

# **Antinomies quantiques et réalité**

## **Problèmes conceptuels posés par la physique**

### **Aperçu historique sur la question**

Lors de l'avènement de la mécanique quantique dans le courant des années 20 et quelques années plus tard encore, ses "pères fondateurs" débattirent de ses fondements avec ardeur. Mais assez vite ce furent les remarquables possibilités que cette discipline offrait de rendre compte de phénomènes restés énigmatiques et d'en prédire avec succès bien des nouveaux qui accaparèrent l'attention de la quasi totalité des physiciens. Schématiquement, tout, dans leur communauté, se passa alors comme si les problèmes conceptuels relatifs à ces fondements avaient, une fois pour toute, été résolus à Copenhague d'une manière n'offrant plus prise à discussion. Et ce n'est guère qu'au tournant des années 70-80 - en partie sans doute au vu de l'étonnante violation, tant par la théorie que par l'expérience, d'inégalités, celles de Bell, paraissant découler du simple bon sens - que la situation évolua. Toujours est-il qu'en ces années là la célèbre "interprétation de Copenhague" commença à être perçue, à tort ou à raison, par un nombre substantiel de théoriciens, soit comme insuffisamment précise et devant être complétée, soit comme franchement inappropriée. Et les recherches ainsi suscitées confirmèrent que les problèmes conceptuels restent bien ouverts.

### **Actualité et importance du sujet**

Ce renouveau d'intérêt pour les questions fondamentales suscita des avancées difficilement contestables, la théorie de la décohérence en particulier. Reste que la signification des résultats des expériences suscitées par cette dernière est loin d'être évidente, et c'est là un premier exemple des questions que nous souhaitons aborder. Il y en a d'autres du même type car d'autres données expérimentales obtenues depuis la fin des années soixante jusqu'à maintenant, - celles concernant la non-localité en particulier - appellent elles aussi débat. Et il est clair dans notre esprit que les interrogations ainsi suscitées conduisent tout naturellement à une réflexion renouvelée quant aux grandes questions qui sous-tendent la physique actuelle : quel sens impartir à ces mots aussi courants que : *nature, réalité, causalité* ? La réalité doit-elle être conçue comme faite de substances ? Ou de pure information? Peut-on la qualifier d'extérieure, d'intérieure, ou ni l'un ni l'autre? Même si nous ne prétendons évidemment pas que la physique actuelle résout à elle seule de tels problèmes philosophiques, nous jugeons les données qu'elle fournit suffisamment originales et précises pour les éclairer d'un jour vraiment neuf. Et nous estimons que réunir des physiciens ayant soit contribué à l'établissement de ces données soit longuement réfléchi sur elles devrait permettre de mieux discerner, d'une part les conceptions dont elles réduisent la plausibilité, d'autre part les intéressantes perspectives qu'elles ouvrent, bref la substance de leur apport.

### **Rencontres connues de nous sur le sujet**

Nous n'avons pas connaissance de rencontres internationales ayant couvert exactement le sujet ci-dessus esquissé. Parmi celles dont les thèmes s'en rapprochent le plus on doit citer la série des conférences ayant pour titre "Symposium on the Foundations of Modern Physics" qui eurent lieu de 1987 à 1994 en Finlande, tantôt à Joensuu tantôt à Helsinki, sous la direction en particulier, de K.V.Laurikainen, de P.Lahti et de P.Mittelstaedt (références [1-4]) ainsi que, plus récemment, la réunion intitulée "Quantum Theory : Reconsideration of Foundations" organisée par Andrei Khrennikov et qui eut lieu à Växjö (Suède, en Juin 2003

(Référence [5]. Notons aussi, dans un cadre beaucoup plus local, les activités du groupe de travail intitulé "Apport de la physique contemporaine à la théorie de la connaissance" lequel réunit depuis bientôt trois ans à l'Institut de France, à raison de cinq ou six séances par an, un nombre restreint de physiciens et philosophes confirmés, et dont le titre indique bien l'activité (référence : <http://www.cphi2.org>).

## **Enjeux scientifiques et perspectives**

La science poursuit deux buts complémentaires : "éclairer" et "donner des moyens d'agir". Et en physique l'écart entre les activités correspondantes est tel que les premières sont entreprises presque toujours sans perspectives d'applications (lorsqu'il en apparaît, c'est "après coup"). C'est, bien entendu, dans cet esprit là que se dérouleront nos débats, dont les enjeux par conséquent se situeront exclusivement dans le registre "amélioration de la compréhension". L'un d'eux, auquel allusion a déjà, ci-dessus été faite, est de mieux discerner ce que le résultat de certaines expériences signifie véritablement. Pour une part la difficulté d'y parvenir tient, quand elle existe, en ce que nos concepts courants, position, vitesse, forme etc., n'ont, en physique quantique qu'une validité limitée (par exemple, il y a des cas, bien connus où deux d'entre eux ne s'appliquent pas simultanément). Et elle tient, pour une autre part, à ce que les expériences dont il s'agit mettent en jeu des probabilités alors que, à certains égards, les probabilités quantiques diffèrent fondamentalement des probabilités classiques usuelles (en physique quantique remplacer l'expression "la probabilité que l'on observe l'événement E est tant" par "la probabilité que E se produise est tant" conduit parfois à des erreurs). L'on conçoit aisément que la conjugaison de ces deux données puisse rendre difficile, même de bien *formuler* de ce que nous apprennent véritablement tels ou tels résultats expérimentaux.

Un enjeu encore assez voisin de celui-là est d'éclaircir la nature et l'importance des points de friction existant entre les deux grandes théories, encadrant la physique actuelle, que sont la relativité (même restreinte) et la mécanique quantique. Leurs socles conceptuels sont différents ce qui explique que le problème soit très ancien (débats Bohr-Einstein des années 30). Mais il a été ravivé par la découverte de la non-localité car la relativité restreinte est tout entière construite autour de la notion d'événement, laquelle est locale par définition. Sous le nom de "coexistence pacifique" (sous entendu entre l'une et l'autre théorie) une éventuelle possibilité d'aplanissement du conflit fut suggérée naguère (par Abner Shimony en particulier), fondée sur le fait remarquable que la non-localité - indéniable aussi longtemps que l'on tient la physique pour descriptive de ce qui "réellement est" - ne permet cependant pas la propagation de signaux utilisables à une vitesse supérieure à celle de la lumière. Elle ne porte ainsi pas atteinte à l'une au moins des caractéristiques essentielles de la relativité. Et il est clair que si, par une reformulation adéquate, on pouvait recentrer la relativité sur cette caractéristique là, le désaccord dont il s'agit serait levé.

Mais le problème est : le peut-on ? Nombre de physiciens estiment que la réponse est "non". Ils jugent que l'essence même de la théorie de la relativité restreinte est d'être (un peu comme celle de la relativité générale) une description de la géométrie de l'espace-temps ; et ils ont des arguments pour montrer que des données qualitatives telles que l'impossibilité de signaux supralumineux ne suffisent pas pour faire apparaître de telles propriétés géométriques. Nous nous proposerons sans doute d'examiner ce qu'il en est. En nous rappelant qu'en un sens une synthèse de la relativité et de la physique quantique existe déjà sous la forme de la théorie quantique des champs, que celle-ci est féconde (elle explique les créations-annihilations), mais qu'en fait elle consiste en une sorte de coulage de la relativité dans le moule quantique. L'opération conserve la structure des équations de Maxwell et donc le rôle pivot de la vitesse,

c, de la lumière. Mais cela suffit-il à préserver ceux des aspects géométriques de la relativité qui jouent un rôle en physique? C'est une des questions à examiner.

Enfin, ce qui vient d'être dit peut servir d'introduction à une série d'autres enjeux, plus étroitement associés que les précédents à des problèmes qui sont d'ordre philosophique mais dont il devrait apparaître en toute clarté qu'aujourd'hui ils sont soulevés par la physique (quantique) elle-même, et que par conséquent le physicien ne peut se dispenser de les examiner. En effet, comme l'a bien noté le philosophe des sciences David Albert (Référence [5]), la conception qui voit la relativité comme étant fondamentalement une géométrie de l'espace-temps est corrélative du fait, signalé au début du présent exposé, que depuis une date relativement récente l'interprétation de Copenhague n'est plus jugée satisfaisante par un certain nombre de physiciens. Plus précisément la conception dont il s'agit se rattache à une certaine aspiration au réalisme non satisfaite par l'interprétation de Copenhague. En effet, qui dit "géométrie" dit "description des structures d'un espace" implicitement tenu, en général, pour existant tout à fait indépendamment du géomètre. Or cette idée d'existence *en soi* d'un objet d'étude est étrangère à "l'esprit de Copenhague", bien résumé par Bohr quand il disait (à l'un de ses collaborateurs) que le but de la physique était de décrire, non pas le monde tel qu'il est mais l'ensemble de notre expérience communicable.

Reste à savoir qui, de Bohr ou des réalistes, est le plus proche, sinon de la vérité - un bien grand mot ! - du moins d'une conception de la connaissance à la fois féconde et exempte de contradictions. De fait, un tel examen a déjà été fait par plusieurs d'entre nous, avec des conclusions qui ne coïncident pas mais ont au moins un point commun : aucune d'entre elles ne permet de restaurer le réalisme de la physique classique, encore très proche du "réalisme du bon sens". De fait nombre des restaurations réalistes qui furent tentées durant les vingt ou trente dernières années se sont heurtées à de sérieuses difficultés, auxquelles n'échappent, pour le moment, que des "ébauches de théories futures", intéressantes certes mais aux contours encore peu nets. Nous devons en débattre mais sans oublier que le trait de beaucoup le plus remarquable de la physique contemporaine, axée sur les principes quantiques, est sa capacité de suggérer des phénomènes pour nous étranges, que l'expérience vient, quasiment toujours, confirmer. Ceci suggère évidemment qu'Edwin T. Jaynes n'avait pas tort lorsqu'il disait que beaucoup du contenu de la science physique n'est, en définitive qu'information et qu'il reste encore à savoir dans quelle proportion la dite information réside en nous et dans quelle proportion elle est fournie par la nature. Nous n'obtiendrons pas une réponse unanime à cette question non plus qu'à d'autres du même type, mais à l'issue de notre réunion nous espérons pouvoir poser certains jalons permettant des progrès dans leur exploration.

## Références

*Symposium on the foundations of modern physics 1987*, P.Lahti & P.Mittelstaedt eds., World Scientific, Singapore , 1987.

*Symposium on the foundations of modern physics 1990*, P.Lahti & P.Mittelstaedt eds., World Scientific, Singapore , 1991.

*Symposium on the foundations of modern physics 1992*, K.Laurikainen & C.Montonen eds., World Scientific, Singapore , 1993.

*Symposium on the foundations of modern physics 1994*, K.Laurikainen, C.Montonen & K.Sunnarborg eds. Editions Frontière, 1994.

*Quantum Theory : Reconsideration of Foundations*, A.Khennikov ed. Växjö University Press, 2001.

*The structure and interpretation of quantum mechanics*, R.I.G. Hughes, Harvard University Press, 1989.

*Quantum theory: concepts and methods*, A. Peres, Springer, 1995

## Bibliographie

*Decoherence and the Appearance of a Classical World in Quantum Theory*, D.Giulini, E.Joos, C.Kiefer, J.Kupsch, I.-O.Stamatescu, H.D.Zeh, Springer, 1996.

*Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*, B. d'Espagnat, W.A.Benjamin, Reading Mass, 1971, 4th ed. Perseus Books, Reading Mass, 1999.

*Reality and the Physicist*, B. d'Espagnat, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1989.

*Veiled Reality*, B. d'Espagnat, Addison-Wesley, Reading, Mass. 1965, 2d ed. Perseus Books, Reading Mass, 2003.

*On Physics and Philosophy*, B. d'Espagnat, Princeton University Press, Princeton, N.J. 2006.

*Objectivité faible et Philosophie transcendantale, Physique et Réalité, débat avec B. d'Espagnat*, (M. Bitbol, S. Laugier, eds.), J. Petitot, Paris, Diderot Editeur, 201-236, 1997.

*Noncommutative Geometry and Transcendental Physics, Constituting Objectivity. Transcendental Perspectives on Modern Physics*, (M. Bitbol, P. Kerszberg, J. Petitot, eds), J. Petitot, The Western Ontario Series in Philosophy of Science, vol. 74, Springer, 415-455, 2009.

*Mécanique quantique, une introduction philosophique*, Collection Nouvelle Bibliothèque Scientifique, M. Bitbol, Flammarion, 1996; réédition Champs-Flammarion, 1997.

*Schrödinger's philosophy of quantum mechanics*, M. Bitbol, Boston Studies in the philosophy

of science, Kluwer, 1996.

*Constituting Objectivity : Transcendental Perspectives on Modern Physics*, M. Bitbol, P. Kerszberg & J. Petitot (eds.), Springer, 2009.

*Some steps towards a transcendental deduction of quantum mechanics*, M. Bitbol, *Philosophia naturalis*, 35, 253-280, 1998.

*Reflective metaphysics : understanding quantum mechanics from a kantian standpoint*, M. Bitbol, *Philosophica*, 83 (2009), 53-83, 2011.

*Les limites de la connaissance*, H. Zwirn, Odile Jacob 2000.

*Foundations of Physics : the Empirical Blindness*, H. Zwirn, dans *French Studies in the Philosophy of Science*", A. Brenner and J. Gayon (Ed), Springer, 2009.

*Philosophie de la mécanique quantique*, J. Bricmont, H. Zwirn, Vuibert, 2009.

*Can we consider Quantum Mechanics to be a Description of Reality ?*, H. Zwirn, dans *Rethinking Scientific Change and Theory Comparison. Stabilities, Ruptures, Incommensurabilities*, L. Soler, P. Hoyningen, H. Sankey (Ed), Springer, 2008.

*Mécanique quantique et connaissance du réel*, H. Zwirn, dans *Implications philosophiques de la science contemporaine*, Vol 2, B. d'Espagnat Ed. PUF, 2002.

*La décohérence est elle la solution du problème de la mesure ?* H. Zwirn, dans *Physique et Réalité*, un débat avec Bernard d'Espagnat, pp 165-176, Ed. Frontières, 1997.