

6- Débat d'ensemble

Intervenants : Jean Bricmont, Michel Bitbol, Pierre Perrier, Jean Staune, Bernard d'Espagnat, Anne Dambricourt, Dominique Laplane, Hervé Zwirn, Jean Petitot et Jean-François Lambert.

Jean Bricmont

J'entamerai la discussion en soulignant que, si contrairement à vous, je n'aborde pas d'emblée les problèmes philosophiques, c'est parce que je les considère comme très compliqués, et que je pense qu'il vaut mieux faire le simple avant de faire le compliqué. Ce n'est pas du mépris pour les problèmes philosophiques. Au contraire, j'ai tendance à trouver que des problèmes réels, posés par le rapport de notre esprit ou de notre cerveau au monde, sont trop compliqués pour que l'on puisse les comprendre réellement aujourd'hui : faisons donc d'abord les choses simples, puis on s'intéressera aux choses compliquées.

Cela dit, à propos de la théorie de Bohm, vous avez évoqué, en substance, une préconception classique et une sous-détermination des théories par l'expérience. Mais mon problème avec la préconception classique, c'est que je ne sais pas ce que c'est. En effet, il ne faut pas oublier que la physique classique comprend l'électromagnétisme et la relativité générale classique. Dans ces matières, il y avait déjà une sous-détermination de l'ontologie.

Supposons que je vous dise : moi je ne crois pas au champ électromagnétique dans le vide. Tout ce que je crois, c'est qu'il y a des forces agissant à distance, qui agissent simplement entre particules chargées. J'utilise pour décrire ces forces les équations de Maxwell et la force de Lorentz. J'utilise exactement les mêmes équations. Mais je prends un point de vue « positiviste » en disant que la seule chose qui existe réellement, ce sont des forces, mais des forces ayant comme résultat net l'interaction entre ces choses-là. Il n'y a pas de champ électromagnétique tout comme il n'y a pas de bosons ; il n'y a que des fermions, de la matière. La matière agit à travers des forces et les forces sont décrites mathématiquement — c'est un artifice mathématique — par les équations de Maxwell et la force de Lorentz. Tout, là, est empiriquement adéquat. Il n'y a pas de champ électromagnétique dans le vide. Il n'y a rien dans le vide. Vous ne prouverez pas le contraire en vous installant dans le vide avec un appareil radio et en constatant que vous écoutez, disons, France Culture. Car l'appareil radio est, bien entendu, fait de matière et je vous rétorquerais qu'il y a une interaction directe, qui est d'une force, entre l'émetteur de France Culture et votre appareil radio, mais qu'il n'y a pas de champ électromagnétique entre les deux.

Nous avons ici, en physique classique, une sous-détermination ontologique qui me paraît exactement du même type que la sous-détermination que j'ai dans la théorie de Bohm. Ça ne me dérange pas qu'il y ait des sous-déterminations car

cela me paraît assez normal. D'un autre côté, j'ai une certaine vision objective du monde, qui est sous-déterminée certes, mais j'ai quelque chose, je raconte quelque chose sur ce qui se passe, je ne fais pas intervenir l'appareil de mesure au centre de ma théorie. Tandis que, dans la mécanique quantique ordinaire, prise, comme je l'ai dit, dans le sens littéral, tout ce dont on parle, ce sont des corrélations répétables entre appareils de mesure — je ne dis pas entre observateurs — dans des laboratoires contemporains. Il n'est pas vrai que l'on puisse y raconter une histoire. Lorsqu'on ne peut séparer la particule de son environnement expérimental, la raison pour laquelle on ne peut les séparer est, dans la théorie de Bohm, très claire : elle est contenue dans les équations. Une fois que l'on m'a dit ça, cela ne me dérange pas qu'on ne puisse pas les séparer. Le problème réside dans le fait que, tout au contraire, en mécanique quantique, je ne sais pas comment cela se fait : j'ai une fonction d'onde, la fonction d'onde donne la probabilité du résultat de la mesure — et c'est tout.

C'est un argument très curieux de me dire, par exemple, dans la théorie de Bohm, les bosons ne sont pas des particules. Mais, en mécanique quantique, ce ne sont pas des particules non plus : il ne faut pas oublier qu'en mécanique quantique il n'y a ni boson, ni fermion, ni champ, ni spin, ni quoi que ce soit... Il n'y a aucune propriété. Il y a simplement, si on la prend littéralement, des recettes qui vous disent ce qui se passe lorsque vous faites des manipulations en laboratoire — point à la ligne. C'est très important d'être honnête concernant ce point, c'est-à-dire de s'en tenir à cette position-là, qui n'est pas quelque chose qui a simplement dépassé le paradigme classique, mais qui, prise à la lettre, paraît absurde. En fait, ce qui se passe, c'est qu'il y a, en mécanique quantique, tout un langage chosifiant — on dit : ah la particule arrive, elle a une impulsion, un spin, etc... — qui va bien au-delà de l'interprétation littérale, alors que, dans la mécanique quantique, il n'y a rien, il n'y a aucune ontologie.

Si les gens essaient d'en faire une, ils vont, bien entendu, rencontrer la sous-détermination comme en physique classique ; et la question de savoir si les éléments ainsi introduits sont arbitraires et non testables est une longue discussion sur ce que l'on appelle « testable » en science. Toute la philosophie des sciences, toute la critique de Popper, toutes les épistémologies post-positivistes, montrent que la relation de testabilité ne s'applique pas à des énoncés isolés. Dans la mesure où la mécanique quantique de Bohm fournit toutes les prédictions de la mécanique quantique ordinaire, tous les tests de la mécanique quantique ordinaire sont des arguments en faveur de la théorie de Bohm. Il n'est pas vrai qu'il y ait deux théories — d'une part la mécanique quantique et de l'autre la théorie de Bohm — car la théorie de la mécanique quantique n'est pas une théorie.

Michel Bitbol

Je pense que vous avez raison au moins sur un point. Vous avez raison à mon sens lorsque vous demandez d'être cohérent, d'aller jusqu'au bout de l'interprétation de type instrumentaliste de la mécanique quantique et d'éviter de

faire des mélanges approximatifs entre un usage instrumentaliste de la théorie et des reliquats de vocabulaire ou de croyances réalistes. Le professeur d'Espagnat a d'ailleurs très justement insisté sur ce point dans la préface du *Réel voilé*. En revanche, lorsque vous dites « je veux montrer comment fonctionne cette fameuse contextualité à la Bohr », lorsque vous espérez mettre au jour les détails de l'interaction objet-appareil par le biais de la théorie de Bohm 1952, je ne vous suis plus du tout. En raison de l'extrême sous-détermination à laquelle sont soumises les théories de ce genre — dont les processus postulés sont principalement inaccessibles à l'expérience —, vous ne pouvez pas prétendre les utiliser pour montrer comment « ça fonctionne » *en réalité*, de façon certaine et unique. Vous pouvez tout au plus proposer un scénario plausible parmi bien d'autres, une image parlante de la façon dont « ça pourrait fonctionner », si le monde avait la politesse de ne pas trop s'éloigner des représentations héritées de la physique classique. La théorie de Bohm 1952 est en somme un instrument de pensée et d'imagination qui peut vous être utile, mais il est vain d'espérer en tirer des conclusions d'ordre ontologique au sens fort.

Jean Bricmont

Je crois que, si vous réfléchissez à fond aux explications en termes de champ électromagnétique, si vous dites « qu'est-ce que c'est que l'orage ? », vous avez le même genre de problème. Je pense que, dans la mesure où il y a des problèmes — et il y en a avec le réalisme —, j'insiste sur le fait qu'ils existaient déjà en physique classique.

Pierre Perrier

Je souhaiterais juste dire une boutade, mais qui est très instructive quant aux limitations de la pensée humaine. J'étais tout à l'heure dans une salle où il y avait une statue d'un grand physicien de l'époque des Lumières, qui était allé faire des mesures concernant le mètre en Bretagne, et qui en était revenu avec ses mesures. On lui avait alors posé la question suivante : « avez-vous eu des difficultés avec les habitants ? » Il a répondu : « non, pas trop, mais quel retard dans leur pensée : ils vont jusqu'à imaginer qu'il y a une influence de la Lune sur les marées ! »

Jean Staune

Finalement, qu'attend un spiritualiste intelligent de la mécanique quantique ? Un spiritualiste va-t-il utiliser la mécanique quantique pour dire ou faire dire qu'il y a un Créateur ? Non. Concernant la probabilité de la notion de Créateur, il pourrait réfléchir sur le principe anthropique, en discuter avec Trinh Xuan Thuan, Freeman Dyson, Paul Davies, John Polkinghorne et d'autres. Va-t-il s'adresser à la mécanique quantique pour voir s'il y a un sens dans l'évolution, si l'homme est là par hasard ou non ? Non. Il va, pour cela, discuter avec des

biologistes comme Anne Dambricourt, Rémy Chauvin ou Michael Denton. Même s'il s'agit du domaine de la conscience, je reste persuadé qu'un spiritualiste intelligent ne doit pas s'intéresser à la mécanique quantique, mais s'adresser à des personnes telles que Jean-François Lambert, sir John Eccles ou d'autres, afin d'évaluer si l'homme est descriptible entièrement en terme neuronal ou si quelque chose échappe à la description neuronale dans l'homme. Ainsi, c'est un sujet qui est de l'ordre de la neurophysiologie, de la psychophysiologie ou bien encore des sciences de la conscience et non de l'ordre de la mécanique quantique.

Une fois cette constatation posée, on peut reposer la question : que demande un spiritualiste à la mécanique quantique ? Il s'agirait, finalement, de montrer le caractère non ontologique de notre niveau de réalité — ce qui nous ramène au débat sur la question des niveaux de réalité. C'est-à-dire, montrer qu'il y a une ouverture, quelque chose d'autre, peu importe ce qu'est cette autre chose. Peu importe que ce soit le chaos quantique ou un Dieu avec une grande barbe blanche. Ce qui importe, c'est que notre niveau de réalité, défini au sens du professeur d'Espagnat comme le réel proche — celui qui, même s'il est à l'autre bout de l'univers, est conceptuellement proche de nous, c'est-à-dire qui est dans le temps, l'espace, l'énergie, la matière, où il y a des notions de trajectoire, de localité, de causalité — c'est que ce niveau de réalité puisse être considéré comme non ontologiquement suffisant et ouvert sur quelque chose d'autre. Je pense que c'est ici tout ce qu'un spiritualiste peut attendre de la mécanique quantique.

Or, justement, il s'agit bien, lorsque l'on regarde le débat actuel, de ce que la mécanique quantique lui donne. Ainsi, David Bohm a le même combat — façon de comparer un peu caricaturale — que Bernard d'Espagnat et cela malgré l'énorme différence qui existe entre leurs pensées : l'un adhère aux théories à variables cachées non locales contrairement à l'autre. La première fois que j'ai rencontré Bernard d'Espagnat, il y a 11 ans au Collège de France, la première question que je lui ai posée était : « Je viens d'écrire un article sur votre vision du réel où je vous mets dans le même sac que D. Bohm. Est-ce vrai ou faux ? ». Il m'a alors répondu : « Non pas du tout ».

Le Bohm de 1970 — que Michel Bitbol a cité au cours de cette rencontre — parle d'un autre niveau de réalité qui se manifeste, dont la réalité qui nous apparaît, n'est que la projection d'un niveau de réalité plus profond. Il s'apparente au « réel voilé » de Bernard d'Espagnat, qui est à la base du réel proche dans lequel nous vivons. Donc, tous les problèmes, à partir du moment où l'on accepte même la non-localité en tant que telle, peuvent mener à la « recherche d'une ouverture » que le spiritualiste « intelligent » attend de la mécanique quantique.

Je voudrais juste citer un passage du *Cantique des Quantiques*, d'autant plus frappant qu'il émane de deux matérialistes — Sven Ortolini et Jean-Pierre Pharabod — qui parlent de l'émergence de nouvelles possibilités philosophiques et de l'abolition du carcan matérialiste. « En effet, la science des XVIII^e et XIX^e siècles avait abouti au triomphe du matérialisme mécaniste, qui expliquait tout par l'agencement de morceaux de matière minuscules et indivisibles —

agencement réglé par diverses forces d'interaction qu'ils exerçaient entre eux. Cette vision assez primitive, à laquelle se tiennent encore la plupart des biologistes, avait pour conséquence l'inutilité des religions et des philosophies, qui font appel à l'existence d'entités non matérielles. Le fait que ces morceaux de matière se soient révélés n'être en réalité que des abstractions mathématiques non locales — c'est-à-dire pouvant s'étendre sur tout l'espace et de plus n'obéissant pas au déterminisme — a porté un coup fatal à ce matérialisme classique. Certes, le matérialisme est encore possible mais c'est un matérialisme quantique, qu'il faudrait appeler *matérialisme fantastique* ou *matérialisme de science-fiction* ».

Ainsi, la vision du réel que nous donne la mécanique quantique permet une vision matérialiste, mais la vision d'un matérialisme « transformé » qui doit admettre des choses beaucoup plus étranges et différentes de ce que l'on s'attend à trouver à notre niveau de réalité dans la vision classique ; un matérialisme qui doit concéder l'ouverture d'une porte sur quelque chose d'autre, dont la science ne nous dit rien à part qu'il existe.

En conclusion, on peut dire que pour les matérialistes physiciens qui se pencheraient sur le développement de la théorie de Bohm dans l'espoir d'y trouver quelque chose qui pourrait réfuter une ouverture en direction d'une conception spiritualiste du monde — non une preuve —, ce serait une perte de temps puisque, de toute façon, le spiritualiste a de la mécanique quantique ce qu'il en attend — qui est justement cette ouverture-là — et cela même si on pouvait valider la théorie de Bohm de 1952. Il y a suffisamment de bizarreries pour ouvrir cette porte, pour montrer le caractère non ontologique du réel.

Bernard d'Espagnat

Je me trouve pleinement d'accord avec les neuf dixièmes de ce que vous avez dit. En particulier vous avez, à mon sens, pleinement raison de souligner qu'en raison de la non-localité, si la physique actuelle permet encore, à la rigueur, une vision matérialiste, il ne peut plus s'agir que d'un matérialisme profondément transformé, qui, en fait, doit admettre la validité d'idées totalement contraires à celles que la vulgate matérialiste a toujours défendues et défend encore.

Cela dit, vu l'existence, précisément, de la théorie de Louis de Broglie et David Bohm, je n'irais, pour ma part, pas jusqu'à dire que le matérialiste doit absolument concéder l'ouverture d'une porte sur « quelque chose d'autre ». La théorie de ces auteurs est cohérente et elle est ontologiquement interprétable. Son défaut est seulement — mais c'est un défaut essentiel — celui de ne pas être scientifiquement crédible. Contrairement à ce que Jean Bricmont semble penser, je ne crois pas que, si une écrasante majorité des physiciens écarte cette théorie, c'est uniquement par préjugé. Toutes sortes de raisons font que l'idée de reformuler en ces termes l'ensemble de la physique fondamentale actuelle — y compris la théorie quantique des champs, celle des interactions fortes, l'idée de

supersymétrie, etc. — paraît chimérique. En outre, et plus fondamentalement, la théorie en question attribue aux diverses grandeurs considérées à juste titre comme observables — la position exceptée — des valeurs qui — elle le prédit elle-même — ne sont pas celles qui sont *réellement* observables. Au chapitre 4 de son livre, *L'aveuglante proximité du réel*, Michel Bitbol caractérise très justement ce trait quand il écrit que « la théorie de David Bohm n'est en définitive qu'un expédient consistant à greffer sur le corps de la mécanique quantique une forme ontologique empiriquement vide ». Dans ces conditions, je dirais, quant à moi, que, si quelqu'un veut absolument continuer à croire à cette théorie, il le peut logiquement parlant. Je dirais que c'est un « acte de foi légitime ». Et sur la base de cet acte de foi, il peut rejeter l'ouverture dont vous parlez. Mais d'un autre côté, si, pour les raisons que je viens de dire — ou d'autres ! —, on n'arrive pas à croire au modèle de Bohm ni aux autres modèles ontologiquement interprétables — qui tous rencontrent des difficultés similaires — et si, d'autre part, on n'adhère pas à « l'idéalisme intégral », alors le rejet en question devient plus difficile car c'est vrai que la mécanique quantique « normale » ne décrit pas une entité existant indépendamment de nous.

La difficulté que cette discussion met en lumière me paraît intimement liée à celle que soulève la notion d'explication. Je pense ici aux échanges de vues que nous avons eus lors de notre débat sur le principe anthropique. Jean Bricmont nous disait alors, à juste titre selon moi, qu'on ne peut accepter n'importe quel type d'explication et que, même en science, il est parfois proposé des explications qui ne peuvent être retenues. Il nous disait, par exemple, que, pour lui, la notion d'univers inobservables ne pouvait servir de fondement à une explication valable. Que si, pour expliquer le principe anthropique, il devait faire appel à de tels univers, il aimait autant faire appel à un principe créateur, ou dire qu'il n'avait pas d'explication du tout. Ici, nous nous trouvons devant quelque chose d'assez similaire, puisque nous avons une explication — à savoir le modèle de Bohm — mais qui est finalement aussi fantastique que celle par univers inobservables, puisque le modèle lui-même nous dit qu'on ne pourra pas en tirer des conséquences observables. Par conséquent, j'aurais tendance à suggérer à Jean Bricmont d'appliquer à ce modèle les critères qu'il préconisait lui-même lors de cette séance, autrement dit de reconnaître que le modèle n'est pas une vraie explication.

Anne Dambricourt

Je crois comprendre qu'il y a un consensus quant à la reconnaissance de la non-localité.

Jean Staune

Il me semble en effet que tout le monde ici présent est d'accord sur le fait que la non-localité existe.

Jean Bricmont

C'est également ce qui me semble. Cependant, la plupart des physiciens n'ont pas l'air de partager ce point de vue.

Michel Bitbol

En vérité, c'est la signification du terme « non-localité » qui est en jeu. La mécanique quantique prévoit qu'il y a des corrélations instantanées à distance, et cela est confirmé par l'expérience. Mais cela implique-t-il des actions de cause à effet entre les deux termes corrélés ? Sur ce dernier point, le consensus n'existe pas.

On peut concevoir de nombreuses autres façons d'expliquer les corrélations. Il est vrai que l'alternative la plus connue aux relations causales instantanées est désormais exclue par la corroboration du théorème de Bell : les théories à variables cachées locales ont été clairement réfutées. Selon ces théories, rappelons-le, la corrélation de phénomènes distants ne faisait que révéler la prédétermination de propriétés locales d'objets qui s'étaient trouvés en contact dans le passé. Mais il y a d'autres possibilités d'explication, qui ne relèvent ni de l'action causale directe à distance, ni de la prédétermination locale. Une de ces possibilités a été envisagée par Bohm et également, me semble-t-il, par Bernard d'Espagnat. Elle tourne autour de l'idée que la réalité même n'est pas spatiale, qu'elle n'inclut pas les distances parmi ses déterminations fondamentales. Ce à quoi nous avons affaire selon elle n'est donc pas une communication de signaux à distance : cela relève plutôt de la non-distance. La non-localité se trouve ici remplacée par de l'a-localité voire de l'a-spatialité.

Comme vous le savez, je ne suis pas pour ma part très porté vers ces spéculations concernant ce qu'est ou n'est pas la réalité, indépendamment des moyens que nous avons pour connaître. Mais je perçois dans ces conceptions d'ordre métaphysique le germe d'une question épistémologique pertinente. Cela me conduit à les regarder avec sympathie. Quelle est donc cette question épistémologique pertinente ? Elle consiste à s'interroger sur les conditions expérimentales d'assertabilité de propositions assignant des déterminations spatiales à des objets. Ces conditions sont en pratique remplies à l'échelle macroscopique, mais peut-être pas aux échelles microscopiques, et certainement pas au-dessous de l'échelle de Planck. Ainsi, le compte-rendu théorique à ces échelles devrait utiliser des variables non-spatiales — c'est-à-dire ne relevant pas de l'espace *ordinaire* — et montrer si possible comment peuvent émerger des variables spatiales.

Dominique Laplane

Je souhaiterais donner mon sentiment de psychologue. Je suis de plus en plus persuadé que le mode de fonctionnement même de notre système nerveux et

de notre système de compréhension est l'analogie. L'effort qui est fait, c'est de transposer une réalité expérimentale élaborée et de lui donner une analogie par rapport à ce que nous éprouvons par nos sens. Il semble que cela ne fonctionne pas très bien. Mais cela peut être compris comme une simple limitation de ce que nous appelons l'interprétation. C'est le fonctionnement du cerveau qui aboutit à cette façon de voir et à cette « manie » de vouloir tout rattacher à l'expérience macroscopique que nous avons. J'aurai peut-être des éléments à apporter en faveur de ce mode de fonctionnement par analogie du système nerveux lorsque nous parlons du langage. Ce que je vais dire n'est peut-être pas totalement explicatif — je vous en préviens tout de suite — car je ne peux pas couvrir un tel sujet en quelques mots ; mais le point essentiel, c'est que les erreurs commises par des personnes atteintes de liaisons cérébrales ne se produisent pas par hasard. Elles constituent toujours un groupe d'éléments ayant une certaine similitude. Ce qui est difficile pour le système nerveux, c'est de percevoir les différences.

Hervé Zwirn

L'interprétation en terme neuropsychologique que vous donnez était déjà celle que donnait Bohr quand il demandait qu'on ne cherche pas à trouver une explication en termes analogiques — malgré notre penchant naturel qui consiste à tenter d'expliquer les choses en les ramenant à du familier. Il disait : « L'interprétation de Copenhague est suffisante parce que le mode d'explication familier que nous devons à notre expérience du monde macroscopique ne s'applique pas au monde microscopique ».

En effet, vous avez raison, nous avons tendance à chercher des explications en termes analogiques. Ce qui est important, c'est que la physique a progressé de telle manière qu'aujourd'hui il y a un consensus en la matière quelle que soit la tendance des physiciens qui en discutent. Car il n'y a plus de théories permettant de donner une explication analogue dans les termes à celles que l'on peut avoir avec, par exemple, la mécanique classique. Et la théorie de Bohm, qui, au départ, visait à donner une explication de nature ontologique ou à préserver un certain nombre d'analogies que l'on avait en physique classique, échoue, en fait à faire cela. Elle échoue car elle n'évite pas la non-localité ni la contextualité ; elle n'est donc pas interprétable de la même manière que la mécanique classique l'est. À partir de là, le débat s'ouvre entre les différents avantages que l'on peut trouver à une autre théorie. Mais ce qui est d'ores et déjà certain, c'est que l'on a abandonné l'espoir de trouver des explications du monde microscopique analogues aux explications que l'on a pour le monde macroscopique

Jean Staune

Je voudrais revenir sur la question d'Anne Dambricourt, qui me paraît importante pour les non-physiciens présents dans la salle.

Ce que l'on peut affirmer est que :

- 1) Tout le monde ici présent est d'accord pour dire qu'il y a des corrélations à distance.
- 2) Tous les physiciens qui ont étudié la question de près sont d'accord pour dire que ce n'est pas la préexistence des valeurs qui explique cette fameuse corrélation à distance. C'est-à-dire que, lorsque Monsieur Bertlmann rentre dans la pièce, il n'avait pas une chaussette rouge et une chaussette verte déjà dans le couloir le menant à la pièce. Il a des chaussettes très étranges qui sont à la fois rouge et verte. Et ce n'est que lorsqu'elles apparaissent à la lumière du jour que se révèle la couleur rouge sur la première et que, dans ce cas-là, la seconde est de couleur verte. C'est exactement ce que John Bell — pour ceux qui ne le savent pas — dit sur les chaussettes de Monsieur Bertlmann. Tous les physiciens quantiques reconnaissent cela, excepté quelques-uns, qui sont bloqués pour des questions idéologiques et font dire à Bell exactement le contraire de ce qu'il a voulu dire dans son article. Je rends hommage à Jean Bricmont qui est absolument le contraire d'eux sur ce point-là.
- 3) En dehors des physiciens quantiques, il y a des physiciens qui continuent à croire que l'expérience d'Aspect s'explique par les chaussettes verte et rouge qui existeraient dans ce couloir.

Bernard d'Espagnat

Il me semble que c'est un constat assez juste. Cela s'explique par deux raisons. La première, c'est que les physiciens sont tous spécialisés dans un domaine — ce qui est légitime car on ne peut pas ne pas l'être, sinon on est un amateur. La deuxième, c'est tout simplement que beaucoup de physiciens que je connais ne sont pas intéressés par la question. Tout le monde a le droit de ne pas s'intéresser à la non-localité.

Pierre Perrier

Je voudrais faire une petite adjonction à ce que disait Dominique Laplane. Je pense que, face à la mécanique quantique, il y a tout de même eu, parmi les mécaniciens classiques, une gêne due au fait que les outils conceptuels des mathématiques ne prêtaient guère à une extrapolation cohérente avec les données. C'était plus qu'une simple question de prise sur le réel immédiat. Les gens auraient même été heureux s'ils avaient trouvé un trajet dans les mathématiques — un super-espace, etc. — dans lequel ils auraient pu s'exprimer. Je crois que c'est cela qui a été une vraie déception. C'était comme un échec de cette école mathématique que de ne pouvoir faire cela. Je crois que c'est cela qui a fait scandale en France. L'école mathématique française avait en effet

l'impression qu'elle avait, par sa façon d'être, une prise plus importante que toutes les écoles mathématiques mondiales sur les problèmes posés par des physiciens.

Jean Petitot

Je ne comprends pas très bien votre position puisque, justement, la mécanique quantique a trouvé très rapidement les bons outils mathématiques. Et c'est parce qu'elle a trouvé les bons outils mathématiques et qu'elle est mathématiquement extraordinairement satisfaisante comme théorie, que tous les problèmes se posent. La petite question que je soulèverai, en tant que mathématicien d'origine, c'est pourquoi essaye-t-on d'investir tellement, sur le plan ontologique, à partir des descriptions mathématiques ? Pourquoi existe-il cette tendance à systématiquement « ontologiser » à partir d'une ontologie véhiculée par la langue du sens commun ? Pourquoi, lorsque cette « ontologisation » fonctionne mal, vivre cela comme une sorte d'échec des théories ? Personnellement, je n'ai pas de demande ontologique vis-à-vis de la physique, donc cela ne me gêne pas du tout que cette « ontologisation » ne soit pas possible.

Dominique Laplane

Mais la connaissance a un certain rapport avec l'ontologie.

Jean Petitot

L'ontologie n'a aucune raison d'être véhiculée par la langue.

Bernard d'Espagnat

Il y a effectivement, par tradition, une tendance très forte des mathématiciens s'intéressant un tant soit peu à la physique à conférer aux mathématiques une signification ontologique. Ce que beaucoup n'ont pas bien réalisé, c'est qu'il y a une autre manière d'utiliser les mathématiques, qui est de le faire d'une façon « opérationnaliste ». On définit une préparation de système physique, un appareil de mesure, et les mathématiques sont chargées de nous dire, vu la façon dont on a préparé le système, ce que l'on observera ou avec quelle probabilité on l'observera. Il me semble que toutes les mathématiques de la physique quantique contemporaine sont de ce type-là. Pourtant, cela n'a pas encore été bien réalisé et beaucoup de personnes ont gardé l'idée que du moment où on fait des mathématiques, ça doit être descriptif, donc d'une certaine manière ontologique.

Hervé Zwirn

Je reviens aux questions que pose la théorie de Bohm. Est-elle défendable ? Si oui, pour quelles raisons ? Est-elle ou non préférable à la mécanique quantique ? En ces matières, un point important a été soulevé, celui de la sous-détermination des théories. Il semble qu'il y ait un consensus à cet égard. Que tout le monde accepte l'idée que, même en-dehors de la mécanique quantique, il y a sous-détermination des théories. Or ceci est à relier au problème de l'interprétation d'un formalisme, car, s'il y a sous-détermination des théories, cela veut dire que l'interprétation que l'on peut avancer, qui est directement liée à un formalisme donné, perd de son sens. Autrement dit, s'il existe deux formalismes différents qui empiriquement sont équivalents, l'interprétation que l'on fait de chaque formalisme étant différente — puisque chaque formalisme est différent —, on ne peut plus avoir une interprétation univoque et donc la tendance naturelle que l'on aurait à dire : « voici une théorie qui marche, et j'interprète son formalisme de telle manière qu'il décrive la réalité », cette méthode, que l'on avait traditionnellement, échoue.

On en est donc arrivé à la conclusion que l'on a des formalismes et qu'on ne cherche plus à les interpréter ontologiquement parlant. On se contente de dire : « on va utiliser le formalisme car il fonctionne empiriquement ». C'est ce que disait Jean Petitot tout à l'heure. J'interprète sa remarque comme voulant dire « je suis instrumentaliste ». Lorsqu'on dit « ce sont les mathématiques », cela veut dire, d'une certaine manière, que l'on oublie l'interprétation ontologique et que l'on fait de l'instrumentalisme ; que l'on se contente d'avoir le formalisme.

Arrivé à ce stade-là, pour revenir à la question initiale, je voudrais demander à Jean Bricmont quels sont les critères qui font qu'il préfère choisir la théorie de Bohm à la mécanique quantique, sachant que Michel Bitbol a tout à l'heure donné les siens ? Je partage les siens et je voudrais savoir quelles sont les raisons pour lesquelles on pourrait être convaincu, en tant que physicien, si on est instrumentaliste, par la théorie de Bohm qui a les mêmes prédictions et qui est plus complexe ?

Jean Bricmont

Lorsque l'on a fait des objections qui sont basées sur une certaine vue de la sous-détermination, de l'expérience sensible ou de Kant, je ne vois pas comment je pourrais répondre pour justifier la théorie de Bohm sans, tout d'abord, expliquer mon point de vue sur cette vision générale de la philosophie des sciences. Ma vision n'est pas la même : elle est beaucoup plus opportuniste. Par exemple, je ne pense pas que l'instrumentalisme soit défendable comme théorie générale. Lorsque je parle des dinosaures, je ne pense pas que je parle des observations des os de dinosaure que je vois, je parle des dinosaures. Et là, comme je suis dans l'espace représentable, je pense aux dinosaures comme existant au temps de la Préhistoire. De même, si je parle de Jules César, je vais y penser en termes réalistes, représentables, d'une personne, qui n'est pas

simplement la connaissance que j'en ai. Il ne s'agit pas simplement des traces laissées par la guerre des Gaules.

Qu'il s'agisse de l'instrumentalisme ou de ce qu'on appelle parfois le platonisme ou bien encore de la représentation pure et simple, il est impossible d'enfermer la science dans ce genre de carcan. Dans ce que l'on appelle la science et dans ce qui est fructueux en science, on trouve de tout : du représentable, du mathématique, etc.

Hervé Zwirn

Deux mots sur ce que Jean Bricmont vient de dire et que je ne comprends pas. Vous avez l'air de considérer l'épistémologie comme un carcan qui emprisonne la science. Mais l'épistémologie n'est rien d'autre que s'interroger sur le statut de la connaissance que l'on acquiert à travers la science. L'objet de son étude est le statut de la connaissance que l'on acquiert à travers la science. Il ne s'agit donc pas d'enfermer la science dans un carcan, mais de s'interroger sur le statut de la connaissance que l'on acquiert à travers elle. Lorsque vous dites qu'on veut s'enfermer dans la représentation, la question n'est pas de s'enfermer *a priori*, la question est de savoir si les résultats scientifiques que l'on obtient, à travers les théories que l'on a, nous permettent d'adopter telle ou telle position *a posteriori*. C'est donc loin d'enfermer la science *a priori*, puisqu'il s'agit de savoir quelle position *a posteriori* on peut adopter. Or, il se trouve malheureusement que la position naturelle ne fonctionne plus — du moins qu'on ne parvienne pas à la faire fonctionner — quand on se pose la question pour des particules.

Jean Bricmont

Ça dépend de ce qu'on appelle « position naturelle ». Mais vous avez parlé de la sous-détermination. Pour moi, il est important de se rendre compte qu'il n'y a pas de sous-détermination entre la mécanique quantique et la théorie de Bohm. Je veux bien qu'il y ait sous-détermination entre celle-ci et d'autres théories.

Je vais vous donner un exemple. Prenez la théorie de Bohm et la théorie de Nelson. Là, il y a vraiment sous-détermination, car dans la théorie de Nelson, l'équation de Bohm est remplacée par une équation stochastique. Il y a donc une espèce de processus stochastique intrinsèque qui mène aux mêmes prédictions observables. Si l'on me demande à laquelle des théories je crois ontologiquement, je ne suis pas sûr de pouvoir choisir car je n'ai pas les moyens de les distinguer. Mais, en ce qui concerne la mécanique quantique, ce n'est pas du tout la même chose.

Ce que je n'accepte pas non plus, c'est l'idée selon laquelle il serait impossible de donner un contenu ontologique à la théorie. La théorie de Bohm est une réfutation absolue de cette idée qu'il est impossible de concevoir un tel contenu ontologique — si par « contenu ontologique » on entend quelque chose qui, exactement comme dans la physique classique, sort des limites de

l'observable. Pour moi, les entités inobservables dans la théorie de Bohm jouent le même rôle que les entités inobservables en électromagnétisme, en gravitation ou en relativité générale.

Michel Bitbol

Elle joue le même rôle que les modèles mécaniques chez Maxwell. Incontestablement, Maxwell a pu avoir besoin d'une sorte d'échafaudage, de représentation concrète, que lui fournissaient les modèles mécaniques de l'éther électromagnétique. Certains physiciens sont d'ailleurs restés fascinés par ces modèles et n'ont jamais pu vraiment s'en passer. La raison en était qu'ils ne pouvaient admettre qu'il n'existe, dans ce cas, « aucun sujet au verbe onduler ». Mais d'autres physiciens ont très tôt cherché à s'en affranchir et se sont trouvés conduits à reconnaître qu'il n'y avait au fond rien d'autre dans la théorie électromagnétique que ces rapports structuraux entre déterminations mesurables que sont les *équations* de Maxwell. Leur point de vue s'est avéré beaucoup plus fécond que celui des partisans des modèles mécaniques, puisqu'il a donné naissance à la théorie de la relativité.

Jean Bricmont

Non ! Les modèles mécaniques, c'était pour expliquer, si je ne me trompe, la propagation des ondes électromagnétiques dans le vide. Si l'on dit à un physicien que ces ondes électromagnétiques n'existent pas vraiment, il vous répondra — et je serai d'accord avec lui — qu'il s'agit qu'une question d'ordre métaphysique. Mais je peux, en supposant qu'elles existent, rendre compte de l'ensemble des phénomènes, alors que, lorsque je fais de la mécanique quantique ordinaire, je ne rends compte de rien. Je n'ai qu'un algorithme qui me prédit si les voyants vont s'allumer en rouge ou en vert.

Jean Petitot

Trois remarques en style télégraphique.

La première concerne Kant. Michel Bitbol et moi parlons de transcendantalisme, ce qui n'a rien à voir avec le *texte* de Kant. Kant est le seul philosophe que l'on réduit à son texte et contre qui on fait jouer l'histoire des sciences. Or, je suis désolé, mais Hume est incroyablement plus dépassé que Kant et cela n'empêche personne d'être empiriste. Ainsi, nous défendons simplement un point de vue transcendantaliste qui met en avant la différence entre objectivité et ontologie et une réflexion sur les procédures de constitution d'objectivité qui insiste sur le fait que l'objectivité est obligatoirement faible — c'est-à-dire qu'elle est toujours détachée d'une ontologie, d'un monde complètement externe, indépendant de nous. Kant est le plus grand penseur relatif à cette question-là et, comme cette question est au centre de tous les

débats sur la mécanique quantique, il ne peut être qu'utile de réfléchir sur Kant, comme pour, par exemple, des mathématiciens comme Hilbert, cela a été utile de réfléchir sur Euclide.

Deuxièmement, les mathématiques, lorsque j'en parle, ce n'est pas sous un aspect instrumentaliste, car j'estime que seuls ceux qui ont une conception suffisamment forte de l'ontologie peuvent penser les mathématiques de façon purement instrumentaliste. Si on élimine l'ontologie au profit de l'objectivité, la seule détermination qui reste pour l'objectivité, ce sont les mathématiques. Il n'y a rien d'autre — en dehors de l'empirique. Ce sont les mathématiques qui supportent tout dans une doctrine de l'objectivité, c'est-à-dire, si l'on est vraiment anti-ontologie. Et ça, ce n'est pas de l'instrumentalisme.

D'où une troisième remarque concernant la notion de phénomène. Je vous trouve un peu méchant avec la mécanique quantique classique. Elle ne parle pas uniquement de corrélations entre appareils. Ce qu'elle fait simplement, c'est inclure dans les axiomes mêmes de la théorie le fait qu'elle ne parle pas d'objets au sens ontologique mais uniquement de phénomènes. C'est-à-dire qu'elle ne peut déterminer que des phénomènes et, pour cela, il faut définir les phénomènes. Dans la physique classique, un phénomène, c'est un mouvement spatio-temporel. Or, selon notre conception, l'espace-temps est dans notre système visuel et n'a jamais existé à l'extérieur. L'ontologie, elle, est certainement non spatio-temporelle, comme l'affirmaient des philosophes comme Leibniz — à supposer qu'il y ait une ontologie. La mécanique quantique intègre simplement un nouveau sens de la « phénoménalité », à savoir ce qui est concrètement observable.

À ce propos, j'aime bien la façon dont Alain Connes présente la mécanique quantique. Il part des règles empiriques sur les raies spectrales et montre que si on utilisait un formalisme classique, les fréquences formeraient un groupe. La conséquence des expériences sur les raies spectrales montre que l'on n'a pas un groupe mais que l'on a des fréquences en $UI-UJ$, au lieu d'avoir des fréquences en UI qui forment un groupe. Et cela implique immédiatement la mécanique quantique.

Hervé Zwirn

Je ne comprends pas pourquoi on accuse la mécanique quantique de ne pas être une théorie et de ne rien dire à propos de ce qui se passe. En effet, si l'on se pose vraiment la question de savoir ce qui se passe au niveau d'une mesure — même si on peut essayer de comprendre intimement ce que cela veut dire et qu'il peut y avoir des réponses différentes selon la position philosophique adoptée —, les mécanismes qui ont été explicités ces vingt dernières années avec la décohérence permettent d'avoir une vision beaucoup plus claire, à présent, de ce qu'est une mesure et de comprendre mieux ce qui se passe lorsque l'on mesure quelque chose. Notamment, le fameux antagonisme entre le principe de réduction de paquets d'ondes et les équations de Schrödinger a maintenant presque

disparu. Ainsi, il y a de ce côté-là un progrès qui est suffisant pour dire qu'on pourrait, à un premier niveau, se contenter de cela.

Pierre Perrier

Je suis un peu embarrassé par ce débat car j'ai passé ma vie à faire des mathématiques instrumentalistes pour obtenir quelque chose qui fonctionne — et ce sont de très bonnes mathématiques — mais il est tout de même vrai que ce n'est pas parce qu'on a passé sa vie à faire des modèles et à voir que ça fonctionnait qu'il ne reste pas un problème philosophique de base vis-à-vis de la nature en général — qui existe incontestablement, sans quoi tout dans notre façon de procéder s'effondrerait, puisque c'est parce qu'on essaye de prédire ce qu'elle fait et que ça marche que l'on est content d'avoir travaillé. Donc on la reconnaît comme existante, ce qui est une position incontestablement philosophique. On a admis une existence du réel avec sa force. Ce qui est caractéristique de la théorie quantique, c'est qu'on a admis ça avec des règles qui nous surprennent énormément aux vues de la mécanique classique. Mais c'est un formalisme qui marche. Je suis un peu fasciné par ce qui est dit, car cela veut dire qu'il y a toujours d'autres façons de prendre en compte un ensemble d'outils qu'on a mis au point et de le reformuler tout en continuant à respecter comme règle du jeu essentielle que ça existe quelque part.

Jean-François Lambert

En entendant Jean Bricmont se définir comme un opportuniste, je me demande s'il ne se sent pas sur la pente glissante du relativisme. Parce que de l'opportunisme au relativisme, il peut n'y avoir qu'un pas. Par contre, le côté positif que je partage dans cette forme d'opportunisme, c'est l'idée qu'il n'y aurait pas d'impératif ontologique dans votre domaine. La mécanique quantique telle qu'elle est pratiquée ne débouche pas sur un impératif ontologique absolu. N'en déplaise à Jean-Pierre Changeux quand il déclare que seule une épistémologie matérialiste forte est compatible avec la science contemporaine. Je constate avec plaisir que vous ne vous inscrivez pas dans cette perspective d'impératif ontologique fort en mécanique quantique. Malheureusement une telle réserve n'est pas partagée par toutes les disciplines. Lorsque le même Jean-Pierre Changeux affirme que « la thèse identitaire (en neurobiologie) s'impose désormais en toute légitimité », il use d'un argument d'autorité dont il conteste, à juste titre, l'usage par ailleurs. Qu'il défende que cette thèse est la plus probable ou qu'il la trouve plus intéressante ou plus plausible, soit, mais cela ne devrait pas être présenté comme un impératif ontologique.

À propos des mathématiques — que les mathématiciens me corrigent si je me trompe — je crois me rappeler qu'à la question « que disent les mathématiques ? », Frege répondait : « rien ». Donc, que le grand livre de la nature soit écrit dans le langage des mathématiques ne me gêne pas, au plan

ontologique, dans la mesure où les mathématiques ne disent rien de l'ontologie en question.

Jean Staune interrogeait tout à l'heure : qu'est-ce qu'un spiritualiste peut attendre de la mécanique quantique ? J'avais envie de l'interrompre et de répondre : rien ! Je me définis comme un spiritualiste mais je ne suis absolument pas d'accord avec une démarche comme celle de sir John Eccles, qui, du point de vue spirituel, est, selon moi, contre-productive, et, du côté scientifique, est hérétique. Plusieurs intervenants ont souligné que, quand on parle de non-localité, il faut définir de quoi on parle. Mais lorsqu'on parle de spiritualité ou de spiritualisme, il faudrait également préciser le sens qu'on accorde à ces termes. De quoi parle-t-on exactement lorsque l'on parle de spiritualité ? S'il s'agit de l'esprit computationnel cognitif, il n'y a pas de vrai débat métaphysique autour de cela. Il s'agit de processus que l'on est loin d'avoir compris, mais parfaitement naturels. Mais la dimension réellement spirituelle, qui, pour moi, a plus à voir avec l'axiologie qu'avec l'ontologie, ne fait pas nombre avec la question de savoir si la mécanique quantique est mieux expliquée par la théorie standard ou par la théorie de Bohm. La réponse à cette question et celle aux interrogations de mes enfants sur le sens de la vie sont deux choses complètement différentes.

Anne Dambricourt

Je me place à l'autre bout de l'observation du réel. Ce qui m'intéresse est relatif aux mécanismes de l'évolution et aux rapports entre le développement de l'embryon et du fœtus. Il ne s'agit donc pas d'une question philosophique mais d'une question d'éthique. Le débat qui a lieu ici est fondamental et j'ai de nombreuses questions à poser. Il me paraît évident que l'on ne peut pas nier et laisser de côté la physique quantique et toutes les questions qui y sont posées lorsque l'on est évolutionniste. Si je vous écoute et si ce débat me paraît fondamental, c'est parce que ce débat a des implications éthiques, 15 milliards d'années d'évolution plus tard, dans le domaine qui est le mien. La notion de criminalité, la notion de dignité, sont-elles mathématiquement fondées ? L'intuition de l'éthique est-elle ontologiquement suffisante ? Est-elle mathématiquement suffisante ? Il ne s'agit pas de savoir si Dieu existe ou non. On a des vraies questions de société : l'éthique peut-elle être débattue en sciences uniquement à travers une conception scientifique de la réalité elle-même ? Quels sont les fondements naturels de l'éthique ? Y a-t-il un discours suffisant de l'éthique ? Il s'agit d'un débat contemporain. On n'est pas dans les débats théoriques, on sera bientôt dans la pratique.

Bernard d'Espagnat

Dans son « adresse au séminaire de théologie de l'Université de Princeton » (1939), Einstein s'est nettement prononcé pour une réponse négative à votre question, en écrivant : il est [d'autre part] évident qu'il n'existe aucun chemin qui conduise de la connaissance de ce qui est à celle de ce qui doit être ».