corps matériels dotés de propriétés locales, ont fonctionné à une bonne approximation près jusqu'à des échelles assez petites proches de celles qu'explore la biochimie. Mais en deçà de cette échelle, on s'aperçoit qu'ils n'opèrent plus, qu'ils ne permettent plus d'assurer la synthèse des phénomènes ; ou du moins qu'ils ne l'assurent, comme dans les théories à variables cachées, qu'au prix de l'adjonction d'un liant artificiel : celui de processus inter-phénoménaux principiellement inaccessible à l'expérience. Cet obstacle rencontré par la procédure la plus courante de constitution devrait à mon sens servir de révélateur à toutes les sciences plutôt qu'être dissimulé par une théorie comme celle de Bohm de 1952. Elle devrait les inciter à remettre en question à tous les niveaux la théorie dualiste et représentationnaliste de la connaissance, à chercher dans quelles circonstances et à quelles conditions particulières elle devient à peu près acceptable plutôt que de la prendre comme une évidence ou une donnée première du monde réel. Des travaux de biologie et de sciences cognitives sur des théories non-représentationnaliste de la connaissance, comme ceux de Francisco Varela, montrent que ce tournant est déjà pris.

Le principal argument ampliatif en faveur de la théorie de Bohm de 1952 ayant été discuté, je voudrais à présent me tourner vers deux arguments ampliatifs en faveur des théories quantiques standard. Le premier est la valeur de simplicité et d'unité conceptuelle à l'intérieur de la physique. Nous devons remarquer d'abord à ce propos que la théorie de Bohm de 1952 implique de renoncer à l'unité formelle des théories quantiques. Bohm et Hiley retiennent en effet *deux* sortes d'états et développent *deux* sortes de formalismes et de représentations complètement différents, les uns pour les fermions et les autres pour les bosons. Les fermions sont traités par la théorie de 1952 comme des corpuscules pilotés par un potentiel quantique non-local. En revanche, d'après

des travaux ultérieurs de Bohm, les bosons ne peuvent en aucun cas être traités de la même façon si l'on veut obtenir des prédictions empiriquement adéquates.

L'analyse des motivations de ce renoncement à l'unité conceptuelle de la physique microscopique est particulièrement instructive. La théorie quantique des champs standard, avec sa notion caractéristique de niveau quantifié d'excitation d'un milieu vibratoire, est applicable aussi bien aux fermions qu'aux bosons moyennant une altération algébrique mineure : le remplacement des relations de commutation (pour les bosons) par des relations d'anti-commutation (pour les fermions). Les différences de comportement entre fermions et bosons, qui font tenir couramment les premiers pour des « éléments constitutifs de la matière » et les seconds pour des « médiateurs d'interactions », se résolvent ainsi dans un schéma algébrique élargi ; et le sentiment largement partagé chez les physiciens est que ces différences pourraient se résoudre de façon encore plus radicale par le biais des opérations de *supersymétrie*, aptes à transformer les fermions en bosons (ou vice-versa). La théorie quantique des champs garantit donc un remarquable niveau d'unité formelle, et tend (à travers le concept de supersymétrie) vers un niveau d'unité encore plus élevé.

Bohm et Hiley le reconnaissent. Ils montrent de surcroît comment, en adoptant les intensités de champs comme *seuls* étants pour le cas des bosons, il est tout à fait possible d'*expliquer* tous les phénomènes discontinus habituellement tenus pour des effets corpusculaires sans jamais faire intervenir le moindre corpuscule. L'explication en question fait appel à des processus non-linéaires de concentration instantanée de l'énergie auparavant dispersée dans le champ, au moment de son interaction avec un absorbeur. Elle reprend, dans un contexte différent, une idée évoquée par Einstein en 1909 comme alternative possible à l'hypothèse des photons, puis immédiatement rejetée par lui en raison d'un argument d'implausibilité : l'idée de faire appel, pour rendre compte des processus *d'absorption*, à une re-concentration d'énergie ondulatoire qui soit le symétrique temporel de la dispersion d'énergie ondulatoire constatée lors des processus *d'émission*⁹. « C'est, concluent Bohm et Hiley, la distribution de type ondulatoire des étants de champs qui détermine les manifestations de type corpusculaire »¹⁰.

La question que l'on se pose à présent est la suivante : puisque tous les effets prétendument corpusculaires des bosons peuvent être pris en compte par une théorie des champs, pourquoi ne pas étendre ce genre de théorie à l'ensemble des phénomènes, aussi bien fermioniques que bosoniques ? Pourquoi ne pas mettre à profit l'unité formelle et les projets de complète unité structurale de la théorie quantique des champs, pour généraliser l'explication des discontinuités apparentes par un processus de concentration locale instantanée de l'énergie d'un champ ontologiquement interprété ? Plusieurs sortes de réponses à cette question

⁹ A. Einstein, « L'évolution de nos conceptions sur la nature et la constitution du rayonnement » (1909), dans A. Einstein, *Oeuvres I, Quanta*, Seuil, 1989. Voir L. Soler, *Emergence d'un nouvel objet symbolique : le photon*, Thèse de l'université Paris I, Décembre 1997

¹⁰ D. Bohm & B. Hiley, *The undivided universe*, op. cit. p. 231

ont été apportées par Bohm, mais la plus nette se trouve dans un article de Bohm, Hiley et Kaloyerou de 1987 : « si nous considérons les fermions comme des champs, ils obéiraient à des relations d'anti-commutation qui n'ont pas de limite classique [...] »¹¹. En d'autres termes, une éventuelle théorie des champs fermioniques serait privée de la relation de continuité forte avec la physique classique qui est adoptée comme *principe ampliatif* dominant par la plupart des partisans de la théorie de Bohm, dans sa version 1952 élargie par l'introduction d'états de champ. Cela dit, l'histoire ne s'arrête pas là. Dans une discussion qui a eu lieu il y a quelques semaines à Londres, Basil Hiley, le collaborateur le plus direct de Bohm et son successeur à Birbeck College, m'a appris qu'il était près d'obtenir une unification des concepts et des représentations en admettant, comme je l'ai suggéré précédemment, que, comme les Bosons, les Fermions se réduisent aussi à des concentrations sporadiques et instantanées d'un champ. Autrement dit, le principe ampliatif d'unité conceptuelle interne à la théorie physique la plus avancée a fini par prévaloir sur le principe ampliatif de continuité historique. Et le résultat de cette substitution de principe ampliatif est l'élimination *complète* de la représentation avancée en 1952 : celle d'un monde fait de corpuscules pilotés par une onde non-locale.

Un second principe ampliatif me conduit au choix de ne pas adopter la théorie de Bohm de 1952. Ce principe est, si l'on veut, une version sophistiquée du rejet d'un excès de spéculation métaphysique : il consiste à rechercher la théorie dont le surplus de contenu descriptif est minimal par rapport à ce qui est indispensable pour rendre compte des phénomènes. En d'autres termes, il conduit à se fixer comme norme un étayage empirique maximal des éléments constitutifs d'une théorie physique. Un exemple de cette démarche a été développé par Clark Glymour¹², à propos du rôle que joue la géométrie en relativité générale. Reichenbach avait montré dans le passé qu'il est possible de rendre compte des phénomènes de gravitation prévus par la relativité générale sans nécessairement utiliser une géométrie riemannienne. N'importe quelle autre géométrie ferait l'affaire à condition d'introduire en plus des forces universelles de valeur appropriée. Il semble donc y avoir sous-détermination de la géométrie par l'expérience. Mais selon Glymour, cette sous-détermination est une illusion. Son argument principal a trait à l'évaluation de ce qu'il appelle la *confirmation* d'une théorie par l'expérience. Plusieurs théories peuvent être empiriquement équivalentes au sens minimal où elles rendent compte des mêmes phénomènes, sans pour autant être aussi bien confirmées les unes que les autres par l'expérience. Une théorie est moins bien confirmée qu'une autre, empiriquement équivalente au sens minimal, si elle comporte davantage d'hypothèses qui ne sont pas directement testables expérimentalement. Ce surplus d'hypothèses la rend inférieure à sa rivale, en dépit de sa capacité à prédire les mêmes phénomènes qu'elle. Or, comme le montre Glymour, les théories non-standard de la gravitation qui, contrairement à celle d'Einstein, écartent l'emploi de la

¹¹ D. Bohm, B.J. Hiley, & P.N. Kaloyerou, « An ontological basis for quantum theory », *Physics Reports*, 144, 321-375, 1987

¹² C. Glymour, « The epistemology of geometry », *Noûs*, XI, 227-251, 1977

géométrie riemannienne, comportent un surplus d'hypothèses non-testables. Elles supposent un partage « [...] du champ métrique dynamique de la relativité générale en une métrique minkowskienne fixée, et un tenseur de champ gravitationnel qui, bien entendu, n'est pas fixe mais dynamique, c'est-à-dire dépendant de la distribution de matière et de rayonnement »¹³. Mais du fait de la flexibilité de cette procédure de partage, la métrique relevant de relativité restreinte et le tenseur de champ gravitationnel ne sont pas univoquement définis par le champ métrique dynamique dont ils dérivent. Chacun d'entre eux séparément apparaît en surplus, parce que seule leur combinaison est expérimentalement testable. Les théories non-standard, minkowskienne, de la gravitation, conclut Glymour, sont donc moins bien confirmées que la relativité générale qui fait appel à la géométrie riemannienne. Sous condition d'adopter le principe ampliatif de confirmation empirique maximale des contenus hypothétiques d'une théorie, la sous-détermination de la géométrie physique par l'expérience est donc levée.

Il me semble qu'il en va de même en physique microscopique. Manifestement, entre la théorie de Bohm de 1952 et la mécanique quantique standard, le principe de confirmation empirique maximale conduit à choisir la seconde, bien plus économique en contenus non directement testables expérimentalement. Ce principe a d'ailleurs très bien pu jouer implicitement à l'origine historique de la mécanique quantique. Il suffit de lire l'article que Schrödinger consacra en 1926 à l'équivalence entre la mécanique matricielle de Heisenberg et sa mécanique ondulatoire pour se convaincre que le principe ampliatif de confirmation optimale était déjà connu et apprécié à l'époque. Dans la mesure où les deux théories rendent compte des mêmes phénomènes, Schrödinger se demande si l'une n'est pas supérieure à l'autre sur un autre plan que celui de la stricte adéquation empirique. Beaucoup de physiciens de l'époque ont pensé que la mécanique ondulatoire était supérieure à la mécanique matricielle en ceci qu'elle fournit une image des processus atomiques. Schrödinger lui-même avait été guidé par cette valeur de la figuration imagée. Ce n'est pourtant pas sur cet argument qu'il s'attarde. Bien au contraire, il se demande si la mécanique matricielle ne pourrait pas être tenue pour supérieure à la mécanique ondulatoire sur un critère ampliatif d'économie. Ayant soulevé cette question, cependant, il lui apporte une réponse clairement négative. Les deux théories sont strictement et bi-univoquement équivalentes, et la mécanique ondulatoire n'est donc pas moins économique que la mécanique matricielle. Voici comment Schrödinger annonce sa conclusion : « Les fonctions propres (de la mécanique ondulatoire) ne constituent pas une sorte d'« enveloppe charnelle » particulière et arbitraire recouvrant le squelette nu des matrices et satisfaisant notre besoin d'images intuitives ». Et il ajoute aussitôt après que si c'était le cas, cela « [...] conférerait aux matrices une supériorité effective du point de vue de la théorie de la connaissance ». Ici, Schrödinger utilise clairement le principe ampliatif de confirmation maximale — ou d'économie en hypothèses supplémentaires non confirmables — pour rejeter par avance des théories qui n'auraient pour avantage que d'ajouter une chair interprétative au squelette

¹³ *Ibid.*

théorique empiriquement adéquat. Cela suffit à lever la sous-détermination, en la défaveur de théories comme celle de Bohm de 1952. Cela mine également l'argument des auteurs qui affirment que le choix de la mécanique quantique standard, dotée de l'interprétation orthodoxe, n'a été que l'effet d'une contingence historique. En effet, à supposer même que l'interprétation de l'onde-pilote de de Broglie ait été viable avant les interprétations de Bohr puis de von Neumann, l'application du principe ampliatif de confirmation maximale aurait très bien pu conduire à l'adoption après coup de l'interprétation orthodoxe au détriment de celle de l'onde-pilote.