

La liberté du physicien – Lectures de *Comprendre la physique quantique* de Jean Bricmont

-

Complément au Concept scientifique du libre arbitre

Albert Dechambre – Mars 2021

« *Tenter de trouver une solution philosophique à un problème physique est simplement une erreur conceptuelle.* » (Jean Bricmont, *Comprendre la physique quantique*, Odile Jacob, 2020, p. 267)

« *En fait, notre seul objectif est ici de « libérer » la physique, pour ainsi dire, des préoccupations relatives au libre arbitre.* » (Jean Bricmont, *Comprendre la physique quantique*, Odile Jacob, 2020, p. 58)

La première liberté du physicien Jean Bricmont, en rejetant l'interprétation dominante et antiréaliste de la physique quantique engluée dans des interrogations philosophiques sur le rapport de la physique à la réalité et ses conséquences absurdes, qui s'est transformée en un « interdit de Copenhague », est de vouloir libérer la physique de solutions philosophiques à ses problèmes.

La seconde liberté est de libérer la physique de « préoccupations relatives au libre arbitre ». Mais je verrai que Bricmont fait beaucoup de philosophie pour nous en convaincre et exerce avec méthode son libre arbitre de physicien, **sa troisième liberté**, qui est hétérodoxe, *par essence*, comme le libre arbitre d'Albert Einstein, mon héros ou de John Bell, son héros.

Cet essai est constitué de « lectures » de certaines sections de son livre *Comprendre la physique quantique* (Odile Jacob, 2020)¹ où je me focalise sur l'analyse conceptuelle qu'il conduit pour défendre l'interprétation réaliste, déterministe et non-locale de De Broglie-Bohm.

Dans ce livre de vulgarisation incisif, ironique voire drôle², Bricmont s'interroge sur la signification réelle que nous pouvons donner à cette question posée pour la première fois par la physique

¹ Je m'appuie également sur les compléments en ligne (le « cahier couleur »), la version anglaise originale plus complète : *Making Sense of Quantum Mechanics*, Springer, 2016, des textes de conférences plus anciens et des vidéo de cours dont l'oralité restitue mieux l'esprit frondeur de Jean Bricmont. On peut regretter que la version française ne contienne pas les compléments en ligne, sans doute pour toucher davantage le public francophone, mais au prix d'une perte de clarté selon moi.

² Drôle quand il décrit comment les pseudosciences et les mysticismes se sont emparés de la physique quantique, que certains physiciens ont pu encourager malgré eux.

quantique : « Comment notre connaissance de quelque chose peut avoir apparemment un impact sur une situation physique. » ? (p. 38)

Il est clair que la réponse dépend de ce que nous entendons par situation physique. Si nous considérons la situation physique actuelle de la galaxie d'Andromède la réponse est clairement non, si nous parlons de notre écosystème, la réponse est clairement oui et nous pourrions fermer cet essai avant même de commencer si les situations physiques étudiées par la physique quantique ne venaient brouiller nos idées selon que nous traitons des systèmes physiques préparés en laboratoire ou pensons pouvoir les étendre en dehors en arguant de l'intrication quantique et de la non-localité qui en découle.

Cette question sémantique sans réponse simple est la question principale du livre de Bricmont, somme toute naturelle, posée à propos d'un énoncé en apparence paradoxal qui n'a cessé depuis d'alimenter les discussions entre physiciens. Bricmont la pose dans le contexte du processus de mesure quantique qui, selon l'interprétation dominante, affecte l'évolution du système mesuré sans que le formalisme ne puisse l'expliquer rationnellement, si ce n'est par une hypothèse ad hoc qui est la réduction soudaine de la fonction d'onde du système physique étudié. Le fait que ce processus de mesure soit un élément essentiel du processus de connaissance scientifique justifie que cette question soit posée. Question que n'avait pas à se poser Galilée, l'œil rivé derrière la lunette qu'il avait inventée pour observer les satellites de Jupiter et ouvrir davantage le monde observable. Dans mes lectures, je reformule la question pour la rendre non paradoxale : comment la connaissance scientifique s'incarne-t-elle dans des instruments symboliques (des théories, des interprétations et des discussions critiques) et des systèmes physiques/symboliques (des dispositifs expérimentaux) pour interagir de manière dynamique avec le réel qui lui fait face ? Cette formulation est inspirée par le principe énoncé par le biologiste Howard Pattee de la coupure épistémique entre la matière et les symboles. Ce n'est en aucun cas un nouveau dualisme mais un outil pour comprendre comment et pourquoi, pour faire de la physique, nous sommes contraints de séparer le système physique étudié et l'appareil symbolique qui permet de l'étudier, tout en conservant une interface qui est le dispositif expérimental tout à la fois symbolique et physique.

Je tente d'y répondre, non pas en mobilisant quelque doctrine philosophique (si ce n'est comme repoussoir, en gros toutes les formes d'idéalisme), mais en invoquant le travail conceptuel de physiciens comme Albert Einstein, John Von Neumann, John Bell, Steven Weinberg, Gerald 't Hooft, Roger Penrose, Alain Aspect, Henry Stapp, Thomas Brody, Nicolas Gisin et Jean Bricmont mais aussi d'autres sciences comme la biologie (de l'évolution, de la culture, de la conscience), l'anthropologie (paléo-, neuro-), la théorie des systèmes dynamiques et la biosémiotique, sciences qui sont restées bien plus raisonnables que la physique contemporaine sur la question du réalisme. Non pour en faire des auxiliaires de la physique mais pour pouvoir faire un pas de côté, jeter un éclairage latéral sur la conscience symbolique qui est à l'origine de ce contact rapproché avec le réel très particulier qu'est la connaissance scientifique, une manière de ramener la physique à sa place lorsque celle-ci s'enlise dans des philosophies désuètes ou des spéculations insensées.

1.1 PLAN

Les « lectures » qui suivent, en touches brèves, du cadre théorique élargi par Bricmont ont pour but d'éclairer mon point de vue symbolique, inspiré par la coupure épistémique, elle-même engendrée par l'étrangeté quantique, en souhaitant qu'elles apportent des compléments à la critique conceptuelle de Bricmont du formalisme quantique. Et, en retour, elles apparaîtront inévitablement incomplètes ou, mieux, en devenir, ce qui est bien mon intention (les points d'interrogation qui closent provisoirement certaines sections).

Le caractère inchoatif ainsi que l'ordre de ces lectures importent peu car ils expriment le désordre des

va-et-vient entre des objets symboliques divers : le livre, le cahier couleur qui le complète, la version originale en anglais, les vidéo de cours où l'oralité colore l'esprit hétérodoxe de Jean Bricmont, des textes plus anciens qui montrent l'évolution de « sa fonction d'onde » se frayant un chemin dans le dédale des obstacles, et d'autres regards, permettant de m'enfoncer dans les couches successives de compréhension qui devront faire une pause au seuil du formalisme...

Cet essai comprend six parties :

1. Une contextualisation qui définit le réalisme comme une position métathéorique de condition préalable à toute connaissance, position analogue à celle du concept du libre arbitre.
2. Une présentation critique de la conception du libre arbitre de Jean Bricmont que je plonge dans *Le Modèle du processus de l'action scientifique* exposé dans mon essai [Le concept scientifique du libre arbitre – Emergence et coévolution](#).
3. Un choix de lectures, sans doute trop concises, des « mélanges » du cadre théorique et épistémologique que Bricmont choisit pour critiquer comment « l'orthodoxie bohrienne » a conduit à des positions antiréalistes, qui outrepassent la logique sous-jacente à la démarche scientifique.
4. Quatre illustrations de l'antiréalisme persistant dans l'épistémologie française contemporaine : Bernard d'Espagnat, Michel Bitbol, Etienne Klein abordés par Bricmont auxquels j'ajoute Hervé Zwirn et son solipsisme convivial, une autre interprétation inquiétante de la physique quantique. En contraste avec ces quatre exemples, je présente la théorie du modèle du réseau cosmologique de Gérard Gremaud qui revient à une forme de classicisme en physique ne se fondant que sur trois principes : la loi de Newton et les deux premiers principes de thermodynamique. Je termine ce chapitre en m'interrogeant sur le statut symbolique ou ontologique des lois de la nature.
5. Une conclusion où je rappelle l'esprit philosophique, critique et créatif d'Albert Einstein, sa liberté symbolique, pour équilibrer les positions de Jean Bricmont ou Steven Weinberg sur l'inutilité de la philosophie pour comprendre la physique quantique. J'y plaide pour une philosophie hétérodoxe d'une physique hétérodoxe comme celle de Gaston Bachelard, conscient que l'attribution d'hétérodoxie change de camp au cours du temps, au gré de l'invention des concepts et de leur déclin. Je termine par le rappel des principales thèses et réflexions de cet essai. (15)
6. Une annexe, tirée de mon essai, qui présente le *Modèle du processus de l'action scientifique (PAS)* auquel j'apporte des corrections suscitées par ces lectures. Ce modèle met en scène le « monologue » initial du physicien à la recherche d'une nouvelle hypothèse et le « dialogue » qui suit entre des physiciens qui posent des questions à la nature auxquelles celle-ci répond de manière contrainte, faisant peut-être la part trop belle à l'interprétation orthodoxe de Copenhague.

Et, selon la formule habituelle, les erreurs de compréhension d'une matière qui a autant défié les philosophes me sont imputables.

2 INTRODUCTION

2.1 LA COUPURE ÉPISTÉMIQUE

Le concept de coupure épistémique entre la matière et les symboles a été proposée par le biologiste Howard Pattee, lui-même inspiré par le travail théorique du physicien John Von Neumann. L'émergence de symboles au cours de l'évolution naturelle produit une coupure épistémique (epistemic cut) entre les processus physiques et les processus symboliques, entre les processus dynamiques et les processus informationnels. La forme primitive de coupure épistémique, de distinction sujet-objet, se produit dans la cellule (une unité autorépliquative), par l'acquisition d'informations et leur stockage sous forme de mémoires (le code génétique). Plus globalement, la coupure épistémique matière/symboles opère (branche et débranche) entre un observateur (qui code, contrôle) et le système observé.

Nous pouvons aussi l'interpréter dans le cadre de la biosémiose où les premiers symboles physiques sont le génome au niveau cellulaire, ensuite les mémoires au niveau neurobiologique et enfin tous les objets sémiotiques proprement dits obtenus par détachement symbolique : indices, icones, signes conventionnels, systèmes symboliques, théories, modèles)³.

Si nous interprétons la question principale posée par Jean Bricmont dans ce cadre conceptuel, alors nous devons considérer que la connaissance scientifique est un appareil symbolique construit librement par les physiciens qui comprend, outre un appareil formel, le dispositif expérimental (détecteurs, écrans, etc.) constitué de symboles physiques renvoyant au symbole « mesure », distincts du système physique mesuré. Tous les dispositifs expérimentaux sont ce que nous pouvons appeler des prothèses de l'esprit, des outils exosomatiques⁴ qui prolongent son action comme la lunette de Galilée ou les « lunettes » de Bell.

Le point essentiel est que cet appareil symbolique hérite en partie de la liberté du physicien qui joue dans le système symbolique le rôle de condition initiale non contrainte (John Bell) ou, selon l'expression du physicien Gerald 't Hooft de « condition du choix initial non contraint ». Je souligne, pour éviter tout malentendu, que cette coupure épistémique n'est en rien un nouveau dualisme philosophique de la matière et l'esprit mais, si nous voulons encore de ce mot, un dualisme scientifique purement opérationnel au sens ordinaire que, pour faire de la physique, nous séparons autant que faire se peut le système physique que nous étudions, le système physique qui nous permet de l'étudier et le reste du monde. Oserai-je avancer que cette coupure épistémique recoupe partiellement

³ Cette coupure épistémique matière/symbole est aussi une complémentarité articulée sur la double transition matière → symbole, symbole → matière. Coupure épistémique et complémentarité matière/symbole constituent les deux axes orthogonaux du référentiel biosémiotique. Voir mon essai [De la biosémiose primaire à la liberté sémiotique - Emergence de la conscience symbolique](#). Voir aussi [Le concept scientifique du libre arbitre – Emergence et coévolution](#), 4.4.1 La causalité symbolique est de type « avec écart » ; 4.4.2 Un parfum de mystère entoure la causalité symbolique.

⁴ [CSLA](#), 15.4 L'évolution des types d'esprit. Selon le philosophe Daniel Dennett, nous sommes un type particulier de créatures (« grégoriennes » dans la terminologie de Dennett) qui produisons des outils exosomatiques de l'esprit dont les plus puissants sont le langage et la symbolisation en général. Daniel Dennett, *Kinds of Minds, Towards an Understanding of Consciousness*, Weindenfeld & Nicholson, London, 1996, p. 88-111. Traduction française *La diversité des esprits, Une approche de la conscience*, par Alexandre Abensour, Hachette, 1998.

l'opposition local/non local qui a structuré la discussion scientifique depuis qu'Einstein la souleva au Congrès Solvay en 1927.

2.2 LA QUESTION SYMBOLIQUE — L'APPAREIL SYMBOLIQUE

La coupure épistémique ajoute une dimension à la compréhension des trois questions majeures qui parcourent la physique quantique selon Bricmont : le rôle de l'observateur, le déterminisme et la localité. A ces trois questions majeures, j'ajoute la question symbolique.

Sommes-nous contraints à faire évoluer le langage de la discussion critique pour progresser dans la compréhension du langage formel ?

Ainsi formulée en termes d'évolution, la question appelle une réponse positive évidente. Nous devons faire évoluer, aménager les concepts macroscopiques, phénoménologiques pour rendre compte de l'expérience de nouveaux phénomènes microscopiques, que nous ne pouvions pas observer sans les extensions instrumentales de nos appareils perceptifs et symboliques. Et, en un sens, ces observations médiées par les extensions exosomatiques prennent un caractère phénoménologique qui enrichit notre « phénoménologie naturelle ».

Cependant, le langage de la discussion critique au cours du Processus de l'action scientifique ([Etape 4 du PAS](#)) doit rester à la portée des non experts pour pouvoir se « raccrocher » à l'expérience ordinaire, maintenir la continuité nécessaire, voire remettre en question les innovations conceptuelles ou les interdits conceptuels comme ceux qui ont été fortement suggérés par le formalisme standard. Ainsi la théorie de Broglie-Bohm se présente-t-elle comme une théorie de la matière en mouvement, comme celle de Newton. Un autre exemple est la théorie de Gérard Gremaud qui, en partant de la théories de solides et de trois seuls principes : la loi de Newton et les deux principes de la thermodynamique, reconstruit l'édifice de la physique et établit une correspondance rigoureuse entre ses propres équations de géométrocinétique et de géométrocompatibilité et les équations standard des différents domaines de la physique (électromagnétisme, théorie de la relativité restreinte et générale, physique quantique, modèle standard, etc.)⁵. Cette ébauche de discussion montre à l'évidence que l'appareil critique de la discussion doit conserver une certaine indépendance par rapport à l'appareil théorique formel.

Plus largement, pour nous raccrocher au principe de la coupure épistémique, et énoncer une des thèses principales de cet essai, l'appareil symbolique théorique et critique, qui comprend ses extensions instrumentales n'est soumis, *en tant que symbole* je précise et non en tant que système physique très particulier qu'il est par ailleurs, ni à une forme de déterminisme (ou d'indéterminisme) ni à la non-localité et il n'est pas au centre de la description quantique du monde. Il en est au contraire « dispensé », exprimant les trois libertés du physicien : théorique, expérimentale et critique, au cours du processus de l'action scientifique, dont je propose un modèle inspiré par Henry Stapp et John Von Neumann, présenté en annexe de cet essai. (16)

2.3 LE TRIANGLE THÉORIE, MODÈLE ET RÉALITÉ

En logique mathématique, selon la théorie des modèles, une théorie non contradictoire admet au moins un modèle, c'est-à-dire une interprétation de son langage (de ses constantes, variables,

⁵ Gérard Gremaud, *Et si l'Univers était un réseau et que nous en étions des singularités topologiques? Et si les seuls principes fondamentaux de l'Univers étaient les lois de Newton et de la thermodynamique?* 2020, version simplifiée et illustrée du livre: *Univers et Matière conjecturés comme un Réseau Tridimensionnel avec des Singularités Topologiques*. Disponible en ligne.

prédicats, fonctions, formules, démonstrations). Il joue le rôle d'interface entre la théorie et la réalité comme l'interprétant du triangle sémiotique de Peirce entre le signe et l'objet référent. Ainsi l'arithmétique de Peano admet un modèle standard, celui des nombres naturels, mais des modèles non standards existent.

Le premier modèle scientifique est peut-être celui de la physique d'Anaximandre de Milet qui prit conscience que la Terre n'avait pas à tomber, toutes les directions étant indifférentes⁶. La physique d'Aristote a pour modèle un monde divisé en deux parties aux lois différentes : le monde supralunaire incorruptible et le monde sublunaire corruptible. La physique classique a pour modèle une réalité objective, indépendante, composée d'objets, d'ondes et de champs avec leurs propriétés intrinsèques. La physique de la relativité restreinte a pour modèle une réalité quadridimensionnelle, un espace-temps où surviennent des événements, parfois appelé un « univers-bloc ». Et pour la physique de la relativité générale c'est un espace-temps courbé par la matière, un « mollusque de référence » : la matière-énergie courbe l'espace-temps qui, en retour, prescrit à la matière son mouvement⁷. Ces modèles, du moins à partir de Galilée qui comprit le mouvement des corps contre les intuitions du sens commun, nous livrent une image scientifique du monde qui s'est éloignée de l'image manifeste, selon la fameuse distinction établie par Arthur Eddington⁸. Ils nous conduisent aux portes de l'ontologie, ce concept encombrant des philosophes obsédés par la « pensée pure ». De quoi est fait, ultimement, le monde qui nous entoure ? Et nous-est-il accessible ou connaissable ?

Mais, curieusement, la théorie quantique a peiné à trouver un modèle standard. Le seul « modèle standard », l'interprétation dite de Copenhague initiée par Niels Bohr et Werner Heisenberg, n'offre paradoxalement qu'un modèle de la connaissance et de l'expérience humaines, comme si la physique quantique n'était qu'un jeu de miroirs avec elle-même au sein des laboratoires, exercé avec un certain narcissisme pour quelques physiciens. Ainsi les tenants de Copenhague offrent-ils un mélange de modestie : nous ne comprenons pas le monde microscopique, et d'arrogance : nous sommes sûrs de

⁶ On cite souvent Anaximandre de Milet comme le premier physicien à tenter d'expliquer les phénomènes de manière naturelle comme le tonnerre sans évoquer une puissance extérieure, de type mythique, ou une cause divine comme « la colère de Dieu ». Carlo Rovelli, *Anaximandre de Milet ou la naissance de la pensée scientifique*, Dunod, 2015.

⁷ Yves De Rop, *Relativité générale* (Syllabus pour le cours), Université de Liège, 2020, p. 9, disponible en [ligne](#). Les physiciens et les philosophes des sciences ont rivalisé d'imagination pour exprimer cette idée révolutionnaire. Pour le plaisir même si ce n'est pas le sujet principal de cet essai : Sobre, Hermann Weyl : « L'espace dit à la matière comment se mouvoir, et la matière dit à l'espace comment se courber ». Métaphorique, Etienne Klein : « La courbure (qui n'a pourtant pas la parole) « dit » à la matière comment se mouvoir et la matière (pourtant tout aussi mutique « dit » à la géométrie comment se courber. » (Etienne Klein, *Les tactiques de Chronos*, p. 100-101). Ludique, Thibaut Damour : « Le nouveau Jeu du Monde est un jeu à deux, où Espace-Temps et Masse-Energie s'influencent réciproquement. La masse-énergie déforme par sa présence l'espace-temps, et l'échiquier de l'espace-temps détermine la façon dont la masse-énergie se love en lui. » (Thibault Damour, *Si Einstein m'était conté*, Le Cherche Midi, 2005p. 109). Théâtral, Hawking-Penrose : « La gravité est radicalement différente des autres champs : elle façonne elle-même la scène sur laquelle elle joue contrairement aux autres champs qui jouent dans un décor d'espace-temps fixes. » (Stephen Hawking, Roger Penrose, *La nature de l'espace-temps*, 1996, p. 42)

⁸ Arthur Eddington a donné une image saisissante de cette distinction dans l'introduction des Gifford Lectures en 1927 restée célèbre. Il y a d'une part la table ordinaire qui est solide et colorée sur laquelle le physicien a posé ses notes et la table scientifique qui n'est ni colorée ni solide mais constituée de charges électriques s'agitant dans le vide et responsables causalement des sensations de solidité et de couleur. Ce n'est pas un dualisme car la frontière entre les deux n'est pas bien définie et évolue. C'est un exemple de division symbolique permettant justement d'ajuster les images entre elles.

nous-mêmes parce que nous avons « purifié » la physique de ses erreurs passées⁹.

Einstein lui opposera un contre-modèle d'une théorie réaliste et locale, le célèbre schéma EPR¹⁰ de 1935 qui connaîtra différentes versions et inspirera John Bell dans sa démonstration de la non-localité en 1964. D'autres modèles du formalisme ont été conçus pour lever les problèmes liés à la mesure et au rôle de l'observateur mais sont restés extrêmement minoritaires voire ostracisés par « l'interdit de Copenhague »¹¹ qui radicalise « l'interdit kantien » de la connaissance de la chose en soi¹².

La théorie De Broglie-Bohm défendue par Jean Bricmont a pour modèle une réalité indépendante où les particules ont une position réelle dont les trajectoires sont déterminées par leur onde pilote, non-locale et sans observateurs, qui renoue sous certains aspects avec le réalisme de la physique classique mais lui ajoute un problème de taille qui est la non-localité quantique, plus radicale que celle qui inquiétait Newton, contre laquelle Einstein ne cessa d'opposer ses arguments et ses expériences de pensée.

Il existe d'autres modèles comme l'interprétation de Von Neumann qui réunit le monde classique et le monde quantique, ou encore fondés sur la décohérence que je citerai ça et là et un modèle absurde, celui des mondes multiples qui constitue une forme de réalisme hyperbolique, dont l'intérêt ici est de nous faire réfléchir une fois de plus à la crise du symbolisme en physique qui éclata au « moment 1900 » de la naissance des quanta¹³.

Un modèle est une interface entre le formalisme et la réalité, un objet symbolique plus varié qu'une équation, qui comprend des mots du langage ordinaire, des images, des schéma de toutes sortes (comme le schéma EPR ou les diagrammes d'espace-temps), mais moins varié que la réalité dont il ne décrit que quelques aspects. Ce que Einstein avait bien compris lorsqu'il écrivait :

« Pour autant que les propositions mathématiques se rapportent à la réalité, elles ne sont pas certaines, et pour autant qu'elles sont certaines, elles ne se rapportent pas à la réalité. » (Albert Einstein, La Géométrie et l'Expérience, 1921, p. 367)

⁹ Je me réfère ici au cours de Jean Bricmont [La théorie de Broglie-Bohm](#) (vidéo en ligne).

¹⁰ Einstein, Podolsky et Rosen, *Can quantum mechanical description of physical reality be considered complete?* Physical Review 47, 1935. L'article en anglais est disponible en ligne : <https://journals.aps.org/pr/pdf/10.1103/PhysRev.47.777>; <https://journals.openedition.org/bibnum/826> (commentaire de Franck Laloë). Traduction française dans *Albert Einstein, Œuvres choisies, 1 Quanta*, Seuil CNRS, 1989, p. 224-230.

¹¹ Dans le chapitre 11, Bricmont décrit la chasse aux sorcières contre les contestataires de l'interprétation dominante du formalisme quantique qui évoque le politiquement correct et la « cancel culture » qui nous frappent aujourd'hui en 2021. Le parcours du physicien américain John Clauser raconté par Bricmont est particulièrement saisissant. (p. 252-256)

¹² Kant admettait au moins un prédicat pour la chose en soi, celui de « pur X » maintenant ainsi un contact avec la réalité nouménale derrière la connaissance semble-t-il infranchissable de la réalité phénoménale.

¹³ Lord Kelvin, dans un célèbre discours en 1900, affirmait que la physique était arrivée à ses fins, donc touchait à sa fin, et qu'il ne subsistait que quelques nuages à dissiper. Pourtant, au même « moment 1900 », des nuages s'amoncelaient avec « l'acte de désespoir » de Max Planck qui introduisait des « éléments d'énergie » pour expliquer les discontinuités dans le phénomène du rayonnement dans un corps noir, puis la découverte de l'effet photoélectrique par Einstein en 1905, qui allaient emporter la physique classique. (Thibault Damour, *Si Einstein m'était conté*, Le Cherche Midi, 2005, p. 140-141, 145 ; Etienne Klein, *Petit voyage dans le monde des quanta*, Champs Flammarion, 2004, p. 173, 189 ; Abraham Pais, *'Subtle is the Lord...'*, *The Science and the Life of Albert Einstein*, Oxford University Press, 1982, p. 370. Tels sont aussi les premiers mots du livre de Jean-Louis Basdevant et Jean Dalibard, *Mécanique quantique* (p. 15) : « La naissance de la physique quantique s'est produite le 14 décembre 1900, lorsque Planck ... ». Bricmont évoque ce moment 1900 aux pages 25-26.

Le réalisme « ordinaire » d'Einstein, qui est tout sauf naïf (EPR est aussi un modèle d'argumentation), peut-il retrouver un sens aujourd'hui près d'un siècle après une nouvelle remise en question suscitée par la physique quantique ? La science a résolu ou dissout bien de problèmes philosophiques, qui sont toujours liés à quelque schéma de pensée dualiste, comme la place de l'homme dans l'Univers, l'évolution des espèces, l'origine de la vie et, partiellement, les problèmes cosmologiques. Elle résoudra ou dissoudra tôt ou tard le problème de la conscience ou du libre arbitre¹⁴. Je partage l'analyse de John Searle, philosophe de la tradition analytique anglosaxonne, que l'objection la plus simple et définitive aux dualismes (la liste est longue¹⁵) est que « nous ne pouvons pas donner une explication cohérente de la réalité sur des bases dualistes¹⁶.

2.4 LES DUALISMES S'EFFACENT EN SIMPLES DIVISIONS SYMBOLIQUES – LA CONSCIENCE SYMBOLIQUE

Un dualisme persistant de la pensée scientifique est celui de l'immanence ou de la transcendance des lois physiques par rapport à l'Univers, dualisme qui s'exprime parfois comme un dualisme entre la nature ontologique des lois (interne) et leur nature législative (externe)¹⁷. Je verrai (13) comment ce dualisme est surmonté en partie mais au prix d'un aménagement du concept de loi naturelle qui reste insatisfaisant en raison de la prégnance obsédante du langage mathématique depuis Galilée (que la citation d'Einstein plus haut manifeste selon moi ou sa formule célèbre : « Ce qui est incompréhensible est que le monde soit compréhensible. »

Mais, de manière générale, ces dualismes se réduisent au fil du temps à de simples divisions symboliques, des alternances de coupures et de branchements comme la coupure épistémique qui nous permet de « brancher » et de « débrancher » les symboles à la matière et inversement. Il ne peut en être autrement pour le dualisme de l'être et du connaître, de la nature et des lois de la nature.

Pour y arriver, nous pouvons aborder la question du réalisme de côté et non pas seulement de front comme le font les physiciens lorsqu'ils posent la question de l'impact de l'action de connaissance sur la situation physique qu'elle étudie. Les « lois de la nature » en tant que signes ou symboles complexes, réfèrent à la nature certainement. Nous en attendons pourtant davantage : non seulement qu'ils soient performatifs, des « actes de langage » dans un sens très général (qui nous ont ouvert la technologie des ordinateurs ou du GPS par exemple), mais qu'ils nous livrent les structures de l'univers, comme le pensait Einstein, au point de se confondre avec elles comme un signe iconique parfait, parfaitement transparent, parfait dévoilement. Ce qui est incohérent et nous ramène aux conceptions magiques du signe où le dualisme du mot et de la chose est près de s'effondrer. C'est à ce moment précis que nous prenons conscience de l'incohérence équivalente et inverse de penser que les signes scientifiques, patiemment construits, ne nous disent rien, ne réfèrent à rien si ce n'est aux opérations

¹⁴ C'est le sujet de mon essai [Le concept scientifique du libre arbitre – Emergence et coévolution](#), 2020.

¹⁵ Dualisme ancien du monde supralunaire et du monde sublunaire, de la transcendance et de l'immanence, du corps et de l'esprit, dualisme de la chose en soi et du phénomène, de l'empirique et du transcendantal, de l'être et de l'étant, de la forme et du contenu, de l'intuition externe et de l'intuition interne, des propriétés physiques et des propriétés sensibles, dualisme conceptuel du physique et du mental, dualisme interactionniste entre le niveau intentionnel conscient et le niveau physique, dualisme du second ordre entre monisme matérialiste et dualisme. Tous ces dualismes expriment ou trahissent une axiologie, une préférence ou une position dominante.

¹⁶ « The real objection to dualism is that we cannot give a coherent account of reality on dualist assumptions. » (John Searle, *Dualism revisited*, 2007)

¹⁷ Etienne Klein, [Quelle est la nature des lois de la nature ?](#), 2019 (vidéo en ligne).

pour les construire et les agencer. C'est le moment où le dualisme apparaît pour ce qu'il est : un outil symbolique devant être dépassé pour d'autres modes de compréhension de la réalité comme l'étude des interactions dynamiques entre deux types de systèmes physiques et symboliques, qui existent bel et bien, mais sur deux plans différents, un ajustement permanent de contraintes réciproques entre ces systèmes. C'est sur ce chemin de la conscience symbolique, qui peut apparaître futile au regard de l'extraordinaire aventure scientifique, que je m'engage modestement et parallèlement au chemin parcouru par Jean Bricmont pour retrouver, en physicien, le contact avec le réel.

3 LE CONTEXTE

J'ai consacré un chapitre de mon essai *Le concept scientifique du libre arbitre* à la liberté du physicien¹⁸, ayant accumulé, de mon point de vue de philosophe décrié par Steven Weinberg par exemple, tant et tant de lectures scientifiques et philosophiques sur la physique contemporaine. Mais aucune recherche n'est isolée, aucun sujet n'est étanche. Et une nouvelle couche d'écriture de ce chapitre huit et d'autres corrélés, conforme au projet de cet essai d'un « échafaudage symbolique »¹⁹, s'est imposée à la lecture du livre de Jean Bricmont *Comprendre la physique quantique* (Odile Jacob, 2020) et d'autres textes et conférences qui l'ont précédé²⁰, d'autant que j'ai déjà eu l'occasion de croiser sa plume acérée, hétérodoxe dans *Impostures intellectuelles*²¹, écrit avec son complice Alan Sokal²².

3.1.1 « Contre la philosophie »

Weinberg²³ est très sévère à l'égard de la philosophie dans *Dreams of a Final Theory : The Search for the Fundamental Laws of nature*, (Pantheon Books, 1993) au point d'intituler un chapitre « Contre la philosophie ». Il s'en prend à la « pensée pure » qui caractérise la philosophie critique de Kant. Pour Weinberg, la philosophie a gêné le progrès de la physique en lui imposant des catégories trop contraignantes comme les formes a priori et les concepts purs. Plus aucun physicien, aujourd'hui engagé dans la recherche des lois fondamentales de la nature ne s'encombre de ce type de philosophie.

Mais Weinberg montre aussi une sensibilité philosophique et artistique à l'égard de la science. Malgré

¹⁸ Albert Dechambre, [Le concept scientifique du libre arbitre – Emergence et coévolution](#), chapitre 8 : La liberté du physicien, 2020. Désormais CSLA.

¹⁹ Un processus graduel de production, de sélection et d'évolution de systèmes de signes que Jesper Hoffmeyer décrit comme un « échafaudage sémiotique » (semiotic scaffolding) et Daniel Dennett comme « une grue qui fabrique des grues », de représentations culturelles (gravures, fresques, parures, symboles, mots, idées, théories, œuvres, etc.). Voir [CSLA](#), 1.4 Le schéma dynamique du libre arbitre.

²⁰ *Contre la philosophie de la mécanique quantique* où l'auteur raconte la genèse de sa dissidence (pages 3 et 4) (Texte d'une communication au colloque "Faut-il promouvoir les échanges entre les sciences et la philosophie?" Louvain-la-Neuve, 24 et 25 mars 1994 (https://cortecs.org/wp-content/uploads/2010/12/CorteX_Bricmont_contre_philo_quantique.pdf). « Les physiciens ont une profonde méfiance, en partie légitime, vis-à-vis des "préjugés" philosophiques. Mais mon but est de montrer que les pires préjugés ne sont pas nécessairement du côté du réalisme. Par ailleurs, n'étant pas philosophe, je suis conscient d'utiliser une terminologie un peu imprécise pour désigner les différents courants de pensée. Ce qui m'intéresse, c'est la façon dont ces courants se reflètent dans l'attitude adoptée par les scientifiques face à leur pratique. » On se reportera encore aux cours qui permettent de saisir « l'esprit hétérodoxe » de Bricmont, disponibles en ligne : [Mystère quantique : la superposition et la non localité](#), [La théorie de Broglie-Bohm](#).

²¹ Alan Sokal, Jean Bricmont, *Impostures intellectuelles*, Odile Jacob, 2^{ème} édition 1999. Le chapitre 11 *Un regard sur l'histoire des rapports entre science et philosophie : Bergson et ses successeurs* a été ajouté dans la seconde édition.

²² Albert Dechambre, [L'époque critique de l'écriture - Essai \(de philosophie hétérodoxe et exubérante\) sur la convergence réflexive](#), 1.7. La science n'est pas un texte : l'affaire Sokal, 10.6 Le regard rétrospectif de Sokal et Bricmont sur Bergson, 12.5 Les postures intellectuelles. Ma lecture des cibles de Sokal et Bricmont y est plus charitable, notamment celle de Gilles Deleuze que j'aurai l'occasion de mentionner ça et là dans cet essai. Mais je salue et partage globalement le contenu critique des *Impostures intellectuelles*, nécessaire à son époque.

²³ [CSLA](#), 22.3. Steven Weinberg contre la philosophie

sa défense d'un réductionnisme « froid et impersonnel », d'un « réalisme rudimentaire » (*rough-and-ready realism*), il développe l'idée que la découverte des traits constitutifs de la théorie finale (les principes de rigidité et de symétrie) relève non d'une « science de la science » mais d'un « art de la science ». Il représente l'espace des principes scientifiques par un faisceau de flèches d'explications (*arrows of explanation*) pointant dans toutes les directions mais issues d'une source commune constituée par des principes de symétrie. Les sciences ne sont donc pas, dans ce schéma, des bouquets (clumps) séparés et déconnectés.

Cette vision d'une unité des sciences au nom de principes antérieurs aux lois de ces sciences conforte la mienne même si le principe que j'avance est différent : celui d'une certaine unité de la conscience symbolique qui a émergé avec l'homo sapiens et a produit ce que j'appelle la liberté symbolique, ici du physicien. Le « principe de réalité » qui est mis à l'épreuve ici est un autre candidat, comme condition d'exercice de la liberté symbolique.

3.2 L'ÉTRANGETÉ QUANTIQUE ET L'ÉVOLUTION CULTURELLE

Dans son livre, Bricmont se place sur un plan similaire des principes, un plan conceptuel plus général que le cadre strict des concepts théoriques inventés par les physiciens pour comprendre l'étrangeté des phénomènes à l'échelle des atomes et des particules comme la quantification, la superposition des états, la dualité (ou complémentarité exclusive), l'intrication, la non-localité. Ces nouveaux concepts heurtent les intuitions que nous avons du monde physique fondées sur l'expérience immédiate et viennent brouiller profondément les concepts ancrés dans le langage naturel et les langues qui les expriment, nécessaires également pour critiquer les théories scientifiques. Ces « créations libres » de nouveaux concepts ne sont pas uniques, elles sont plutôt la règle en physique comme le principe d'inertie ou le concept d'espace-temps, deux conquêtes symboliques majeures de Galilée et d'Einstein. Elles élargissent le champ symbolique de l'espèce humaine comme son champ d'intervention technologique, et s'exposent au processus de l'évolution culturelle qui les ancrera dans certaines langues ou les abandonnera comme les concepts de « lieu naturel » (Aristote) ou de « vitalisme ».

L'évolution culturelle est un concept précis (Richard Dawkins, Daniel Dennett) forgé pour élargir le concept d'évolution naturelle, mais de telle manière que ces deux évolutions soient étroitement articulées au point que nous devons parler de coévolution (Terrence Deacon, Ian Tattersall, Jean-Jacques Hublin, Pascal Picq) ou d'interaction dynamique entre la biologie et la culture chez Sapiens, où les choix culturels de nos ancêtres façonnent nos gènes autant que les mécanismes d'adaptation orientent nos choix culturels²⁴.

3.2.1 La question du réalisme comme principe métathéorique à la source de toute connaissance scientifique

C'est sur ce plan symbolique plus large qui embrasse la biologie et la culture, que je vais expliciter par la suite, que je me place, aux côtés de Bricmont pour comprendre la question principale que je rappelle : « Comment notre connaissance de quelque chose peut avoir un impact sur une situation physique ? » (CPQ, 38) posée par le processus de mesure en physique quantique, où la « réponse de la nature » enregistrée par les instruments semble dépendre de la « question » qui lui est posée, du type d'expérience menée, question qui représente et reflète notre connaissance scientifique avant l'expérience et dont on espère qu'elle progressera grâce à cette expérience. C'est la vieille question philosophique du réalisme, c'est-à-dire d'une réalité indépendante que la physique quantique a

²⁴ Jean-Jacques Hublin, *Biologie de la culture, Paléanthropologie du genre Homo*, Leçon inaugurale au Collège de France le 8 octobre 2014, Fayard, 2017, p. 32-38, 53. « La réponse à nos interrogations tient essentiellement en trois termes : technologie, langage, complexité sociale. »

renouvelée, bousculée à nouveau et, en même temps, voulu évacuer en éprouvant un nouveau principe fondateur dont je retiens particulièrement une des nombreuses formulations qui me paraît la plus tranchante :

« La physique quantique ne décrit pas la réalité mais la structure de notre expérience consciente. »

Cette affirmation serait la conséquence du fait qu'en physique quantique nous ne pouvons prédire que des résultats de mesure, et cela de manière probabiliste, au cours des expériences et non les valeurs de propriétés intrinsèques des particules comme la position, la vitesse ou la masse, qui étaient l'objet de la mécanique classique comme prédire le comportement des astres en orbite autour du Soleil. Mais cette déduction radicale est-elle valide ? Bohr, Heisenberg ou Jordan défendirent ce principe, Einstein et Schrödinger le contestèrent pour ne parler que de la génération des pères fondateurs.

Je remarque que la question du réalisme ne se pose pas en biologie où le réalisme est la condition de possibilité même de compréhension des phénomènes liés à l'évolution biologique mais aussi à l'évolution culturelle qui prend ici tout son sens.

On voit la tension : notre connaissance aurait un impact sur la réalité mais ne dirait rien de cette réalité, évacuant le chemin inverse d'un impact de la réalité sur notre connaissance ! Ce qui est inconsistant d'un point de vue dynamique qui se penche sur les interactions et couplages entre des systèmes physiques et les ajustements de contraintes réciproques entre eux. Ici entre des systèmes physiques, soigneusement bornés, et un système symbolique de connaissance, « la Physique », qui comprend des théories écrites dans un langage formel, des modèles, des outils iconiques (comme les diagrammes de Feynman ou les diagrammes d'espace-temps), des dispositifs expérimentaux et tout un appareil critique partagé par la communauté des physiciens²⁵. Un système qui est à la fois symbolique et physique sans que l'on sache exactement où le physique finit et le symbolique commence, selon l'image fameuse des lunettes de John Bell :

« Le problème de la mesure et de l'observateur est de savoir où l'un et l'autre commencent et finissent. Prenez mes lunettes par exemple: si je les enlève, à quelle distance dois-je les mettre pour qu'elles fassent partie de l'objet plutôt que de l'observateur? Il y a de tels problèmes depuis la rétine jusqu'au nerf optique et au cerveau. Je pense que, quand on analyse ce langage dans lequel les physiciens sont tombés, à savoir que la physique concerne les résultats d'observations, vous voyez qu'à l'analyse tout cela s'évapore et que rien de très clair n'est dit. » (John Bell cité par Jean Bricmont, Contre la philosophie de la mécanique quantique, p. 7)²⁶

Ce rapport dynamique produit des cycles de connaissances successifs et induit une définition très simple du réalisme :

« Le réalisme consiste à penser que nous pouvons élaborer des théories qui nous donnent une connaissance objective du monde au moyen de la confrontation systématique de la théorie et de l'expérience. » (Jean Bricmont, Contre la philosophie de la mécanique quantique, p. 4)

²⁵ [CSLA](#), chapitre 10 Le processus de l'action scientifique et ses applications.

²⁶ En anticipant les discussions des sections suivantes, Bricmont remarque que Niels Bohr avait lui aussi insisté sur l'impossibilité d'une distinction nette entre le système et l'appareil de mesure. Il avait raison mais en faisait un a priori alors que dans la théorie De Broglie-Bohm, c'est une conséquence des équations. Voir Jean Bricmont, [La théorie de Broglie-Bohm](#) (vidéo).

Comme en biologie, le réalisme occupe ainsi une position métathéorique de condition préalable à toute connaissance, première par rapport aux questions de la complétude ou du déterminisme des théories physiques²⁷. On peut aussi le comprendre comme un « invariant critique » parcourant tous les degrés du réalisme, du réalisme le plus instinctif au « réel voilé » le plus sophistiqué, voire le « réel hyperbolique » d'Everett, permettant aux physiciens et aux non physiciens de communiquer entre eux, ce qui n'est pas rien, et en retour aux physiciens de *comprendre mieux* ce qu'ils font.

3.2.2 Une complémentarité exclusive – les perplexités sémantiques

La question principale de l'impact de l'observateur sur le système observé fut posée pour la première fois avec les expériences des fentes de Young que je suppose connue, du moins dans ses grandes lignes par le lecteur. La présence d'un détecteur de position placé au niveau d'une fente, les deux fentes étant ouvertes, affecte les impacts sur l'écran et donc la situation physique. Observer par quelle fente « passe » la particule au moyen de détecteurs a pour effet de supprimer la figure d'interférence obtenue sur l'écran lorsque les deux fentes sont ouvertes et sans détecteurs de position. Observer par quelle fente passe la particule affecte la situation physique (la figure d'interférence obtenue sans observation).

Je résume d'un trait le problème de la mesure quantique (CPQ, p. 32-43) :

... Comment pouvoir dire d'une particule qu'elle est passée par les deux fentes, ou n'est passée par aucune fente...

...Don't look: wave, look: particle... (Si tu ne regardes pas, c'est une onde, si tu regardes, c'est une particule)

Retenons seulement que l'explication orthodoxe est fondée sur la mystérieuse complémentarité onde-corpuscule, une « complémentarité exclusive »²⁸ qui sonne comme un oxymore, et non sur un mécanisme physique unique qui expliquerait le comportement des particules dans les trois conditions expérimentales (une fente ouverte, deux fentes ouvertes, un détecteur de position au niveau d'une des deux fentes ouvertes).

Einstein a mis en scène ces perplexités quantiques, de la manière la plus simple qui soit, dans l'expérience de pensée des deux boîtes (que je décrirai en 5.2) : la particule se matérialise-t-elle soudain dans une boîte au moment où, ouvrant l'autre boîte, j'observe qu'elle est vide ?

Bricmont tente de lever les perplexités sémantiques produites par les tensions entre le formalisme quantique des superpositions d'états (décrites par la fonction d'onde) et le (méta)langage nécessaire d'états bien définis pour relier le « monde microscopique » au « monde macroscopique » dans lequel nous menons des expériences et agissons, et pour assurer l'intersubjectivité des résultats. Il n'y parvient pas tout à fait, ce qui est naturel, ce problème ne pouvant se résoudre par des décrets mais seulement sur le temps long comme tous les problèmes liés à l'évolution de la conscience symbolique et des instruments symboliques comme les langues humaines.

²⁷ Michel Paty, *Einstein*, Les Belles Lettres, 2004, p. 116, 141; *Albert Einstein, David Bohm et Louis de Broglie sur les 'variables cachées' de la mécanique quantique*, La Pensée (Paris), n°292, 1993, p. 93-116.

²⁸ Le sens habituel de complémentarité est celui de deux descriptions qui se complètent comme deux images d'une maison, côté façade et côté jardin. Ce qui correspond à la perception naturelle et à nos attentes perceptives. Edmund Husserl donne un exemple classique de perturbation perceptive : si en regardant une maison, je la contourne et m'aperçois que c'est un décor, alors mon « noème » de maison (comme unité intentionnelle d'abri et de protection) explose (*Erfahrung und Urteil*, § 21). Il y a quelque chose de cet ordre dans la mesure quantique où les noèmes de particule et d'onde explosent selon le type de mesure.

3.2.3 L'intuition éduquée

Nous pouvons cependant nous forger une intuition de certains concepts nouveaux comme celui de la superposition d'états, en partant de notre expérience quotidienne des ondes pour remonter au nouveau concept qui s'applique à présent aussi aux particules concept pour aller vers les sens, une « intuition éduquée » en quelque sorte. Ainsi en observant deux ondes concentriques produites par deux bâtons agités à des endroits différents sur un étang. Un système d'ondes plus compliqué se forme et nous voyons en certains endroits (imaginons des bouchons qui flottent) une nouvelle onde qui résulte de la « rencontre » des deux ondes initiales que nous décrivons avec le nouveau concept de superposition des deux ondes initiales. Son amplitude est simplement l'addition des amplitudes de celles-ci que nous observons au moyen du bouchon qui s'élève deux fois plus (les ondes sont dites en phase à cet endroit). Nous avons ainsi sous nos yeux, selon Etienne Klein, la quintessence du principe de superposition : la somme de deux ondes est encore une onde²⁹.

Nous pouvons également nous représenter la réduction de la fonction d'onde. En observant attentivement un lancer de pièce, je vois la pièce s'élever en tournant autour d'un axe de symétrie, dans un plan horizontal pour simplifier. La pièce parcourt un cercle : 0 degré qui correspond à pile, 180 degrés à face et toute une série d'états intermédiaires qui correspondent à des superpositions d'états : moitié pile moitié face (90 et 270 degrés) trois quarts/un quart (45 degrés), etc. Nous visualisons en quelque sorte l'évolution de la fonction d'onde avant qu'elle ne s'arrête, comme une horloge, lorsque la pièce rencontre une surface solide, tourne et s'immobilise. On peut interpréter l'immobilisation de la pièce, sans recourir à l'opération mystérieuse de la réduction de la fonction d'onde, comme un processus déterministe à partir de conditions initiales pouvant être spécifiées jusqu'à un certain point, qui s'arrête en se pliant aux contraintes de la surface, qui ne peut être que l'état « pile » ou l'état « face ». Je laisse ici le lecteur poursuivre l'analogie, la formaliser peut-être ou encore en montrer les limites, comme celles de toute modélisation scientifique. En particulier décrire les contraintes imposées à la réponse d'une particule interagissant avec la forme et la structure des appareils de mesure, qui donnent le plus souvent des réponses simples binaires : + ou -, « en haut » ou « en bas » pour une mesure de spin par exemple, selon les conventions adoptées.

Nous formons ce que j'appelle une « intuition éduquée »³⁰. Une telle intuition, nourrie par les formalismes et leur interprétation, guide, nous le verrons, l'interprétation réaliste de De Broglie-Bohm qui établit un rapport des particules avec leur onde pilote et clarifie le concept de mesure, qui a convaincu Jean Bricmont de la défendre.

3.3 L'INTERPRÉTATION DE COPENHAGUE VS L'INTERPRÉTATION DE BROGLIE-BOHM

Revenant à Bricmont, celui-ci appuie ses interrogations sémantiques sur les interprétations scientifiques de la physique quantique mais aussi sur les interprétations pseudoscientifiques, farfelues, « new-age ». Je me concentrerai sur sa critique de l'interprétation dite de Copenhague en référence à

²⁹ Etienne Klein, *Petit voyage dans le monde des quanta*, Champs Flammarion, 2004, p. 24, 74.

³⁰ Un exemple simple d'une intuition éduquée est l'expérience d'une mélodie selon que l'auditeur a ou n'a pas reçu une éducation musicale. Le mélomane peut « tendre l'oreille », l'entendre selon des modalités attentionnelles diverses : se concentrer sur la ligne mélodique, l'harmonie, tel instrument ou encore sur l'écriture de la partition. L'intuition du temps d'Einstein est une intuition éduquée à la fois par une expérience de pensée comme chevaucher un rayon lumineux et le symbolisme de l'espace-temps ou des diagrammes d'espace-temps. Nous pouvons aussi lire, par exemple, dans l'avant-propos de *l'Introduction à la relativité générale* de Yves de Rop qu'il cherchera à « rendre aussi intuitifs que possible la dilatation du temps, la relativité de la simultanéité, la contraction des longueurs » et à « développer progressivement une intuition du champ de gravitation en relativité générale ». Voir [CSLA](#), 18.5 La conscience du temps.

Niels Bohr qui y vécut et enseigna, alors que celle-ci « n'est plus jamais défendue comme telle », en dehors de « l'épistémologie française contemporaine » encore imprégnée de l'idéalisme³¹.

Je rappelle très brièvement que selon « l'orthodoxie bohrienne », qui est une expression de Bricmont, la physique ne porte pas sur une réalité physique indépendante, comme le prétendait la physique classique, mais sur les expériences que nous menons, au moyen desquelles nous obtenons des connaissances, c'est-à-dire des structures de données formalisées au moyen de lois essentiellement statistiques, comme l'interprétation probabiliste de la fonction d'onde³². Mais le concept de connaissance ici déployé semble intransitif, ce n'est pas une *connaissance de*, ou alors ce n'est qu'une *connaissance de nous-mêmes*, concept flirtant avec une forme de psychologie introspective et ses spectres solipsistes. On y reviendra. En termes philosophiques, elle renonce à établir une ontologie pour se réfugier, au mieux, dans l'épistémologie. Einstein ne cessait de répéter la question : la fonction d'onde est-elle physique ou épistémique ?

Mais, selon la théorie réaliste De Broglie-Bohm, les particules ont bien une position réelle et déterminée, et donc une vitesse et une trajectoire, guidée par une onde pilote, et cela indépendamment d'un observateur et de processus de mesure. Où la théorie s'éloigne du réalisme du sens commun, c'est en admettant la non-localité (l'action à distance instantanée) comme un résultat définitif du théorème de Bell (1964) et ses vérifications expérimentales réalisées depuis (Alain Aspect, Anton Zeilinger, etc.). La théorie intègre donc les prédictions de la mécanique quantique ne contestant que l'interprétation orthodoxe et la mystérieuse réduction de la fonction d'onde au moment d'une mesure.

Bricmont insiste sur un point : l'existence d'une telle théorie, une « création libre de l'esprit », selon la célèbre expression d'Einstein³³, de physiciens de premier plan (c'est essentiel de le préciser) doit, au moins, nous mettre en garde contre des interprétations qui transgressent la logique de la recherche scientifique en tirant des conclusions philosophiques (ontologiques) infondées du formalisme. Qu'il existe une seule théorie infirmant le point de vue dominant et celui-ci se voit réfuté s'il prétend à l'universalité de ses énoncés.

Je partage cette mise en garde comme l'agacement de John Bell (qu'il relaie) suscité par des formules comme « la réalité n'existe pas », qui prennent leur source dans le langage que les physiciens utilisent pour commenter leur formalisme, sources de perplexités sémantiques. Pourquoi utiliser encore des termes sans référent comme « nature », « monde » et surtout « lois naturelles » ? Cela a-t-il un sens d'affirmer que « la réalité n'existe pas » ou, pragmatiquement, de se résoudre à la formule de Richard Feynman : « La physique quantique est incompréhensible, taisez-vous et calculez. »³⁴.

³¹ C'est l'objet du chapitre 12 du livre de Bricmont : La physique quantique et l'épistémologie française.

³² Je suis conscient que c'est une manière très rapide de parler du formalisme quantique, mais cela me semble suffire au niveau symbolique où je me place.

³³ [CSLA](#), 8.4.3. Des créations libres de l'esprit.

³⁴ Cette réplique de Feynman est parmi les plus célèbres avec cette variation : « Personne ne comprend rien à la mécanique quantique ». Une autre est : « si vous rencontrez quelqu'un qui prétend avoir compris la mécanique quantique, alors vous avez appris quelque chose sur cette personne : que c'est un menteur ». Lee Smolin (*The Trouble with Physics*, 2006, p. 312) rapporte que c'était le mantra en vigueur dans les années 1970, où il était de bon ton de regarder de haut les physiciens préoccupés par des questions philosophiques. Cette défiance s'est répandue dans les manuels. Voici comment le célèbre cours de physique de Berkeley sur la physique quantique, encore réédité aujourd'hui, dit de la manière dont la philosophie s'est emparée de l'interprétation probabiliste de la mécanique quantique : « Qu'il y ait *par principe* une limite à notre capacité de prédire les événements futurs, fût considéré par des non-physiciens d'esprit philosophique, comme une idée des plus profondes et révolutionnaires. Inévitablement, une énorme quantité de bêtises furent écrites à ce sujet (et sur les relations d'incertitude), et les auteurs ont abouti à toutes sortes de conclusions tirées par les

Ne peut-on pas convenir, avec ce recul et cette ouverture aux théories désignées hétérodoxes, qu'un formalisme représente *aussi et nécessairement* notre connaissance de la réalité objective, mais entendue *le plus simplement du monde*, comme « ce qui résiste », « renvoie les coups » (kick back) autant à nos actions sur elles que sur nos tentatives répétées pour la connaître ?³⁵

Nous verrons dans la suite comment Bricmont répond aux coups symboliques portés au réalisme au nom d'une nouvelle physique qui a jugé inévitable un tel abandon.

Mais auparavant, pour me raccrocher au second thème de cet essai, le libre arbitre, je vais me laisser inspirer par la « posture intellectuelle » de Bricmont, un peu étrange de mon point de vue, que : « En fait, notre seul objectif est ici de « libérer » la physique, pour ainsi dire, des préoccupations relatives au libre arbitre. ». Cet objectif est atteint, ce que je vais tenter de montrer, grâce à la liberté du physicien Jean Bricmont et de sa « contre-histoire » de la physique quantique.

cheveux sur les implications de la mécanique quantique concernant les affaires humaines en général. L'auteur ne nie pas que la question (...) soit un objet légitime de spéculation philosophique. Cependant, il veut mentionner que les physiciens professionnels d'aujourd'hui semblent accorder très peu d'attention à cette question. L'auteur ne peut se souvenir d'aucune discussion autour d'un déjeuner où ait été mentionnée cette question (...) En fait, il est juste de dire que les physiciens pensent très peu à la théorie de la mesure en mécanique quantique, sauf quand ils enseignent un cours d'introduction sur le sujet. » (Eyvind H. Wichmann, *Berkeley, Cours de physique*, tome 4. *Physique quantique* (1967), Dunod, 1998, p. 258)

³⁵ Je rappelle cette formule percutante de Samuel Johnson rendue populaire par Richard Dawkins : « La réalité est ce qui peut rendre les coups. » (Reality is what can kick back) pour refuter le solipsisme de Berkeley. Je cite son biographe : « Après que nous fûmes sortis de l'église, nous sommes restés quelque temps à parler ensemble de l'ingénieux sophisme de Monseigneur Berkeley qui prouvait la non-inexistence de la matière, et que tout dans l'univers n'est qu'imaginaire. J'observais que, bien que nous soyons satisfaits que sa doctrine ne soit pas vraie, il est impossible de la réfuter. Je n'oublierai jamais l'empressement avec lequel répondit Johnson, frappant avec grande force une grosse pierre du pied, et se reprenant : « C'est ainsi que je la réfute. » (James Boswell, *La vie de Samuel Johnson*, 1791, 1986 pour la traduction française, p. 122). Francis Bailly et Giuseppe Longo parlent de la « friction du réel » entre une réalité en dehors de nous et nos actions de connaissance sur elle (Francis Bailly, Giuseppe Longo, *Mathématiques et sciences de la nature. La singularité physique du vivant*, Hermann, Paris, 2006, p. 23, 30, 111, 209).

4 JEAN BRICMONT ET LE LIBRE ARBITRE — LA TROISIÈME LIBERTÉ

La définition de Bricmont du libre arbitre est synthétique, rejetant le concept absolu du libre arbitre, imprégné par la pensée philosophique (une action ou une volonté sans contrainte aucune), illusoire et sans application réelle, pour embrasser un concept plus pragmatique ³⁶.

« Ce n'est pas simplement le sentiment d'agir sans contraintes extérieures, sans que personne ne me force à faire quelque chose, mais plutôt que je choisisse, moi, de faire une chose plutôt qu'une autre. » (Jean Bricmont, Comprendre la physique quantique, Odile Jacob, 2020, p. 54)

Cette approche du libre arbitre est en passe de devenir classique après tant d'efforts pour absorber le choc produit par l'idée que le monde peut être indéterminé, qu'on se place à l'échelle des phénomènes physiques microscopiques ou moléculaires et biologiques. Elle peut se résumer à cette formule : « ni déterminisme, ni hasard ». A ces échelles, tout est une articulation du hasard et de la nécessité (Jacques Monod) ou de la contingence et de la nécessité (Stephen Jay Gould)³⁷.

4.1 NI HASARD, NI DÉTERMINISME, SIMPLEMENT UNE VOLONTÉ

Le hasard, supposé quantique, n'explique le libre arbitre pas plus que le déterminisme ne le réfute. En effet, en supposant que nous pourrions appliquer un déterminisme strict à nos comportements en décrivant la trajectoire de chaque atome dans notre corps, Bricmont rappelle qu'il n'y aurait plus aucune distinction à établir entre une personne qui a commis un meurtre et une autre qui n'en aurait pas commis, toutes deux n'ayant que des configurations neuronales différentes. Plus aucune différence entre les héros et les pires criminels, entre dogmes et argumentaires, etc.

De même, en supposant que les lois ultimes de la physique soient indéterministes, le hasard n'aurait encore aucune fonction descriptive ou explicative du libre arbitre.

« Notre sentiment du libre arbitre ne signifie pas qu'il y a des événements aléatoires dans notre cerveau, mais que nous faisons des choix conscients. » (Jean Bricmont, Comprendre la physique quantique, Odile Jacob, 2020, p. 57)

Bricmont poursuit en écartant toute forme d'échappatoire dualiste, comme le dualisme corps-esprit, qui ne peut expliquer « quand et comment celui-ci est apparu au cours de l'évolution » (CPQ, 57). Et Bricmont conclut, apparemment en bottant en touche, qu'il n'entend que « montrer la profondeur du problème » évoquant (en note p. 57) le mystérianisme d'un Colin McGinn³⁸. Conclusion qui justifie son objectif de « libérer » la physique du libre arbitre.

³⁶ [CSLA](#), Chapitre 3. Le concept moderne, scientifique du libre arbitre.

³⁷ Jacques Monod, *Le hasard et la nécessité*, Points sciences, 1970 ; Stephen Jay Gould, *Le renard et le hérisson, Pour réconcilier la science et les humanités*, Point sciences, 2003. Voir [CSLA](#), 2.3.2 Le compatibilisme : deux versions ; 3.4.3 Contingence et émergence (Stephen Jay Gould).

³⁸ Le mystérianisme de McGinn porte sur la conscience mais peut s'appliquer au libre arbitre comme une autre limitation cognitive de l'esprit humain (*Problems in Philosophy, The limits of Inquiry*, Blackwell, 1993; *The Mysterious Flame, Conscious Minds in a Material World*, Basic Books, 1999). Dans mes essais, je défends l'idée que ce sont devenus deux problèmes scientifiques qui peuvent donc être résolus.

Bricmont choisit un point de vue qui est de soulager le libre arbitre de sa charge ontologique en le déplaçant du statut de capacité biologique et cognitive à celui de sentiment. Sentiment que nous pouvons comprendre comme un levier, chez William James : « Mon premier acte de libre arbitre consistera à croire au libre arbitre »³⁹, ou comme une illusion chez Daniel Wegner, une illusion partielle chez Daniel Dennett. La discussion entre Wegner et Dennett montre bien que l'hypothèse d'une illusion mène toujours à une réévaluation de la portée de l'illusion et donc à une forme de réfutation de l'illusion, confirmant ainsi l'intuition de James⁴⁰. C'est là une évolution de la conscience symbolique qui s'appuie sur les moyens symboliques mis en œuvre pour remettre en question une affirmation sur un élément de la réalité que ces moyens réfutent aussitôt de manière performative. Nous verrons que Bricmont envisage d'autres énoncés auto-réfutants pour justifier sa position réaliste. (6.3)

De même, la posture de Bricmont ne « libère » pas seulement la physique mais surtout le physicien, lui permettant de donner libre cours à ses trois libertés, chères au « cependant-déterministe » Einstein : la liberté théorique, la liberté expérimentale et la liberté critique, libertés qui s'articulent dans le *Modèle du processus de l'action scientifique* (PAS) que je décris dans le chapitre huit de mon essai : *La liberté du physicien*, et que je reproduis, amendé, en annexe.

4.2 LE DÉTERMINISME MÉTHODOLOGIQUE

En premier lieu, cette « libération » est justifiée par le rôle que le déterminisme joue en physique, élégamment formulée par Bertrand Russell

« Les scientifiques devraient chercher des théories déterministes comme les chercheurs de champignons doivent chercher des papillons. » (Bertrand Russell, cité par Jean Bricmont, Comprendre la physique quantique, Odile Jacob 2020, p. 58)

C'est un « déterminisme méthodologique » (Steven Weinberg, René Thom⁴¹). Les lois déterministes « qui permettent de contrôler les choses plus efficacement » sont simplement le meilleur allié d'une personne cherchant à être libre, après le levier que suggère William James. Elles sont autant au cœur de « l'entreprise scientifique » qu'au cœur de la conscience du libre arbitre.

Ce que Bricmont résume en conclusion :

« Que nous réussissions ou non dans cette recherche de lois déterministes dépend à la fois de la structure du monde et celle de notre esprit. Mais l'opposition au déterminisme donne l'impression que ce projet lui-même est condamné à échouer ou même à espérer qu'il échouera. Et cet état d'esprit va à l'encontre de la démarche scientifique. » (Jean Bricmont, Comprendre la physique quantique, Odile Jacob 2020, p. 58)

La première phrase éclaire l'idée incohérente selon moi de Bohr et de Heisenberg selon laquelle la

³⁹ [CSLA](#), chapitre 2.5.

⁴⁰ [CSLA](#), chapitre 14. L'illusionnisme de la conscience, de l'ego et du libre, surtout 14.4 et 14.5.

⁴¹ « Certes le but ultime du savant est de montrer que toute évolution est déterminée ; invoquer le hasard, ou une indétermination foncière des phénomènes est contraire à l'éthique scientifique. Seule la connaissance d'un déterminisme causal permet d'avoir un contrôle absolu des phénomènes. Mais ce déterminisme est l'idéal à atteindre, et non un postulat « a priori ». Car la description [...] et dans une certaine mesure, l'explication, sont possibles dans une théorie dont on n'aura pas pu établir qu'elle est soumise au déterminisme. Ainsi, un linguiste peut parfaitement croire, simultanément, au libre arbitre humain, et à la possibilité de formaliser la syntaxe d'une langue ». (René Thom, *Halte au hasard, silence au bruit, La Querelle du déterminisme*, Gallimard, Paris, 1990). Voir aussi [CSLA](#), 23.4 Steven Weinberg : contre la philosophie.

physique quantique se borne à décrire la structure des expériences conscientes.

Voici deux formulations tranchantes de Bohr et de Heisenberg à verser au dossier:

« Il n'existe pas de monde quantique. Il existe seulement une description quantique abstraite. Il est erroné de penser que la tâche de la physique est de trouver comment la nature est. La physique ne concerne que ce que nous pouvons dire de la Nature. » (Niels Bohr cité par J.S. Bell, Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics, Cambridge University Press, Cambridge 1993, p. 142, cité par Jean Bricmont, Contre la philosophie de la mécanique quantique, 1994)

« Quantum mechanics does not represent particles, but rather our knowledge, our observations, or our consciousness, of particles. » (Werner Heisenberg, The Representation of Nature in Contemporary Physics, Daedalus, 87, p. 100, cité par Popper, Postscript, Quantum theory and the Schism in Physics (1956), Hutchinson, 1982, p. 35)⁴²

Comme si notre connaissance de la nature ne nous disait rien de la nature elle-même et aucune dynamique n'existait entre la structure du monde et celle de notre esprit, quelque soit l'échelle de phénomènes adoptée ! Mais de telles assertions paraissent aujourd'hui difficiles à admettre quand on sait que la plupart des technologies en sont des applications directes.

Ensuite, la conclusion de Bricmont sur la fonction du déterminisme me laisse penser qu'échouer à produire du déterminisme est autant un échec de notre volonté de libre arbitre qui repose sur le contrôle des événements.

Gerard 't Hooft, un des autres physiciens à la recherche d'une théorie déterministe et réaliste⁴³ qui remplacerait la mécanique quantique, établit un lien entre le réalisme et le libre arbitre qui sont deux présuppositions d'arrière-plan.

« Pourquoi devrions-nous introduire le libre arbitre en fin de compte ? Pourquoi est-il aussi important ? Et pourtant, nous avons besoin d'une supposition de cette nature pour formuler des théories réalistes. Sans elle nous ne pouvons construire aucun modèle physique du tout. » (Gerard 't Hooft, On the free-will postulate in quantum mechanics, 2007, p. 4)⁴⁴

Enfin la liberté critique de Bricmont s'exerce non pas tant sur le plan de la pratique scientifique mais de ses soubassements logiques où le libre arbitre est une présupposition de son exercice, où personne de sensé ne peut penser que « alors que j'essaie de trouver les mots de ce livre, ils étaient en réalité

⁴² Ou encore : « Nous avons finalement été conduits à croire que les lois de la nature que nous formulons mathématiquement en théorie quantique ne traitent pas des particules élémentaires mais de notre connaissance de ces particules. » (Werner Heisenberg, in Henry Stapp, *Mind, Matter and Quantum Mechanics*, Springer, 2009, p. 219).

⁴³ Gerard 't Hooft, *On The Free-Will Postulate in Quantum Mechanics*, 2007, <https://arxiv.org/pdf/quant-ph/0701097.pdf>. "In this paper, it is advocated to drop the old way of thinking entirely: stop arguing about 'observers', 'systems', 'apparatus' and 'measuring results'. Instead, let us concentrate on 'physical variables', 'physical states', and 'complete descriptions' of these physical states'. These are the true ingredients if we wish to build a model. One could have the Standard Model of the elementary particles in mind, or some string theory, or the planets in their orbits around the Sun."

⁴⁴ « Why would one want to introduce 'free will' at all? What is so important about it? Indeed, an assumption of this nature is needed to formulate realistic theories. Without it one cannot build any model of physics at all! »

tous déterminés au moment du Big Bang ». (CPQ, 55)

Cette formule renvoie à celle de Karl Popper pour illustrer le déterminisme métaphysique qu'il prend soin de distinguer du déterminisme scientifique⁴⁵ :

« Le point de vue (déterministe de Laplace) mène à la prédestination. Il conduit à l'idée que, il y a des billions d'années, les particules élémentaires du Monde 1 contenaient la poésie d'Homère, la philosophie de Platon et les symphonies de Beethoven, comme une graine contient la plante ; il mène à l'idée que l'histoire humaine est prédestinée et, avec elle, toutes les manifestations de la créativité humaine. » (Karl Popper, L'univers irrésolu, plaidoyer pour l'indéterminisme, p. 105)

Je peux donc conclure, en accord avec Bricmont, que le libre arbitre n'est pas un problème relevant de la physique, même si elle a des choses à dire sur son origine et sa compatibilité avec les règles quantiques. J'ajoute seulement qu'il relève essentiellement du plan symbolique où son existence est une des conditions d'exercice de la science, au même titre que le choix des questions que nous posons à la nature sous la forme de dispositifs expérimentaux, sur lequel je reviendrai. (8.2)

4.3 REMARQUE SUR LA POSITION ATTRIBUÉE À NICOLAS GISIN SUR LE LIBRE ARBITRE

Bricmont écrit que Gisin « relie la supposée absence de déterminisme en physique quantique au libre arbitre » (note 2, page 56). Il est vrai que Gisin croit à l'indéterminisme de la nature⁴⁶, le relie en effet au libre arbitre, mais il le fait de manière très lâche. Une certaine forme d'indéterminisme rend possible le libre arbitre mais cela s'arrête là, un peu comme le théorème du libre arbitre de John Conway et Simon Kochen : « *Si les expérimentateurs sont libres, alors les particules le sont aussi !* »⁴⁷. Par contraposition : Si les particules ne sont pas libres, alors nous ne sommes pas libres.

L'argument de l'indéterminisme quantique vise ceux qui sont tentés par le déterminisme métaphysique ou quelque superdéterminisme. Il ne vise pas le déterminisme scientifique qui est nécessairement circonscrit à un domaine physique dont le physicien ne fait pas partie s'il veut faire correctement son métier. L'existence du libre arbitre est donc indépendante de celle du déterminisme ou de l'indéterminisme.

Le libre arbitre est simplement la condition préalable à toute recherche et discussion scientifiques. Sans libre arbitre, nous n'aurions aucun pouvoir de décider si une hypothèse est « vraie » ou non, si elle peut se rapporter ou non à la réalité expérimentale. Nous serions obligés de la tenir pour vraie, partant de l'idée qu'un déterminisme sous-jacent doit nous imposer de ne pas nous poser la question⁴⁸.

« Pour moi, la situation est très claire : non seulement le libre arbitre existe, mais il vient logiquement avant la science, la philosophie et notre capacité de raisonner. Sans libre arbitre, pas de raisonnement. Il est tout simplement impossible pour la science et la philosophie de nier le libre arbitre. Certaines théories physiques sont déterministes, telle que par exemple la mécanique de Newton ou certaines

⁴⁵ [CSLA](#), 8.5.2. Le déterminisme métaphysique absolu conduit à la prédestination et aux vérités interdites.

⁴⁶ « Pour ma part je crois à l'indéterminisme. La physique et la science en général nous informent magnifiquement, nous racontent des histoires sur la nature, mais la nature est toujours plus riche que nos théories. Le futur est ouvert. » (Nicolas Gisin, *Le vrai hasard n'est pas l'apanage de la physique quantique*, La Recherche, juillet-août 2019, p. 45)

⁴⁷ [CSLA](#), chapitre 11 *Le théorème du libre arbitre*.

⁴⁸ Nicolas Gisin, <https://www.agoravox.fr/tribune-libre/article/le-libre-arbitre-scientifiquement-184957>

interprétations de la physique quantique. Elever ces théories à un statut de vérité ultime, quasi religieuse, est une simple erreur de logique, puisque cela est contredit par notre expérience du libre arbitre. » (Nicolas Gisin, L'impensable hasard, Non-localité, téléportation et autres merveilles quantiques, Odile Jacob, 2012, p. 128)

De manière générale, toute démarche critique ou réflexive présuppose la liberté de construire ses arguments. Réciproquement, l'auteur d'un argument présuppose le libre arbitre de son auditoire. Qu'il se méprenne sur la qualité de son audience ne changera pas son argumentation (ou peu et à des fins purement rhétoriques). La forme dialogique est sans doute la forme la plus aboutie du libre arbitre, dans la mesure où chacun stimule et renforce la capacité critique de l'autre (que j'appelle un couplage sémiodynamique, par argumentation croisée⁴⁹).

⁴⁹ [CSLA](#), 7.6.5 Le couplage sémiodynamique entre deux « théoriciens de l'esprit ; 19.4.1 Le couplage sémiodynamique argumentatif. Le couplage sémiodynamique est le quatrième niveau de couplage dynamique que j'ajoute aux couplages thermodynamique (ou homéodynamique), morphodynamique et téléodynamique dans la théorie de Terrence Deacon (19.2 Complexité et profondeur dynamique).

5 LE CADRE THÉORIQUE ÉLARGI DE LA PHYSIQUE QUANTIQUE – LES DEUX PREMIÈRES LIBERTÉS

Je viens de discuter la position de Bricmont sur le libre arbitre, qu'il ne peut exercer que de l'extérieur de la physique, l'ayant lui-même sorti du domaine physique, ce que j'ai appelé sa troisième liberté. Je reviens au déroulement de son livre et à sa première liberté prise à l'égard du formalisme quantique standard. Je rappelle qu'il s'agit pour lui d'élargir le cadre conceptuel étroit du formalisme en discutant la signification réelle que nous pouvons donner de la fonction d'onde qui constitue son armature, conservée dans les théories en compétition comme la théorie de De Broglie-Bohm. C'est pour lui la question principale de son livre. Certains chevauchements entre ses idées et le miennes apparaîtront dans ce chapitre, qui éclairent, je l'espère, la quatrième question majeure posée par la physique quantique, la question symbolique : sommes-nous contraints à faire évoluer le langage de la discussion critique pour progresser dans la compréhension du langage formel ? (2.1)

5.1.1 Les trois questions majeures de la physique quantique

Bricmont articule son livre sur trois questions majeures posées par la physique quantique (CPQ, 13-15, 279) :

1. Le rôle de l'observateur : « La physique quantique place-t-elle un « observateur » (humain ou non) au centre de sa description du monde ? »
2. La question du déterminisme : « La physique quantique implique-t-elle la « mort du déterminisme » ? »
3. La question de la localité : « La physique quantique signifie-t-elle qu'ils existe des actions instantanées à distance dans la nature ? »

Ces trois questions envisagent la fonction d'onde au moment de la mesure où celle-ci s'effondre (collapses) ou se réduit selon le formalisme standard, ce moment précis où les expérimentateurs interagissent avec le système mesuré et peuvent espérer donner à la fonction d'onde une signification réelle, tangible, exprimable dans un langage non formel ([Étape 4 du PAS](#)) c'est-à-dire évaluer les modèles qu'ils avaient imaginé au moment de la première étape de la théorisation ([Étape 0 du PAS](#))

Bricmont répond non aux deux premières et oui à la troisième (CPQ, 15). Je renvoie au texte pour l'exposé de réponses pour me concentrer sur la question principale de Bricmont : « Comment notre connaissance de quelque chose peut avoir un impact sur une situation physique ? ».

5.2 LE MODÈLE EPR ET LE MODÈLE DES DEUX BOÎTES D'EINSTEIN – CHERCHER LE MODÈLE LE PLUS SIMPLE POSSIBLE

Je rappelle (3.2.2) que la question principale fut posée initialement avec les expériences des fentes de Young où la présence d'un détecteur de position placé au niveau d'une fente, les deux fentes étant ouvertes, affecte les impacts sur l'écran et donc la situation physique. Observer par quelle fente « passe » la particule au moyen de détecteurs a pour effet de supprimer la figure d'interférence obtenue sur l'écran lorsque les deux fentes sont ouvertes et sans détecteurs de position. Observer par quelle fente passe la particule affecte la situation physique (la figure d'interférence obtenue sans observation).

5.2.1 Le modèle EPR

Dans la fameuse expérience de pensée, dite EPR pour les initiales des trois physiciens, ceux-ci imaginent une source qui émet des paires d'électrons dans des directions opposées. Ils conçoivent qu'on puisse mesurer la position de la particule a et l'impulsion de la particule b et en déduire l'impulsion de a et la position de b (celles-ci ayant la même masse et la même vitesse initiales), en contradiction avec la mécanique quantique qui affirme que la mesure conjointe de ces deux propriétés n'est pas possible en raison des limitations dues aux relations de Heisenberg. De plus, une mesure sur une des particules modifie la situation physique, affecte à distance et immédiatement l'autre particule en raison de la réduction de la fonction d'onde et rend donc impossible cette mesure conjointe. Du point de vue de la mécanique quantique donc, on ne peut donc pas affirmer qu'il existe des « éléments de réalité » comme la position et l'impulsion. Ce qui heurtait profondément Einstein attaché au réalisme et la localité.

5.2.2 Le modèle des deux boîtes

Pour mettre en évidence l'absurdité selon lui d'une action à distance, Einstein a simplifié au maximum le modèle EPR en imaginant son expérience des deux boîtes, beaucoup moins connue. Une boîte opaque contient une particule. Elle possède une double cloison qui permet de la diviser en deux parties identiques. On éloigne ces deux nouvelles boîtes et on se demande où se trouve la particule. Comment la connaissance acquise sur la présence ou non de la particule en ouvrant une des deux boîtes peut-elle affecter le contenu de l'autre boîte ?

La physique quantique interdit de penser que la particule est dans une des deux boîtes car elle n'assigne pas de position spatiale à la particule en dehors d'une mesure. La particule est dans un état superposé décrit par une fonction d'onde ψ qui assigne une probabilité d'observer la particule dans chaque région donnée de la boîte initiale. Lorsque la boîte est divisée en deux, la fonction d'onde se divise également en deux fonctions ψ_1 et ψ_2 . En ouvrant une boîte la superposition est instantanément supprimée dans l'autre boîte. Si vous ouvrez la boîte B1 et qu'elle est vide cela implique que la particule s'est matérialisée dans l'autre boîte. C'est un exemple de ce qu'Einstein appelait une action fantôme à distance (spooky action at distance). La seule manière de supprimer la non-localité est tout simplement de considérer que la particule s'est retrouvée dans une des deux boîtes au moment de la séparation.

L'expérience des deux boîtes est un *modèle de modélisation* qui, sous des apparences simplistes, jette une lumière crue sur le problème du réalisme en écartant toute information superflue. Ce n'est plus un modèle d'une théorie réaliste et locale comme EPR, mettant en scène des propriétés et des mesures de propriétés mais un « modèle de théorisation », de second ordre (qui s'apparente au modèle du chat de Schrödinger qui s'en est inspiré semble-t-il). Cette simplification permet aussi tout en gardant l'épure d'y ajouter des éléments d'interprétation spécifiques comme une fonction d'onde qui s'étalerait au cours de l'expérience.

Ainsi le modèle épuré nous permet de revenir à des questions élémentaires : Que théorisons-nous ? Quand une théorie peut-elle être dite complète ? Quel rôle joue la simplicité dans le choix d'une théorie ? La fonction d'onde a-t-elle un sens physique ou épistémique ?

Je me contenterai ici de poser quelques éléments de réponses :

Une théorie physique porte sur autre chose qu'elle-même. Faire porter une théorie sur la connaissance c'est la faire porter sur elle-même, ce qui entraîne des incohérences. Imaginons-nous une théorie biologique qui ne porterait pas sur la vie ?

Une théorie complète doit nous dire dans quelle boîte est la particule. C'est le mérite du modèle de nous rappeler cette autre évidence.

La simplicité joue un rôle essentiel dans l'édifice des connaissances. En considérant, par exemple, que la particule s'est retrouvée dans une des deux boîtes au moment de la séparation indépendamment du fait que des phénomènes de non-localité peuvent se produire dans d'autres conditions expérimentales.

Le modèle permet d'appréhender la non-localité quantique d'une manière qu'Einstein n'aurait sans doute pas accepté. Si la fonction d'onde a un sens physique comme « objet étalé », alors en ouvrant une boîte, celle-ci a une action sur l'autre boîte. Si elle n'a qu'un sens épistémique, elle nous apprend quelque chose sur le système et, de nouveau, la physique quantique standard est incomplète car une théorie complète doit nous dire dans quelle boîte est la particule.

Ce ne sont là que des indications qui méritent un développement hors du cadre de cet essai. Penchons-nous seulement sur la signification réelle que nous pouvons donner à la fonction d'onde.

5.3 LA FONCTION D'ONDE ET LE PROBLÈME DE LA MESURE QUANTIQUE – LA CRISE DU SYMBOLISME EN PHYSIQUE

Une erreur de compréhension de l'interprétation standard est de penser que le carré de la fonction d'onde $\psi(x)$ de la particule en x donne la probabilité que la particule onde *soit* dans une région donnée de l'espace ou qu'elle donne une certaine « densité de matière » (comme Schrödinger l'avait lui-même envisagé). Mais la physique quantique standard ne dit rien de tel. Elle donne seulement la probabilité que la particule *soit mesurée*, rompant avec la signification habituelle de la mesure qui veut que ce qui est mesuré corresponde à une propriété de l'objet comme la longueur d'une table qui est indépendante du fait qu'elle soit mesurée ou non.

« [...] le mot [mesure] vient chargé d'un sens lié à la vie quotidienne, qui est entièrement inapproprié dans le contexte quantique. Quand on dit que quelque chose est « mesuré », il est difficile de ne pas penser au résultat comme faisant référence à une propriété préexistante de l'objet en question. C'est ignorer l'insistance de Bohr sur le fait que, dans les phénomènes quantiques, l'appareil tout autant que le système est impliqué de façon essentielle. » (John Bell)

« La fonction d'onde donne la distribution de probabilités de mesure et c'est tout ! » (Jean Bricmont, CPQ, 73)

Bell et Bricmont ne se rangent pas sous la bannière de Bohr mais cherchent seulement à comprendre ce que devient le concept de « mesure » en physique quantique. De manière générale, la physique quantique standard ne parle que de « résultats de mesure » et jamais de « ce qui se passe en dehors d'elle ou avant la mesure ». (CPQ, 72)

Dans les expériences des fentes de Young, par exemple, la théorie standard ne dit rien sur le passage de la particule par telle fente ou par les deux fentes à la fois, ce qui a lancé le mystère de la physique quantique, mais seulement des résultats de mesure sur l'écran dans les trois conditions expérimentales : impacts simples type balles de fusil si une seule fente ouverte ; interférences si les deux fentes sont ouvertes sans détecteur de position au niveau d'une fente ; plus d'interférences si les deux fentes sont ouvertes avec un détecteur de position au niveau d'une des deux fentes.

Elle ajoute seulement que la fonction d'onde qui décrit une particule est « réduite » au moment où celle-ci atteint un détecteur nous laissant perplexes sur la manière dont la particule qui n'était localisable nulle part avant la mesure, le devient soudain au moment de la mesure. Cette réduction a été vue comme une hypothèse ad hoc, un tour de passe-passe pour sauver l'observation réelle. C'était aussi l'objection d'Einstein au congrès Solvay en 1927 : par quel mécanisme d'action à distance, le

contact de la particule avec l'écran annule partout ailleurs la fonction d'onde qui est étalée dans l'espace (CPQ, 83-84). Le drame d'Einstein, selon Bricmont, fut que cette objection n'a pas été comprise au congrès Solvay (Bohr le dit explicitement) ni ultérieurement malgré tous ses efforts d'imagination comme l'expérience EPR ou celle des deux boîtes.

Mais n'est-ce pas un autre excès de langage de dire, comme les physiciens eux-mêmes ont pu le faire (comme Pascual Jordan), que la particule est forcée à prendre une décision comme passer par une des fentes ou les deux ou adopter telle vitesse lorsqu'elle est mesurée (pour ainsi dire « rentrer dans le rang » classique ? Certes, la position ou la vitesse sont ici liées à un processus de mesure, et il est fort heureux que cette mesure donne un résultat précis, mais n'est-ce pas déjà aller trop loin de continuer à parler de position, de trajectoire ou de vitesse au sens usuel, ne serait-ce que dans des énoncés négatifs ?

Une réponse standard, qui n'est pas satisfaisante, a été de créer des termes spécifiques pour les distinguer des propriétés classiques. Ce sont les *observables* qui sont représentés dans le formalisme par des *opérateurs*, que Bell distinguera de ce qu'il appelle des *étrables* (*beables*) correspondant aux propriétés classiques visibles. Ce n'est là qu'un des efforts mentaux pour penser les différences (voir les différences⁵⁰) entre la physique classique et la physique quantique.

C'est un problème majeur, et tout à fait général, du (méta)langage, ici naturel, qui est approprié pour traduire le langage formel au moment de l'évaluation critique ([Etape 4 du PAS](#)), que Bricmont aborde ça et là, par exemple en discutant deux concepts différents de « mesure », en physique classique et en physique quantique (j'y reviendrai en 7.3), mais néanmoins liés pour maintenir le contact nécessaire entre deux mondes supposés séparés par, ce que Henry Stapp appelle la « frontière de Heisenberg »⁵¹, frontière tout aussi discutable⁵².

On trouve un problème analogue, mais moins aigu, en paléanthropologie, lorsque nous tentons de

⁵⁰ Je me permets ici de défendre un tout petit peu une des cibles de Sokal et Bricmont dans *Les impostures intellectuelles*, critique fondée par ailleurs. Une différence, terme emprunté à Jacques Derrida, contraction de différence et errance, est simplement ici une suite de différenciations successives au cours du temps de la discussion critique au sein d'un domaine scientifique ou entre domaines en concurrence ou en interaction. Mais, dans le langage courant, ces différences sont le plus souvent imperceptibles, une suite continue de différences en quelque sorte. Ici appliquée à des concepts en tension comme « mesure », « complémentarité » ou même « particule » (ponctuelle, étendue, plus ou moins dense, etc.), « temps », « vide », « principe », etc. Avec le terme de différence, l'accent est mis sur l'idée d'un processus différentiel plutôt que sur des différences établies, validées sémiotiquement dans un dictionnaire ou dans un manuel de physique par exemple. Je veux simplement remarquer que nous pouvons donner un sens relativement simple au concept de « différence » sans nous engager dans les remous et les obscurités de la pensée dite déconstructionniste lorsqu'elle prétendait pouvoir s'appliquer à peu près à tout, et en particulier à la physique pour lui dire sérieusement ce que voulait dire la fameuse « constante einsteinienne ». (Voir [ECE](#), 12.5.1)

⁵¹ [CSLA](#), chapitre 10. Je présente la distinction entre l'interprétation de Copenhague et l'interprétation orthodoxe de Von Neumann-Stapp fondée sur une appréciation différente de la « frontière de Heisenberg ». Dans l'interprétation orthodoxe (selon Stapp), la frontière de Heisenberg entre les systèmes macroscopiques et microscopiques n'existe plus : tous les systèmes sont soumis aux lois quantiques. Elle est remplacée par une « frontière » entre le domaine physique (qui comprend tous les systèmes macroscopiques y compris notre cerveau) et le domaine mental des actions, des libres choix de l'expérimentateur qui ne sont pas déterminés par les lois physiques. Le domaine mental appartient à ce que Von Neumann appelle un « ego abstrait ». Cette division est analogue, sinon identique à celle de Howard Pattee : la coupure épistémique entre la matière et les symboles.

⁵² J'aborde ce problème majeur de la crise du symbolisme en physique dans mon essai [L'époque critique de l'écriture - Essai \(de philosophie hétérodoxe et exubérante\) sur la convergence réflexive](#), chapitres 10 et 11, en particulier 11.3. Le rapport entre le monde quantique et le monde classique ; 11.4.1. Sensibilité ontologique et langage.

décrire les contenus de conscience des auteurs des peintures rupestres à Chauvet ou à Lascaux. Description nécessairement biaisée par nos langages et notre conceptualité éduquées par des siècles d'évolution artistique.

On verra que la théorie De Broglie-Bohm prend le contrepied (7). Elle décrit des positions réelles (et donc des vitesses et des trajectoires réelles) de particules en dehors des laboratoires et la mesure est requalifiée comme une interaction normale entre les particules et les instruments dans les laboratoires. Le mystère de la soudaine réduction de la fonction d'onde au moment d'une mesure s'évanouit. Le mystère du caractère aléatoire de la réponse de la particule s'évanouit lui aussi en étant transféré sur les conditions initiales de ces interactions qui varient d'un test à l'autre, comme varient les conditions initiales de lancers de pièces par ailleurs parfaitement déterministes⁵³.

Une discussion plus serrée sur le déterminisme inhérent à la théorie De Broglie-Bohm doit envisager que les conditions initiales soient elles-mêmes parfaitement déterminées, impliquant une régression vers le passé de conditions en conditions. Ainsi, même pour expliquer les résultats aléatoires les plus simples, tels que ceux du lancer de pièces, nous sommes logiquement ramenés aux propriétés initiales de l'univers ! Fort heureusement pour le métier de physicien, ce n'est pas nécessaire. J'y reviendrai pour parler de la liberté de l'expérimentateur à l'égard d'un tel déterminisme impossible en pratique. (8.2)

5.4 QUE SIGNIFIE LE FAIT D'ASSOCIER UNE FONCTION D'ONDE À UN SYSTÈME PHYSIQUE ? – POURQUOI LA DUALITÉ DE DEUX RÈGLES D'ÉVOLUTION DE CETTE FONCTION D'ONDE ?

Très schématiquement, Il existe deux règles d'évolution de la fonction d'onde $\psi(x,t)$ d'un système physique (une particule, une paire de particules, un grand nombre de particules, etc.) qui reflètent la dualité contre-intuitive onde-particule. Une règle quand il y a des mesures et une autre quand il n'y en a pas. En dehors d'une mesure, la fonction d'onde évolue de manière déterministe, comme tout objet mathématique évolue selon des règles rigoureuses, à l'image d'une horloge bien huilée dont l'aiguille marque l'heure de manière continue. A tout instant, nous pouvons la calculer en un point x pour obtenir une valeur, un nombre qui indique la probabilité de mesure d'une particule (le système physique le plus simple) en ce point (cette valeur étant donnée par le carré de la fonction d'onde au point x). Mais, au moment de la mesure, nous lui demandons de s'accorder avec les observations comme les points d'impact sur un écran ou la position d'un pointeur qui nous indiquent la position mesurée, qui ne sont plus des probabilités (des nombres réels compris entre 0 et 1) mais, en général, des valeurs entières binaires (+ ou -, haut ou bas, 1 ou -1 selon les conventions utilisées).

John Bell, ce personnage conceptuel⁵⁴ et héros de Jean Bricmont, ironise sur la nature et le rôle de

⁵³ Voir le Cahier couleur, 8.2.2 *D'où vient le caractère aléatoire des prédictions quantiques dans la théorie de De Broglie-Bohm ?* p. 46-48.

⁵⁴ [CSLA](#), 22.6. Le personnage conceptuel est un concept inventé par Gilles Deleuze. L'art, la science et la philosophie sont les trois formes de la pensée opérant sur trois plans corrélés : le plan d'immanence de la philosophie ou plan de consistance des concepts peuplé de personnages conceptuels, le plan de référence de la science ou plan de coordination des fonctions peuplé d'observateurs partiels, et le plan de composition de l'art ou plan des sensations peuplé de figures esthétiques (...) ». Je prends pour exemple Albert Einstein qui incarne sur le plan de référence de la physique un observateur partiel, critiquable et critiqué en raison de ce point de vue partiel, resté attaché au déterminisme et la localité, mais également un personnage conceptuel, en défendant la création libre des concepts et des théories, et une figure esthétique en faisant de la beauté un sentiment supérieur à toutes les facultés. Deleuze était une autre cible de Sokal et Bricmont. On doit pourtant lui reconnaître un intérêt marqué et un goût plus assuré pour décrire la science au sein des autres domaines de la connaissance au sens très large qui inclut selon moi l'art.

l'observateur qui vient briser l'évolution déterministe de la fonction d'onde « du monde » après les milliers de millions d'années nécessaires à l'apparition des physiciens quantiques.

Je ne résiste pas au plaisir de lire Bell cité par Bricmont :

« Qu'est-ce qui permet exactement à certains systèmes physiques de jouer le rôle de « mesureur » ? La fonction d'onde du monde a-t-elle attendu pendant des milliers de millions d'années avant de sauter, jusqu'à ce qu'un être vivant unicellulaire soit apparu ? Ou devait-elle attendre un peu plus longtemps, jusqu'apparaisse un système plus compétent... muni d'un doctorat ? » (John Bell, Against measurement, cité par Jean Bricmont, CPQ, p. 77)

La question se pose alors de savoir si la réduction est un événement extérieur macroscopique imposé à la fonction d'onde du système physique, comme un bâton dans les rouages d'une horloge, ou si nous pouvons intégrer ce type d'événement dans le formalisme, envisager que cette « horloge » très particulière, ait des talents cachés, « s'arrête » en quelque sorte d'elle-même pour marquer l'évènement de la mesure ou plus généralement les interactions entre le système physique décrit par sa fonction d'onde et les autres systèmes au cours du temps.

Dans l'interprétation orthodoxe de l'expérience des fentes de Young, la fonction d'onde ne fait référence à aucun événement physique. Dans le cas où les fentes sont ouvertes avec un détecteur de position, la fonction d'onde est incapable de prédire la position mesurée par le détecteur, ni décrire l'interaction de la particule avec le détecteur. Si la fonction d'onde ne peut décrire que des superposition d'états et faire des prédictions de type probabiliste, alors ces prédictions sont tout simplement fausses puisqu'elles ne correspondent pas à l'observation (CPQ, 93). Si nous raisonnons ainsi, de la manière la plus simple possible, comme Einstein le fait en imaginant l'expériences des deux boîtes, alors le formalisme quantique ne peut être qu'incomplet. Nous devons en conclure comme Einstein que ces probabilités sont le reflet de notre ignorance (CPQ, 98) et qu'il existe donc des variables cachées qui devraient compléter ce formalisme ?⁵⁵

Je passe la discussion du fameux « chat de Schrödinger », que j'ai évoqué comme modèle de second ordre (5.2), à la fois vivant et mort quand on ne le voit pas, qui dramatise cette situation dans l'intention de montrer par l'absurde que la physique quantique n'est pas une description complète de la réalité, qui irritait tant Stephen Hawking : « Quand j'entends parler du chat de Schrödinger, je sors mon revolver ».

Je retiens seulement que la physique quantique, si elle osait sortir des laboratoires, par contagion en quelque sorte sur tous les systèmes physiques, nous conduirait à envisager que tout l'univers physique soit dans un état superposé y compris notre fameux chat et jusqu'à notre conscience qui permet de faire des observations et de les traiter symboliquement au moyen d'un formalisme (c'est la leçon à tirer de « l'ami de Wigner », un autre outil/récit de l'esprit). (CPQ, 95)

Ou alors il faut convenir que cette conscience et tous ces prolongements somatiques et instrumentaux échappent d'une certaine manière aux superpositions d'états et aux lois quantiques en général, que celles-ci soient indéterministes dans sa formulation standard ou déterministes dans sa formulation De-Broglie-Bohm. Le sujet conscient, se livrant à des expériences scientifiques est ce que Henry Stapp, à la suite de John Von Neumann, appelle un « ego abstrait » qui est la condition de possibilité de pouvoir « poser des questions à la nature » sans que ces questions ne soient biaisées dans le fait qu'elles

⁵⁵ Bricmont (CPQ, 98) examine l'idée que la réduction de la fonction d'onde n'est pas aussi étrange si nous interprétons la fonction d'onde de manière statistique. Nous modifions alors simplement la fonction d'onde (et donc les probabilités) « en fonction de ce qu'une mesure révèle sur le système ». Mais il reconnaît qu'un tel ajustement de probabilité, passer de $\frac{1}{2}$ à 1 par exemple, n'est pas une description complète.

seraient déjà contenues dans des lois immuables au même titre que les réponses. Un tel superdéterminisme effacerait et rendrait caduques toutes les étapes du processus de l'action scientifique. Je verrai (6.2) que c'est aussi la position d'Einstein qui malgré son déterminisme pensait que les théories sont des créations libres de l'esprit.

Voici donc un résultat analogue à la discussion de Bricmont autour du libre arbitre où le déterminisme, qu'il soit classique ou quantique, efface toutes les distinctions entre héros et salauds, entre dogmes et argumentaires, etc. alors que la simple observation montre bien qu'ils existent dans la réalité sociale et ont des effets physiques. C'est, somme toute, aussi une implication ignorée des formules de Bohr et Heisenberg sur le rôle d'acteur du physicien, et non de simple marionnette, dans le « processus quantique ».

« La théorie quantique nous ramène, comme l'a dit Bohr, à la sagesse antique qui veut que, quand on cherche à introduire l'harmonie dans la vie, il ne faille jamais oublier que, dans la tragédie de l'existence, nous sommes à la fois acteurs et spectateurs. » (Werner Heisenberg, Physique et philosophie, 1958, Albin Michel, 1961, p. 55).

6 UNE DISCUSSION PHILOSOPHIQUE SUR LE RÉALISME NE PERMET PAS DE COMPRENDRE LA PHYSIQUE QUANTIQUE

Comment discuter en physicien du réalisme, doctrine philosophique par excellence en compétition avec l'idéalisme et toutes ses variations, mise en cause une nouvelle fois par la physique quantique ? (CPQ, 107-108). Bricmont accomplit un petit tour de force qui est d'en parler philosophiquement et historiquement dans le but de se libérer de la discussion philosophique, de la solder en quelque sorte.

6.1 LE RÉALISME COMME CONTACT RAPPROCHÉ — LA PHILOSOPHIE DE TRAVAIL DU PHYSICIEN : UN RÉALISME RUDIMENTAIRE (WEINBERG)

Bricmont commence par définir le réalisme selon ses deux axes ontologique et épistémologique : Il existe un monde indépendant de la conscience humaine et il est connaissable (CPQ, 108). On assume ici que le concept de connaissance humaine ne pose pas de problème majeur : une connaissance humaine est un énoncé vrai, c'est-à-dire qui ne dépend pas de la personne qui l'énonce (ce n'est pas une croyance) et qui est vérifié par l'expérience humaine, dans les limites physiques et biologiques de celle-ci.

6.1.1 La condition d'intersubjectivité

J'écarte le relativisme culturel que Bricmont attache à la connaissance qui est mineur si nous discutons rationnellement entre scientifiques où nous sommes sensés veiller à distinguer les croyances de chacun et les interprétations différentes et légitimes des théories⁵⁶. C'est évidemment une situation idéale que l'histoire tumultueuse de la physique moderne dément. Nous pouvons néanmoins penser que le relativisme devient absurde s'il prétend s'affranchir de la condition d'intersubjectivité qui est nécessaire à tout examen critique des connaissances entre cultures différentes. Si nous considérons le long débat entre Einstein et Bohr, nous devons admettre que les convictions profondes, les schémas de pensée, les tempéraments différents, et sans doute d'autres facteurs, ont joué un rôle dans leur incompréhension mutuelle, mais en plongeant ce débat dans un débat toujours plus vaste et étendu dans le temps, nous devons admettre que la condition d'intersubjectivité reste robuste. C'est sans doute dans les connaissances pratiques, les savoir-faire acquis par les physiciens (qui sont à des degrés divers non conscients et des automatismes) qu'il faut chercher des éléments pour discuter de l'universalité ou non de la physique en tant que science. C'est bien sur ce chemin que Bricmont avance, nous le verrons pour comprendre ce que le formalisme quantique devient dans la théorie De Broglie-Bohm, comme la réduction « en pratique » de la fonction d'onde. (8.2)

Nous pouvons aussi mettre en évidence cet axe culturel intersubjectif étendu en partant de la biosémiose. Pour penser notre rapport au monde d'un point de vue réaliste nous avons besoin de symboles et de véhicules symboliques : configurations informationnelles, neuronales, indices, icones, images, signes, langues, concepts et leurs corrélats sensibles, théories et extensions instrumentales

⁵⁶ Ailleurs, le relativisme peut avoir une place moins mineure, mais comme toute idéologie, ce n'est qu'un passage utile à son dépassement. J'ai en tête le débat entre Marcel Gauchet et François Jullien sur l'universalité des droits de l'homme qui montre qu'un dépassement est toujours possible, ici, en se mettant d'accord sur un universel pratique. Je renvoie à mon article : *Universalité des droits humains et du libre arbitre ? une perspective évolutive et symbolique*. En [ligne](#) sur le site de la Ligue des droits humains.

(laboratoires, détecteurs, etc.) pour les sciences⁵⁷.

Nous voyons alors sous un angle nouveau la tentation de l'orthodoxie de Copenhague, qui semble absurde selon cette description, de penser que cet appareil symbolique placé entre nous et le monde, est le véritable objet de la physique. C'est aussi une manière de repenser la vieille question de la part de la connaissance qui vient du monde (la part réaliste) et la part qui revient à cet appareil symbolique (la part idéaliste). (CPQ, 110)

Je passe la discussion historique, toujours amusante, du solipsisme et du scepticisme qui ont manifestement troublé les esprits à travers les siècles (Berkeley, Euler, Diderot, Russell) ne retenant que la conclusion la plus saine qui est le caractère non réfutable et incohérent de telles idées. Pour les gourmets de la chose néanmoins, je reviendrai sur les énoncés auto-réfutants qu'il entraîne (6.3) et, plus loin, décrirai un rebondissement curieux du solipsisme qui est de faire de la condition d'intersubjectivité une simple convivialité, que propose Hervé Zwirn avec son « solipsisme convivial » (11.4).

6.1.2 Solder la philosophie – Retour à un réalisme rudimentaire

C'est ici que Bricmont solde la philosophie : « Nous ne devons pas nous en préoccuper. » (CPQ, 112)

Ce qui distingue alors « l'honnête homme » s'interrogeant sur la réalité du monde et le scientifique, c'est l'énorme appareil symbolique et technologique, patiemment construit au cours des siècles, qui est somme toute la preuve vivante que nous parvenons à atteindre le réel sous ses aspects que l'appareil symbolique interroge au cours de ses contacts répétés (les expériences) avec lui.

Souvent des idées apparaissent profondes selon un mode d'expression puis banales ou absurdes selon tel autre mode d'expression. Il en est ainsi des formules, jugées audacieuses à leur époque, des Bohr et Heisenberg qui révélaient aussi une certaine impuissance à comprendre les théories qu'ils élaboraient, formules qui seront écartées par la génération des Feynman : circulez, il n'y a rien à voir, contentez-vous de calculer. Mais aucune de ces deux positions n'apparaît définitive avec l'expérience accumulée et les succès de la physique quantique. Le réalisme constitue bien la présupposition, le fondement de toute recherche scientifique qui « donne des coups » et en reçoit en retour du réel. Ce réalisme que la philosophie a voulu rudimentaire et rendu risible est pourtant le fondement du réalisme scientifique.

Je reviens à Steven Weinberg qui estime que la seule « philosophie de travail » des physiciens est un réalisme rudimentaire (*rough-and-ready realism*) accompagné d'un soupçon de beauté qu'ils attendent des lois de la nature (3.1.1). La philosophie traditionnelle aurait ainsi indiqué de l'extérieur ses limites à la science en lui imposant l'idée fausse d'une réalité en soi inconnaissable et celle d'un « être pensant » dont les limites, on dirait aujourd'hui cognitives, « a priori » à l'époque de Kant, sont fixées une bonne fois pour toutes, quel que soit l'engagement de ce sujet unique vis-à-vis de la nature. Pour Weinberg toujours, le philosophe se distingue ainsi par sa « déraisonnable inefficacité » n'étant utile au physicien que de manière négative, pour le protéger des idées préconçues des autres philosophes (DFT, 132). Le physicien se reconnaît plutôt dans la position du chien qui renifle fiévreusement les traces de la beauté qu'il attend des lois de la nature que dans celle du philosophe qui pense la trouver au moyen de la « pensée pure ».

⁵⁷ Je rappelle (2.1) que la biosémie primaire selon Howard Patte est l'émergence des premiers symboles physiques : le génome au niveau cellulaire, puis les mémoires au niveau neurobiologique et ensuite tous les objets sémiotiques proprement dits produits par détachement symbolique. Voir mon essai [De la biosémie primaire à la liberté sémiotique - Emergence de la conscience symbolique](#).

6.2 LE RÉALISME SCIENTIFIQUE : DE LA THÉORIE À L'EXPÉRIENCE, EN PREMIER LIEU, ET RETOUR ENSUITE – LES THÉORIES SONT DES CRÉATIONS LIBRES DE L'ESPRIT (EINSTEIN)

Nous étant affranchis des lourdeurs philosophiques nous pouvons nous pencher sérieusement sur la question du réalisme scientifique qui est plus qu'une « philosophie de travail », un réalisme rudimentaire selon Weinberg.

Lorsque nous disons que le réalisme scientifique postule des entités non observables, voire non visualisables comme la force de gravitation, nous sommes entraînés à nous poser la question de leur « réalité », ce que fit Einstein après Newton lui-même. De même pour les ondes électromagnétiques qui n'ont aucun support matériel, l'espace-temps courbé par la matière-énergie et la fonction d'onde dont la signification reste obscure comme ses deux règles d'évolution (5.4). Pourtant, sans de telles concepts, nous ne pouvons pas formuler de théories physiques.

6.2.1 C'est la théorie qui décide – Les créations libres de l'esprit (Einstein)

Einstein donne une raison très simple : c'est la théorie qui décide de ce qui est observé et non l'observation qui décide de la théorie. Le processus de la connaissance va d'abord des idées, des concepts, des théories qui sont des créations libres de l'esprit, vers l'observation et ensuite ce chemin est parcouru en sens inverse de manière à confirmer ou infirmer la théorie.

« Les concepts physiques sont des créations libres de l'esprit humain et ne sont pas, comme on pourrait le croire, uniquement déterminés par le monde extérieur. »

(Albert Einstein et Léopold Infeld, L'évolution des idées en physique, 1938, Payot, p. 34-35)

« Les axiomes sont des créations libres de l'esprit. Comme les conditions aux limites d'un système physique qui ne sont pas soumises aux lois physiques, les axiomes ne sont pas soumis aux lois du système formel au sens où les axiomes ne peuvent être déduits d'autres énoncés du système. » (Albert Einstein, Autobiographie scientifique, in Albert Einstein, Physique, philosophie et politique, Points Seuil, p. 157)

Pourquoi une théorie ne peut pas ne pas être libre ? Parce qu'il n'existe pas de chemin logique menant des faits empiriques à une équation, pas de chemin menant de l'expérience à l'établissement d'une théorie. L'établissement d'une théorie physique n'appartient pas à cette théorie. Il ne peut en être déduit logiquement.

« Une vaste collection de faits est indispensable à l'établissement d'une théorie qui ait des chances de succès. Mais ce matériel ne fournit pas de lui-même un point de départ pour une théorie déductive ; sous l'effet de ce matériel, on peut cependant réussir à trouver un principe général, qui pourra être le point de départ d'une théorie logique (déductive). Mais il n'y a aucun chemin logique conduisant du matériel empirique au principe général sur lequel reposera ensuite la déduction logique. »

« Je ne crois donc pas qu'il existe un chemin de la connaissance de Mill basé sur l'induction, en tout cas pas un chemin pouvant servir de méthode logique. Par exemple, je pense qu'il n'existe aucune expérience dont on puisse déduire la notion de nombre. Plus la théorie progresse, plus il devient clair qu'on ne peut trouver par induction les lois fondamentales à partir des faits d'expérience (par exemple les équations du champ de la gravitation ou l'équation de Schrödinger de la mécanique quantique). D'une manière générale, on peut dire : le chemin qui conduit du particulier au général est un chemin intuitif, celui qui conduit du général au

particulier est un chemin logique. » (Albert Einstein, Lettre à Michele Besso, 10 mars 1952, BESS 468)

La position d'Einstein n'est pas la critique philosophique classique de l'empirisme au nom d'une rationalité préexistante et fixée dans des lois a priori dans une veine idéaliste kantienne⁵⁸. Le réalisme scientifique est donc d'abord un processus logique avant d'être un processus empirique. Mais une fois établie la théorie, des cycles de connaissance peuvent s'enclencher entre ces deux processus, chacun ajustant ses contraintes avec l'autre. Dans les termes de Bricmont faisant écho à ceux d'Einstein :

« Sans théories qui nous disent ce que nous observons, les observations en tant que telles n'ont pas de signification. » (Bricmont, CPQ, p. 118)

6.3 LE RÉALISME ET LA PHYSIQUE QUANTIQUE — LES ÉNONCÉS SOLIPSISTES AUTO-RÉFUTANTS

Pour la physique classique, il existe une espèce d'harmonie entre la théorie et l'expérience au sens où cette physique « parle » de la même manière de ses objets primaires (comme les astres pour la mécanique céleste) et de ses objets secondaires liés à l'observation : des instruments comme des lunettes et des observateurs en chair et en os, dont ils sont les extensions exosomatiques. Ces objets macroscopiques forment une chaîne homogène. Mais rien de tel en physique quantique où « rien dans la théorie ne nous dit comment fonctionnent les appareils de mesure ». (CPQ, 118)

Mais que signifie cette hétérogénéité entre les objets de la physique quantique et ceux de la physique classique ? Bricmont en donne une qui est indirecte mais particulièrement éclairante. Douter des premiers est auto-réfutant au sens où ce doute est contagieux pour finir par s'appliquer à tout objet.

Je la formule ainsi : douter de l'existence indépendante des « objets quantiques » aboutit à douter de mon existence même et de toutes les théories physiques que je peux produire puisque je ne suis après tout constitué de ces « objets quantiques ». On comprend ainsi les irritations de Bell ou d'Einstein face aux questions solipsistes sur l'existence de la Lune quand nous ne la regardons pas, qui pourraient être encore un peu plus dramatisées ou ridiculisées : « existé-je quand je ne me regarde pas dans le miroir. » qui ressemblent furieusement au chat de Schrödinger, dans leur composition sémiotique⁵⁹.

Un exemple particulièrement édifiant d'énoncé auto-réfutant est celui de Bernard d'Espagnat commenté par Bricmont⁶⁰ :

⁵⁸ Il faudrait ici intégrer une discussion du « néokantisme », interface entre Kant et la science qui a évolué entretemps, mais ce serait nous disperser. Disons simplement que le néokantisme essaie de sauver ce qu'il peut de l'esprit kantien : « Que pouvons-nous savoir ? » mais l'adapte au nouveau cadre scientifique issu de la théorie de la relativité : on conserve le principe formel tout en relativisant son contenu. De la sorte il introduit une bonne dose de scepticisme, voire d'agnosticisme ou d'indifférence à l'égard de la persistante « réalité en soi », qui n'apparaît plus que comme le prix épistémologique à payer pour que de nouvelles adaptations des catégories cognitives soient possibles. On peut aller plus loin en disant que la physique contemporaine a remis en cause tout l'édifice kantien des facultés (la sensibilité, l'entendement et la raison). Le fait le plus spectaculaire est que la physique a réussi à requalifier les deux premières antinomies de la raison (sur le caractère fini ou infini du temps et de l'espace et sur la caractère simple ou composé de la matière) comme des questions scientifiques en reformulant ces antinomies comme posant les questions de l'extension du temps et de l'espace et de la quantification de la matière.

⁵⁹ Bricmont nourrit ce dossier avec une série de physiciens tentés par le solipsisme : Bernard d'Espagnat, John Wheeler, Anton Zeilinger, David Mermin. La réplique de David Stove cite page 121 est particulièrement savoureuse.

⁶⁰ Voir notamment le cours Jean Bricmont, [Mystère quantique : la superposition et la non localité](#) (minute 15)

« La doctrine selon laquelle le monde est fait d'objets dont l'existence est indépendante de la conscience humaine se trouve être en conflit avec la mécanique quantique et avec des faits établis expérimentalement. » (Bernard d'Espagnat, The Quantum Theory and Reality, Scientific American, November 1979, p. 158)⁶¹

L'existence de faits établis expérimentalement implique, par définition, qu'ils sont indépendants de la conscience humaine et par conséquent entre en conflit avec la doctrine qui est implicite dans cet énoncé que les « objets » de la physique dépendent de la conscience d'un observateur selon l'interprétation orthodoxe. On peut évidemment rouvrir la discussion sur la nature de l'observation, faut-il un observateur conscient ou un dispositif physique de mesure est-il suffisant ? ou sur la nature de ces faits qui serait particulière parce qu'ils incluent un événement conscient qui serait précisément l'acte de mesure qui provoque la réduction de la fonction d'onde et révèle cette dépendance des « objets » à la conscience. Mais on s'engage alors dans une discussion circulaire qui est logiquement inacceptable. Et sur un plan strictement logique on peut dire que l'existence d'un seul fait, quelque qu'il soit, au sens usuel du concept de « fait », ruine aussitôt toute doctrine qui nie le réalisme. La réalité contient au moins ce fait qui échappe au « pouvoir » prétendu de la conscience.

C'est un argument similaire à celui qu'on peut adresser aux critiques du libre arbitre qui perdent toute signification si leur auteur en est dépourvu selon sa propre théorie. Quel crédit accorder à une argumentation qui ne serait en réalité qu'un événement sonore ou graphique prédéterminé ?⁶²

Nous pouvons légitimement passer par une phase de scepticisme radical, confrontés que nous sommes aux phénomènes quantiques déroutants et aux modèles et théories qui semblent le mieux s'y appliquer, mais :

« La réaction la plus naturelle serait de dire que quelque chose ne va dans la formulation usuelle de la physique quantique, si elle nous conduit à de telles vues. » (Jean Bricmont, Comprendre la physique quantique, 2020, p. 122)

Il faut éviter, conclut Jean Bricmont, de célébrer des défaites comme des victoires en tenant des affirmations solipsistes définitives (CPQ, 124) ou des affirmations d'inintelligibilité de la physique quantique qui ont nourri tant de spéculations pseudoscientifiques (CPQ, 263).

⁶¹ Cette phrase est en exergue de l'article: "The doctrine that the world is made up of objects whose existence is independent of human consciousness turns out to be in conflict with quantum mechanics and with facts established by experiment." (https://static.scientificamerican.com/sciam/assets/media/pdf/197911_0158.pdf)

⁶² La rationalité joue le même rôle conceptuel de présupposition (Michel Bitbol ajouterait : pragmatique-transcendante). Imaginons un débat portant sur la rationalité dans le débat public. Comment développer un argumentaire contre la rationalité sans se contredire et s'auto-réfuter ? Pour s'imprégner de cette idée, imaginons d'autres débats portant sur la rationalité en politique ou en matière de religion où nous pouvons défendre des postures irrationnelles comme entraîner le peuple dans une cause absurde ou appeler à l'aide de Dieu pour chaque problème rencontré ou invoquer le fameux « Credo quia absurdum. »

7 LA THÉORIE DE DE BROGLIE-BOHM EST RÉALISTE, DÉTERMINISTE, NON LOCALE ET SANS OBSERVATEURS

Dans ce chapitre et le suivant je me contente de suivre l'exposé de Bricmont. Ils ne contiennent pas d'éléments de critique interne dont je suis bien incapable mais se focalisent néanmoins sur un problème particulier qui vient du fait que la « complétion rationnelle », que la théorie De Broglie-Bohm apporte au formalisme standard, ne produit pas le soulagement attendu et soulève de nouvelles perplexités comme le rapport de la théorie à la pratique ou de l'importance relative des actions non-locales, et en réveille d'anciennes comme le déterminisme métaphysique. En retrouvant le chemin du réalisme, en sortant des laboratoires, elle réveille aussi la question de *ce qui se passe réellement*, au-delà des modèles, par exemple entre le début d'une expérience comme l'émission d'une paire de particules intriquées et la mesure de ces particules dans des endroits qui peuvent être arbitrairement éloignés.

C'est le « temps de vol », [l'étape deux](#) du processus de l'action scientifique, le moment le plus mystérieux où la philosophie semble remonter le bout de son nez, après avoir été exclue de [l'étape zéro](#) de la théorisation puis de [l'étape quatre](#) de la discussion critique.

7.1 LA COMPLÉTION RATIONNELLE APPORTÉE PAR LA THÉORIE DE BROGLIE-BOHM

La théorie De Broglie-Bohm fournit les mêmes prédictions que la physique quantique standard. Pourquoi la défendre dans ce cas, et surtout comment ? Pour Jean Bricmont, cette théorie en est la « complétion rationnelle » et surtout son pouvoir explicatif est en cohérence avec notre expérience du monde macroscopique, comme l'image manifeste de l'onde pilote (la vague et le surfeur...) ou de notre perception ordinaire de la position des objets. Ce qui n'est pas sans rappeler les attentes d'Einstein de simplicité et de beauté conceptuelles, ou celles de Bell qui la trouvait naturelle et simple pour résoudre le dilemme onde-particule :

« N'est-il pas évident, étant donné la petitesse de la scintillation sur l'écran, que nous avons affaire à une particule ? Et n'est-il pas clair, d'après les images de diffraction et d'interférence, que le mouvement de la particule est dirigé par une onde ? De Broglie a montré en détail comment le mouvement de la particule, passant par un seul des deux trous de l'écran, pourrait être influencé par les ondes se propageant à travers les deux trous. Et, qu'influencée ainsi, la particule ne va pas là où les ondes s'annulent, mais est attirée là où elles coopèrent. Cette idée me semble si naturelle et simple pour résoudre le dilemme onde-particule d'une manière claire et ordinaire, que c'est un grand mystère pour moi qu'elle soit si généralement ignorée. » (John Bell, cité par Bricmont, CPQ, p. 164)⁶³

Nous revenons à la question soulevée en 5.4. Comment donner un sens physique à la fonction d'onde d'un système physique et à la réduction de cette fonction d'onde au moment d'une mesure ? La théorie créée par Louis de Broglie en 1923 puis abandonnée, complétée par David Bohm vingt-cinq plus tard apporte une réponse. Cette théorie a été traitée de « déviationniste » ou de « nuisible » par

⁶³ John Stewart Bell, *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*, Collected Papers on Quantum Philosophy, 2^e édition, Cambridge University Press, 2016.

les partisans de l'interprétation orthodoxe et ignorée par les critiques de celle-ci comme Einstein et Schrödinger (CPQ, 156-157, 215). Bricmont reconnaît donc en défendant une telle théorie qu'il est minoritaire mais que c'est le seul moyen à ce jour de résoudre les mystères de la physique quantique⁶⁴.

C'est une théorie réaliste et déterministe : la position des particules est la seule variable réelle et indépendante de la théorie. La vitesse et la trajectoire sont elles aussi réelles mais ce que nous mesurons ce ne sont jamais que des positions (« si nous y réfléchissons bien. »), d'où ce statut unique de la position. Des variables comme le spin⁶⁵ qui jouent un rôle central dans les expériences de type EPR dépendent de la configuration de l'appareil de mesure (comme l'orientation d'un champ magnétique avec lequel les particules interagissent). Leur « comportement » permet d'expliquer en partie la non-localité de la théorie.

L'état physique complet d'un système de particules est donné par la fonction d'onde standard et la position des particules. Le mouvement des particules est guidé par la fonction d'onde, d'où le terme « onde pilote » qui donne un sens clair à la fonction d'onde.

C'est tout simplement une théorie de la matière en mouvement, comme celle de Newton :

« Le monde est composé de particules qui se déplacent, et le mouvement de ces particules est déterminé par la fonction d'onde. C'est tout ! » (Jean Bricmont, CPQ, p. 159)

Elémentaire mon cher Watson !

C'est une théorie non-locale : elle respecte les conséquences du théorème de Bell qu'il existe des actions à distance instantanées. La non-localité dans cette théorie n'est plus celle de la réduction de la fonction d'onde mais découle des lois du mouvement lorsque nous considérons plus d'une particule : « il faut au moins deux particules pour que la non-localité se manifeste, c'est-à-dire que l'action sur l'une d'elles puisse influencer le mouvement de l'autre. » (CPQ, 170, *Cahier couleur*, annexe B du chapitre 8)

Je renvoie au chapitre suivant pour la discussion des rapports entre non-localité et théorie de la relativité, entre non-localité et déterminisme, de la position de l'expérimentateur qui ne peut être que locale, assignant ainsi une limite aux actions non locales.

Cette théorie permet de comprendre le rôle actif de l'appareil de mesure. Ce que nous mesurons pour tester la théorie ce sont des interactions. Le mystère de la soudaine réduction de la fonction

⁶⁴ Outre John Bell, notons une exception notoire de sa génération. Le récent prix Nobel de physique 2020, Roger Penrose, partage le point de vue De Broglie-Bohm et donne son explication qui le conduit au problème de la conscience humaine. La partie **R** de la fonction d'onde (la **R**éduction) et la partie **U** (l'évolution **U**itaire) ne sont que des approximations d'une forme d'évolution physique objectivement réelle. Ce sont les phénomènes gravitationnels qui font qu'une réduction objective (**RO**) prend le pas sur **U**. Cette réduction objective ne suppose aucun observateur conscient et conduit à un monde classique émergent sur une grande échelle. C'est cette réduction qui est en partie responsable de la conscience, non l'inverse ! Celle-ci est le résultat d'effets quantiques à grande échelle et des tests expérimentaux sont possibles (selon l'hypothèse de microtubules neuronaux, synaptic clathrins). Au terme de son livre monumental (*The Road to Reality, A Complete Guide to the Laws of Universe*, Vintage Books, 2004, 34.6 *What is reality*, p. 1027, 1032, 1033), Penrose confesse que la « vraie route vers la réalité » n'a pas encore été trouvée mais ce n'est pas un mirage dès lors que nous remplaçons la question « quoi » que celle-ci s'applique à la réalité ou la réalité physique, par la question « comment » : « *Comment* se comporte la réalité ? ». La théorie ultime n'existe pas encore mais elle sera simple en raison du rapport étroit entre le monde physique et le monde mathématique.

⁶⁵ Oralement : « Le spin, un truc qui tourne ? N' imaginez rien de « chosiste ». La seule chose qu'il faut savoir est qu'une particule est déviée dans le sens d'un champ magnétique (spin up par convention) ou dans le sens opposé (spin down). (Jean Bricmont, [La théorie de Broglie-Bohm](#))

d'onde au moment de la mesure s'évanouit ainsi que les affirmations étranges selon laquelle la physique porte sur notre expérience de la réalité et non de la réalité elle-même. C'est pourquoi Bricmont peut dire que la théorie De Broglie-Bohm est une théorie qui s'applique en dehors des laboratoires à la différence de la théorie quantique orthodoxe qui, pour rester cohérente avec elle-même, ne peut en sortir, où le physicien peut « observer » en quelque sorte son « expérience de la réalité » et se livrer à une forme d'introspection.

7.2 INTERPRÉTATION DE L'EXPÉRIENCE DES FENTES DE YOUNG DANS LA THÉORIE DE BROGLIE-BOHM

Dans les expériences des fentes de Young, les particules passent par une seule fente et la fonction d'onde par les deux. Il faut imaginer une vague transportant un objet léger dont la trajectoire dépendra de la forme que la vague prendra selon l'ouverture ou non des fentes et de la présence de détecteurs ou non juste derrière les fentes. Dans ce dernier cas, seule une partie de la fonction d'onde guide encore la particule. Rien de surprenant ! (CPQ, 162)

En passant par les deux fentes, la fonction d'onde se divise en deux, produisant des interférences entre elles (les intensités s'ajoutent ou s'annulent selon les régions), ce qui affecte la trajectoire de la particule attirée par les intensités fortes (là où elles coopèrent dans les termes de Bell). Voilà le mécanisme physique explicatif. La densité spatiale des impacts sur l'écran reproduit la répartition spatiale des intensités des deux ondes qui forment une figure d'interférence (variant selon la distance de l'écran avec les fentes et la distance entre les fentes). La forme de la fonction d'onde dépend donc de manière générale de la configuration physique avec laquelle elle interagit (que ce soient des fentes, des boîtes ou n'importe quel obstacle) comme une vague dépend des rochers qu'elle rencontre. Ainsi, lorsqu'un détecteur de position est placé au niveau d'une fente, sa présence perturbe l'onde pilote qui cesse de remplir son rôle de guide de la particule qui reprend une trajectoire type balle de fusil⁶⁶.

C'est là une description très sommaire du pilotage de la particule qui est à l'opposé de l'opinion dominante qu'aucun mécanisme ne pouvait expliquer les expériences de Young. Surprenant un tel dogmatisme de la part de grands physiciens comme Richard Feynman et fascinant pour Bricmont de constater que « la plupart des physiciens semblent penser que Bell a réfuté cette théorie », et non des moindres comme Murray Gell-Mann, Eugene Wigner ou Stephen Hawking ! (CPQ, 165, 205, 207, 208)

7.3 INTERPRÉTATION DES EXPÉRIENCES DE TYPE EPR DANS LA THÉORIE DE BROGLIE-BOHM : MESURE ET « MESURE », PARTICULE ET « PARTICULE »

(*Cahier couleur*, Annexe A du chapitre 8 : les « mesures » du spin dans la théorie de De Broglie-Bohm)

⁶⁶ Pour une explication similaire dans le même esprit de « complétion rationnelle » que Bricmont mais avec ses termes, voir Gérard Gremaud, *Et si l'Univers était un réseau et que nous en étions des singularités topologiques? Et si les seuls principes fondamentaux de l'Univers étaient les lois de Newton et de la thermodynamique?* 2020, p. 254-256 (disponible en ligne). « Les expériences d'interférences quantiques obtenues par le passage de particules au travers de deux fentes, mais en ne laissant passer qu'une seule particule à la fois, peuvent très bien s'expliquer maintenant par le fait que chaque singularité topologique ne peut effectivement passer que par une seule des fentes, mais que le champ des fluctuations gravitationnelles qui lui est associé franchit quant à lui les deux fentes, d'où la possibilité d'une interférence de ces fluctuations à la sortie des deux fentes, entraînant par leur couplage avec la singularité une modification de la trajectoire de celle-ci, et finalement une distribution statistique des points d'impact successifs des particules sur l'écran placé après les deux fentes. ». « Le concept de dualité onde-corpuscule de la physique quantique trouve ici une explication immédiate et simple puisque la particule est la singularité topologique, et que l'onde est le champ des fluctuations gravitationnelles qui lui est corrélé. »

Nous avons vu que la position d'une particule est la seule variable de la théorie qui évolue selon sa fonction d'onde, l'onde qui la pilote, et que le spin est une propriété dépendant de la configuration de l'appareil de mesure comme l'orientation d'un champ magnétique. Ce spin n'est-il donc pas un « élément de réalité » pour parler comme EPR ?

7.3.1 Mesure de position et « mesure » de spin

Dans le formalisme standard, la « propriété » de spin n'a aucun statut ontologique, c'est simplement un effet aléatoire de la réduction de la fonction d'onde au moment où la particule passe dans l'appareil de détection et dévie de manière aléatoire dans la direction du champ ou dans la direction opposée. Mais dans la théorie De Broglie-Bohm, l'état physique complet de la particule, c'est-à-dire sa fonction d'onde et sa position, reste le même si on inverse l'orientation du champ magnétique. La particule prend toujours la même direction, vers le haut ou vers le bas. La théorie explique ce phénomène par une ligne de symétrie (illustrée dans la figure par les flèches en pointillés horizontales que la particule ne peut franchir).

Ce qui signifie que la valeur de spin, pour sa part, est inversée. Inversion qu'on peut illustrer en changeant la direction du détecteur X sans changer celle de Y. Dans ce cas la particule B va changer de direction et aller « vers le haut » (dans le sens du champ) si elle allait « vers le bas » dans le sens opposé), puisque les particules A et B sont intriquées et donc leur comportement est anti-corrélé pour les électrons (corrélé pour les photons), quelque soit leur éloignement.

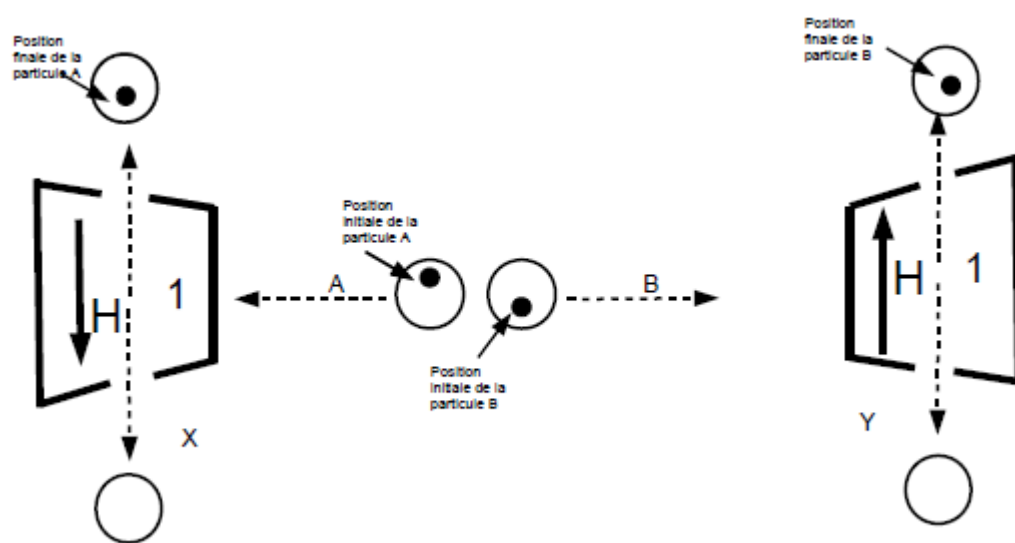


Figure 8.7 du *Cahier couleur*⁶⁷

⁶⁷ Figure 8.7 - Mesure du spin à gauche en premier, avec le champ inversé à gauche par rapport à celui de la figure 8.6 : deux particules, A et B sont envoyées vers des boîtes situées en X et en Y, perpendiculaires au plan de la figure et dans lesquelles se trouve un champ magnétique H orienté vers le haut le long de l'axe vertical, noté 1 à droite et orienté vers le bas à gauche. Les fonctions d'onde associées aux particules sont représentées par des disques. Dans les boîtes, les fonctions d'ondes se divisent en deux parties, l'une allant dans la direction du champ, l'autre dans le sens opposé à celle du champ. Les positions des particules sont indiquées par des points noirs. Supposons que nous mesurions le spin de la particule A en premier (la boîte dans laquelle elle est mesurée est plus proche de l'origine des particules que celle qui mesure le spin de la particule B). Dans la théorie de De Broglie-Bohm, si la particule A part initialement au-dessus de la ligne horizontale au milieu de la figure (au niveau des deux flèches), elle ira toujours vers le haut, à savoir dans la direction opposée à celle du

La valeur de spin ne dépend donc pas seulement de la fonction d'onde et de la position initiale de la particule mais également de l'orientation du détecteur. Ce n'est donc pas une propriété intrinsèque comme la position mais le produit de l'interaction avec l'appareil de mesure. Les guillemets s'imposent donc à « mesure » lorsque nous mesurons le spin mais non à la mesure de position, nous explique Bricmont. Nous ne mesurons pas une propriété du monde physique mais « mesurons » une interaction (*Cahier couleur*, p. 64). C'est, nous dit Bricmont, l'idée la plus profonde de la théorie d'avoir clarifié le concept de mesure.

Cependant cette différence entre deux concepts de mesure est-elle aussi tranchée ? En physique classique nous ne mesurons pas que des propriétés comme la masse ou l'énergie mais également des interactions comme la force ou le transfert de la quantité de mouvement d'une boule de billard à une autre qu'elle vient heurter.

7.3.2 Mesure de la non-localité

La non-localité, elle aussi, résulte bien de l'état physique des particules intriquées qui se sont éloignées de leur source commune mais *aussi* de l'orientation des détecteurs, Le comportement de B dépend instantanément de ce qui se passe en A et du détecteur avec lequel elle interagit. La fonction d'onde guide A et B simultanément et agir sur une particule en mesurant celle-ci influence instantanément le comportement de l'autre. Ce qui distingue la non-localité de la théorie De Broglie-Bohm de son interprétation standard.

« Il existe donc ici une véritable action à distance, car agir sur la particule A (en choisissant comment mesurer son spin) affecte instantanément le comportement de la particule B. » (Bricmont, *Cahier couleur*, p. 69)

Dans les expériences d'Aspect, les violations des inégalités de Bell sont maximales lorsque l'angle entre les directions des polariseurs est de 22,5 ou 67,5 degrés. Mais dans l'interprétation standard ces corrélations « dépendent » *seulement* de ces *différences d'orientation* et, *seulement* de manière probabiliste selon les règles du calcul quantique (donnant le niveau de corrélation entre les réponses des deux particules d'une paire intriquée).

Faut-il à nouveau différencier par des guillemets la dépendance réaliste et déterministe aux détecteurs dans la théorie De Broglie-Bohm et la « dépendance » probabiliste dans le formalisme standard qui est par ailleurs accepté par la théorie De Broglie-Bohm pour sa partie calcul mais non pour sa partie interprétation ?

Mais, en réfléchissant à rebours, penser comme la théorie De Broglie-Bohm nous y entraîne, c'est-à-dire de manière réaliste, rend bizarre la description de la situation dans le formalisme standard. Que signifie passer à travers un appareil de détection pour une « particule » qui n'a aucune propriété intrinsèque selon ce formalisme. La question du langage peut-elle être résolue en généralisant l'usage des guillemets selon que l'on pense de manière réaliste ou non ? Peut-on se contenter d'être agnostique en n'y voyant qu'une façon de parler ?

7.4 LA NON-LOCALITÉ FAIBLE – CE QUI EST NON LOCAL DANS LES EXPÉRIENCES RÉELLES ET CE QUI NE L'EST PAS

(*Cahier couleur*, Annexe B du chapitre 8 : comment la théorie De Broglie-Bohm rend-elle compte de la

champ. Mais alors, puisque les fonctions d'onde des deux particules sont corrélées, la particule B devra aller dans la direction du champ, à savoir vers le haut. (Jean Bricmont, *Cahier couleur*, p. 68)

non-localité?)

Il faut distinguer la non-localité de la théorie de la gravitation de Newton qui décroît selon le carré de la distance entre les masses, ce qui la rend négligeable rapidement, et la non-localité radicale quantique qui est ne dépend pas de cette distance (plus de détails en 7.6). Mais nous avons vu que cette non-localité radicale est cependant limitée dans les expériences d'Aspect à des conditions expérimentales particulières (relatives aux angles d'orientation des détecteurs) ce qui tempère sa radicalité.

Un autre élément qui tempère sa radicalité est ce que Brimont appelle avec précaution une forme faible de non-localité.

« Il existe une forme faible de non-localité, si l'on veut utiliser ce terme ici, car le mouvement d'une particule passant par un trou dans l'expérience des deux trous peut être affecté par la partie de sa fonction d'onde passant par l'autre trou, comme nous avons vu dans les figures 8.1 et 8.2 du livre ou la figure 8.2 ici. »

Les phénomènes d'interférence liés à la recombinaison des fonctions d'onde, séparées pour passer à travers les fentes, sont locaux, comme tout comportement d'une onde qui se propage.

Ce qui reste curieux pour moi est cette combinaison de non-localité *étendue*, celle d'une fonction d'onde qui s'étale spatialement arbitrairement loin, et de non-localité *ponctuelle* de la paire de particules que nous devons considérer comme un seul système physique, cette non-localité ponctuelle étant « portée » par son onde pilote avec les différentes séparations et recombinaisons que celle-ci subit en s'étalant et en rencontrant des obstacles divers.

Sommes-nous vraiment débarrassés de cette idée de « complémentarité exclusive » débattue lors de la première révolution quantique et rejaillissant lors de la seconde révolution provoquée par l'idée de non-localité ?

7.5 UNE THÉORIE COHÉRENTE CAR ELLE S'APPLIQUE EN DEHORS DES LABORATOIRES

A la différence de la théorie quantique standard, la théorie De Broglie-Bohm est valable « en dehors des laboratoires », c'est-à-dire sans observateurs privilégiés et sans la mystérieuse réduction de la fonction d'onde au moment d'une mesure. Comme toute interaction naturelle, le processus de mesure affecte certes la fonction d'onde mais sans modifier la règle d'évolution déterministe. Le caractère aléatoire des mesures quantiques ne vient que du caractère aléatoire des conditions initiales des particules, il n'est pas intrinsèque.

Le processus de mesure est simplement un processus macroscopique interagissant avec un système microscopique. Le mystère de « l'observateur omniprésent » et de sa nature disparaît (observateur conscient, instrument ? etc.) (CPQ, 173)

Je répéterai avec Brimont, en conclusion, un peu sèchement au moins quatre points :

1. La théorie De Broglie-Bohm réfute l'idée que la physique quantique, qui n'est qu'un ensemble de théories après tout, a réfuté le déterminisme, ou qu'elle est complète, malgré les succès expérimentaux indéniables du formalisme standard.
2. Cette théorie De Broglie-Bohm est une théorie du monde et pas seulement « un algorithme permettant de calculer des résultats de mesure » ou une théorie « à toutes fins pratiques » (FAPP : For All Practical Purposes).
3. Qu'elle ne fournisse pas de nouvelles prédictions, ne l'invalide pas comme une théorie qui donne un sens réaliste à la physique quantique standard.
4. Tout cela ne résout pas évidemment tous les problèmes d'interprétation de l'onde-pilote. La

discussion critique n'est pas close.

7.6 PRÉDICTIBILITÉ ET COMPLÉTUDE RATIONNELLE : SIGNIFICATION ANTHROPOLOGIQUE

La préoccupation forte de Bricmont, après celles d'Einstein ou de Bell de rétablir le réalisme en physique m'inspire la réflexion suivante.

La prédictibilité et la complétude rationnelle sont les critères indissociables d'une théorie physique réaliste. La prédictibilité est un critère clair, sans appel : pas de théorie sans elle, qui résonne dans toutes les couches de la conscience humaine. Anticiper la présence d'un prédateur, prédire le passage d'une proie pour les formes élémentaires de conscience. Pour la conscience symbolique, tenir compte des corrections relativistes pour que le GPS fonctionne correctement et prédise correctement l'environnement routier que le conducteur découvre progressivement. En revanche la complétude rationnelle n'est pas claire pour tout le monde. Elle était sans doute évidente pour la conscience symbolique d'Einstein soucieuse de simplicité et de beauté pour rendre compte de l'expérience réelle, mais pas pour celle de Feynman (calculez, il n'y a rien à voir !).

En anticipant un thème des conclusions de cet essai : devons-nous penser avec notre cerveau qui pense qu'une proie est derrière le fourré ou contre lui, contre sa tendance à produire des croyances et des illusions ? Est-il bien armé pour traiter de la vérité des théories scientifiques comme il traite son environnement immédiat ?

Il est en tout cas clair pour moi qu'il existe une continuité entre les formes de conscience et que la recherche de la vérité de notre conscience symbolique est ancrée dans la conscience phénoménale élémentaire qui produit des scènes cohérentes⁶⁸ et non des flash indiquant un prédateur ou une proie. Un appareil GPS donne bien une vision fidèle de l'environnement routier que nous devons maîtriser, en combinant le calcul de positions physiques avec des positions d'artefacts (le réseau routier, les panneaux de signalisation, etc.) et d'obstacles divers.

La complétude rationnelle est peut-être un peu de cela : produire une scène cohérente globale des phénomènes, la préoccupation d'une forme de conscience symbolique théorique.

Mais, en sortant des laboratoires, en nous interrogeant sur ce qui s'y passe ou plus concrètement entre le moment où nous commençons une expérience, en préparant par exemple une paire de particules intriquées et le moment de la mesure dans des régions pouvant être éloignées du laboratoire de départ, pendant le « temps de vol » des particules, nous soulevons à nouveau la question de ce qui se passe réellement. C'est dans le processus de l'action scientifique, [l'étape deux](#) dans le modèle PAS, la plus mystérieuse, comme l'était le monde derrière les parois des grottes ornées au Paléolithique.

⁶⁸ La première forme de conscience, la capacité de ressentir (*sentience*) aboutit à la conscience phénoménale : l'élaboration d'une scène (une image mentale liant des stimuli non reliés causalement, la conscience primaire d'Edelman) qui intègre les éléments saillants, pertinents de l'environnement pour la résolution d'un problème, puis en attention sélective des éléments de la scène (iconique et indexicale. Celle-ci prend peut-être aussi la forme d'une conscience technique (Leroi-Gourhan) des procédures engagées par exemple dans la fabrication d'outils ou dans le déroulement d'une scène de chasse. Ces formes de conscience restent fonctionnelles sans être créatives. Une rupture se produit avec la conscience symbolique des éléments de la scène ou des chaînes opératoires. C'est le « détachement symbolique » qui se va se diversifier en conscience réflexive des différents états de conscience (comparaison, évaluation, etc.) puis des formes de conscience elles-mêmes grâce au langage articulé et enfin en conscience récursive qui permet de concevoir et de produire des chaînes symboliques sans limite assignable et - qui sait ? -, de nouvelles formes de conscience. ([CSLA](#), 1.1.1)

8 LA NON-LOCALITÉ QUANTIQUE RADICALE

L'idée de non-localité en physique n'est pas neuve. La théorie de la gravitation de Newton est non-locale même si elle décroît selon le carré de la distance entre les masses, ce qui la rend cependant négligeable dans la plupart des expériences. Newton lui-même s'en inquiétait. Einstein a rétabli la localité en 1915 avec la théorie de la relativité générale⁶⁹ mais la physique quantique l'a à nouveau remise en question quelques années plus tard, au grand dam d'Einstein qui fut le premier à s'en inquiéter à son tour dès 1927 : une non-localité bien plus radicale que celle de Newton, qu'il a tenté de décrire et de réfuter avec l'objection au congrès Solvay, puis l'expérience de pensée EPR en 1935 et celle des deux boîtes plus tard. (5.2)

De manière synthétique, dans les termes de Jean Bricmont (CPQ, 139), une action non locale au niveau quantique est (1) instantanée, (2) s'étend arbitrairement loin, (3) ne diminue pas en intensité avec la distance (par exemple entre les appareils de détection en situation d'expérimentation), (4) est individuelle (une seule action entre les particules d'une paire intriquée) et (5) ne peut être utilisée pour envoyer des messages.

Un exemple allégué d'une telle action non locale est la réduction de la fonction d'onde, mystérieuse dans le formalisme standard et qui change de signification (7). La théorie de Newton satisfait les axiomes 1 et 2 mais non l'axiome 3. Avec l'axiome 5, nous pouvons dire qu'une telle non-localité est « subtile » car elle nous prémunit des interprétations excessives que n'ont pas manqué de faire les pseudosciences pour nous relier tous par une forme de conscience cosmique par exemple. Elle nous permet enfin encore de faire de la science (Casimir) qui est par nécessité une activité locale sur des systèmes physiques bien identifiés théoriquement et séparés du reste du monde pour les besoins de l'expérimentation comme nous le verrons dans la section (8.2).

Les axiomes 2 et 3 ne me semblent pas indépendants si l'axiome 3 implique l'axiome 2. L'axiome 4 tient-il pour l'action non locale entre plus de deux particules intriquées ? L'axiome 5 qui permet de concilier la non-localité avec la théorie de la relativité est-il cohérent ?

8.1 LA NON-LOCALITÉ QUANTIQUE ET LA THÉORIE DE LA RELATIVITÉ

La non-localité respecte l'axiome 5 : la non-localité ne peut être utilisée pour envoyer des messages, respectant ainsi la théorie de la relativité.

D'après cette théorie, si nous pouvions envoyer un message instantanément alors nous pourrions en envoyer dans notre passé ce qui se produirait des boucles causales (comme prévenir sa future mère qu'elle va être tuée dans un accident). La seconde raison est liée au fait que la séquence des réponses des particules est une suite aléatoire (ONNOONONOO, ...) qui ne peut être contrôlée pour coder des messages.

La théorie non locale de Broglie-Bohm, même si elle contrevient au caractère local de la théorie de la relativité n'a donc pas des conséquences absurdes. Cette non-localité est, nous dit Brimont, « d'un type approprié ».

« Le fait que la théorie de De Broglie-Bohm soit non locale est une qualité plutôt qu'un défaut, car Bell a montré que toute théorie rendant compte des phénomènes

⁶⁹ Nicolas Gisin, *L'impossible hasard*, 2012, p. 112.

quantiques devait être non locale. De plus, la non-localité est d'un type approprié, c'est-à-dire ce qui est nécessaire à cause du résultat d'EPR-Bell, mais pas davantage, où « davantage » pourrait être une théorie non locale permettant la transmission instantanée de messages, ce qui entrerait profondément en conflit avec la théorie de la relativité. » (Jean Bricmont, Cahier couleur, p. 70)

Cependant ce caractère approprié ne résout pas les problèmes de compatibilité entre les concepts utilisés dans les deux théories et la situation est plutôt désagréable⁷⁰.

« Malheureusement, la réponse est compliquée et est, dans un sens, à la fois oui et non. De plus, expliquer pourquoi il en est ainsi dans les détails irait au-delà de la portée de ce livre. Ou, au moins, nous devrions inclure un long chapitre expliquant la théorie de la relativité restreinte. La seule conséquence de la théorie de la relativité que nous devons expliquer est la relativité de la simultanéité. Cela signifie que, même si nous pensons naïvement qu'il existe un « maintenant » qui s'applique à l'univers tout entier, c'est-à-dire qu'il semble raisonnable de dire qu'un événement ici et un événement sur la Lune se produisent en même temps, et que cela était considéré comme vrai en physique pré-relativiste, ce n'est pas le cas dans la théorie de la relativité restreinte. » (Jean Bricmont, Cahier couleur, p. 29)

Si nous pensons localement (c'est à dire avec des concepts locaux), nous devons dire que la vitesse de propagation de l'action non locale est infinie. Mais si nous pensons non localement, ce qui semble plus approprié, alors il n'y a pas de vitesse de propagation ou pour combiner les deux contextes de pensée, cette vitesse est nulle.

Mais si cette vitesse est toujours nulle, alors pourquoi conserver le concept de distance ? Si ce n'est pour pouvoir parler du dispositif expérimental qui est bien localisé, en particulier les détecteurs de plus en plus éloignés dans les nouvelles expériences pour tester la non-localité (comme celles de Zeilinger).

Si nous pensons de manière relativiste, une action non locale semble manifester une simultanéité absolue de deux événements que sont la mesure (d'un côté) et la réduction (de l'autre côté) dans les expériences EPR ou celle des deux boîtes d'Einstein. Elle est donc en contradiction avec la relativité de la simultanéité dans la théorie de la relativité restreinte. Il est donc impossible de traiter la règle de la réduction de la fonction d'onde de manière relativiste. (Cahier couleur, 60)

Dans les deux cas, l'axiome 5 a-t-il réellement un sens ? Si ce n'est pour sauver la causalité et, à nouveau, pour tenter de combiner deux conceptualités avec les tensions sémantiques (« désagréables » et « empoisonnées ») que cela implique.

Nous pouvons aussi répondre que le paradoxe n'est qu'apparent : une corrélation statistique à distance n'est pas une action causale à distance, souligne Bell. Elle ne se manifeste que progressivement lorsque les échantillons statistiques deviennent suffisamment nombreux. Et,

⁷⁰ Voir la discussion dans le *Cahier couleur*, 7.3 La tension entre non-localité et relativité, p. 28-36). « Donc, pour résumer : la réponse à la question de la tension entre relativité et non-localité est à la fois « non », si on veut dire qu'elle permettrait l'envoi de messages dans son propre passé, et « oui » : il y a un sérieux problème si l'on veut concilier relativité et non-localité avec une vision « causale » du monde, où il y a des causes et des effets et où les premières précèdent les secondes dans un sens qui est indépendant de l'état de mouvement par rapport auquel ces causes et ces effets sont décrits. C'est un problème ouvert majeur en physique, bien que celui-ci ne soit pas reconnu comme tel par la plupart des physiciens, en partie à cause de leur refus de discuter du sens de la fonction d'onde au-delà du fait qu'elle est un outil permettant de prédire les résultats de mesures. » (p. 35-36)

conversement, la causalité locale n'est qu'un concept pratique décrivant un certain type de théories et processus physiques auxquels nous avons un accès direct et que nous pouvons manipuler pour faire nos expériences, comme changer l'orientation des détecteurs.

8.2 LA NON-LOCALITÉ ET LE DÉTERMINISME - QU'EST CE QUI RESTE LOCAL ? - LA LIBERTÉ DE L'EXPÉRIMENTATEUR

Mais Il y a quelque chose d'inquiétant si on combine, comme la théorie De Broglie-Bohm, la non-localité et le déterminisme : le spectre d'un déterminisme scientifique qui s'étende à tout l'univers, ce que Popper appelle le déterminisme métaphysique, un déterminisme qui perd évidemment tout caractère opérationnel.

« (...) La théorie de De Broglie-Bohm est non locale. Cela signifie que, même si l'on veut déterminer l'avenir de ce qui se passe dans une région donnée de l'espace, notons-la A, il faut en principe spécifier l'état physique de tout l'univers, car des événements dans des régions arbitrairement éloignées de la région A pourraient influencer instantanément ce qui se passe dans cette région. » (Jean Bricmont, Cahier couleur, p. 57)

Il y a un lien fort entre déterminisme scientifique et prévisibilité qui est en quelque sorte le premier critère pour évaluer une théorie qui se prétend déterministe, mais ce lien n'est pas toujours réalisé en pratique. Cela explique la position du physicien Thomas Brody⁷¹ selon lequel le déterminisme est une propriété de théories et non de la réalité elle-même.

« Le déterminisme est une propriété qui caractérise, non la réalité, mais notre description d'elle ; pas le monde, mais certaines de nos théories sur lui. (...) La causalité, d'autre part, a une relation directe avec la réalité sous-jacente – qui doit être distinguée avec soin du déterminisme. » (Thomas Brody, The Philosophy Behind Physics, Springer-Verlag, 1993, VIII, IX)

Éliminer la localité est catastrophique pour l'exercice de la science elle-même.

« Disqualifier les variables cachées rend impossible le développement de théories qui vont au-delà de la mécanique quantique. Éliminer la localité est encore plus grave : si l'univers est aussi fortement non-local, nous ne pouvons pas en isoler une partie, l'étudier de manière relativement indépendante du reste de l'univers, de telle sorte que l'entreprise scientifique aurait été montrée dépourvue de sens. » (Thomas Brody, The Philosophy Behind Physics, Springer-Verlag, 1993, p. 231)

8.2.1 Les limites de la non-localité

Voici, somme toute une affirmation de bon sens qui nous engage à chercher des limites à la non-localité. Alain Aspect souligne que les effets non-locaux sont rares, selon quelques combinaisons de

⁷¹ Thomas Brody, mort en 1988, marginalisé, refusé par les referees, dénonce la philosophie naïve des physiciens et la science naïve des philosophes, éloignée de la pratique réelle des physiciens. Chacun a besoin de l'autre. Le divorce s'est produit au moment de l'avènement de la philosophie de la nature de Newton. La philosophie académique propage une vision simpliste du déterminisme ou de l'indéterminisme. « La physique classique ne présente aucun exemple de déterminisme laplacien. Même le déterminisme de la mécanique newtonienne, globale et bidirectionnelle, n'est pas totale : elle fait référence seulement aux variables, telles que la position et la vitesse, qui décrivent le mouvement des particules. » (Thomas Brody, *Philosophy Behind Physics*, p. 98)

directions des détecteurs.

« Certaines prédictions de la mécanique quantique relatives à des situations EPR (« très particulières », « il n’y en a pas beaucoup ») ne peuvent pas être simulées par un « modèle classique raisonnable » (dans l’esprit des idées défendues par Einstein). » (Extrait d’une conférence d’Alain Aspect⁷²)

Nicolas Gisin se demande pourquoi les violations des inégalités de Bell ne sont pas maximales et systématiques. Bricmont, lui aussi, tempère l’ampleur des effets non locaux.

« Les corrélations entre particules éloignées donnant lieu à la non-localité sont difficiles à maintenir, en pratique, sur de grandes distances; par conséquent, toujours en pratique, le déterminisme de la théorie serait valable même si on oublie des événements très éloignés de la région A dans notre spécification des conditions initiales de l’univers. Mais cela est vrai « en pratique » et pas « en principe » (Bricmont, Cahier couleur, p. 57)

De même, tenter de spécifier les conditions initiales en sortant du système physique qui a été choisi pour mener des expériences et, de proche en proche, de conditions initiales en conditions initiales de conditions initiales, embrasser le système physique de l’univers est impossible en pratique.

Nicolas Gisin avance un argument théorique contre le déterminisme. Aucune procédure humaine effective, aucun calcul opérant nécessairement sur des nombres réels (qui en réalité ne le sont pas puisqu’ils possèdent une infinité de décimales) ne peut révéler la pertinence conceptuelle du déterminisme. Dans cette mesure « la physique classique peut être vue comme indéterministe » bien que ses équations soient déterministes, pour la raison que les conditions initiales y sont décrites par des nombres réels. Les injecter dans les équations entraîne forcément de l’indéterminisme dans la théorie physique⁷³.

Il existe donc un élément d’incertitude radicale dans toute théorie déterministe ou indéterministe qui est la sensibilité aux conditions initiales que reconnaît Bricmont et met en avant, comme dans le cas de lancers de pièces « Bien que, en principe, le résultat final de chaque lancer de pièce puisse être déterminé si l’on connaît les conditions initiales avec suffisamment de précision, dans la pratique il est impossible de le faire. ». De même, Bricmont admet qu’il puisse y avoir une réduction « en pratique » de la fonction d’onde dans la théorie de De Broglie-Bohm⁷⁴.

« La réduction de la fonction d’onde dans la théorie de De Broglie-Bohm est aussi simple que cela. Il s’agit simplement d’une impossibilité pratique, et non « de principe ». Cette réduction est une question de degré : à mesure que le nombre de particules augmente, il devient de plus en plus difficile de faire en sorte que les deux parties de la fonction d’onde se chevauchent à l’avenir, mais il n’y a pas de nombre fixe pour lequel il y aurait un saut brutal d’une fonction d’onde non réduite à une fonction

⁷² Alain Aspect, [Les tests et effets de la physique quantique](#) (vidéo).

⁷³ Nicolas Gisin, *Le vrai hasard n’est pas l’apanage de la physique quantique*, La Recherche, juillet-août 2019, p. 43). Popper et Brody (p. 98) suivent une ligne argumentative semblable : pour être un déterministe conséquent, il faut pouvoir spécifier le degré de précision de la théorie et le degré de précision des résultats que prédit la théorie.

⁷⁴ Bricmont, *Cahier couleur*, p. 52. « La réponse courte, que nous allons développer dans cette section, est qu’il n’y a jamais de réduction de la fonction d’onde dans la théorie de De Broglie-Bohm, mais qu’il y a bien une réduction « en pratique », qui coïncide avec celle de la mécanique quantique ordinaire, du moins lorsque celle-ci est bien définie. »

d'onde réduite. Donc, dans un certain sens, nous « réduisons » la fonction d'onde lorsque nous examinons le résultat d'une expérience. Mais cela n'est qu'un problème pratique. Nous pouvons toujours considérer que la fonction d'onde réelle est et reste à jamais donnée par la fonction d'onde complète (8.1). C'est simplement que l'un des termes de la fonction d'onde ne guide plus le mouvement de la particule, ni maintenant ni à un autre moment dans le futur, et que cela serait simplement fastidieux de le garder dans nos calculs, mais les résultats seraient les mêmes si nous le faisons. Le processus de mesure est ici un processus entièrement physique, sans aucun rôle laissé à l'observateur. Et ce dernier utilise uniquement la réduction de la fonction d'onde comme outil pratique pour effectuer des calculs sur le système. » (Bricmont, Cahier couleur, p. 55-56)

8.2.2 La liberté de l'expérimentateur

Et c'est bien là, dans *la pratique*, que se tient la liberté de l'expérimentateur de pouvoir faire des choix expérimentaux comme diriger deux détecteurs selon des directions propices à mettre en évidence des corrélations entre particules. L'expérimentateur fait, selon l'expression de Gerald 't Hooft un « choix initial non contraint »⁷⁵.

« La liberté d'expérimentation est le fait que lorsque j'établis les réglages (des instruments), cette action n'est pas déterminée depuis le début de l'univers » écrit John Bell qui poursuit : « si je renonce à cela, alors je n'ai plus de théorie. »⁷⁶

Ce qui reste local est tout l'appareil théorique symbolique et l'appareil instrumental qui en est l'extension symbolique et physique. La « condition de localité » qu'Einstein appliquait aux « éléments de réalité » dans l'article EPR, s'applique au moins à l'expérimentateur. Bell lui-même a posé cette condition de localité très spécifique⁷⁷.

Henry Stapp l'exprime ainsi :

« Cette condition de localité exprime l'idée physique que ce qu'un expérimentateur choisit librement de mesurer dans une région de l'espace-temps ne peut avoir d'effet dans une région séparée de la première par un intervalle de type espace. Les résultats expérimentaux sont bien conformes aux prédictions de la théorie quantique dans de tels cas, mais la conclusion la plus raisonnable à tirer n'est pas que la localité échoue

⁷⁵ Gerard 't Hooft, *On The Free-Will Postulate in Quantum Mechanics*, 2007, <https://arxiv.org/pdf/quant-ph/0701097.pdf>. Gerald 't Hooft requalifie le soi-disant théorème du libre arbitre comme un axiome : « la condition du choix initial non contraint », une manière pour un physicien qui cherche à restaurer le déterminisme et le réalisme en physique, de réduire la portée du théorème. [CSLA](#), chapitre 9 Le théorème du libre arbitre.

⁷⁶ « Free experimentation is the fact that when I am arranging the setups, this action is not determined from the beginning of the world. ». « When I turn one of these polarizers, I assume that I can consider the same hidden variables in the turned position or in the unturned position. But if my choice was itself determined by the hidden variables, the argument would fail at that point. So, I have assumed that there is something outside my field which is quite free, which is not dictated by the parameters, the variables in the theory. Now, it is a fact that if I give that up I have no theory. ».

⁷⁷ Voir aussi Caroline Thompson pour qui la non-localité est profondément antiscientifique et antirationnelle et que la causalité locale est indispensable à la conduite de la science (Caroline Thompson, *Setting the Record Straight on Quantum Entanglement*, 2004).

mais plutôt que l'hypothèse de variables cachées est fausse. » (Henry Stapp, Bell's Theorem Without Hidden Variables, 2001, p. 1)⁷⁸

⁷⁸ Henry Stapp, <https://arxiv.org/pdf/quant-ph/0010047.pdf>. "This locality condition expresses the idea that what an experimenter freely chooses to measure in one spacetime region can have no effect of any kind in a second region situated spacelike relative to the first. The experimental results conform closely to the predictions of quantum theory in such cases, but the most reasonable conclusion to draw is not that locality fails, but rather that the hidden-variable assumption is false." « (...) le résultat d'Alice ne dépend pas du choix de Bob. Et, de même, le résultat de Bob ne peut pas dépendre du choix d'Alice. Mais c'est là la condition de localité comme Bell l'a formulée en 1964 : la boîte d'Alice produit son résultat localement, de même pour la boîte de Bob. » (Nicolas Gisin, *L'impensable hasard*, p. 140). Cette condition de localité respecte la règle de causalité dérivée de la théorie de la relativité, à savoir que les connexions causales ne peuvent se propager plus rapidement que la vitesse de la lumière. (Thomas Brody, *The Philosophy Behind Physics*, Springer-Verlag, 1993, p. 223)

9 L'ANALOGIE ANTHROPOMORPHIQUE — LES INÉGALITÉS DE BELL

Formulé de manière informelle, le « théorème » de Bell (John Bell n'utilisait pas le mot théorème) énonce qu'« Il ne peut exister de théorie de la réalité affirmant que des événements séparés sont indépendants sans entrer en contradiction avec la physique quantique. »⁷⁹. Il existe une contradiction entre le réalisme local d'Einstein (il existe dans l'univers des éléments de réalité qui sont indépendants l'un de l'autre) et les prédictions de la physique quantique qui ont été vérifiées expérimentalement. Il existe donc dans la nature des actions à distance instantanées. C'est la fameuse non-localité quantique qui inquiétait tant Albert Einstein du Congrès Solvay en 1927 jusqu'à sa mort en 1955. Fort heureusement, cette non-localité est subtile car elle ne permet pas de transmettre des messages instantanément, respectant ainsi le principe de la théorie de la relativité d'une vitesse limite, celle de la lumière (8.1), et elle permet aussi de continuer à faire de la physique qui est une activité par définition locale, que j'ai appelée la liberté de l'expérimentateur (8.2).

Le théorème se fonde sur les inégalités que Bell a découvertes en 1964 en modifiant les conditions expérimentales des expériences de type EPR. Décrire en quelques phrases ce moment décisif de l'histoire de la physique quand on n'est pas spécialiste du sujet est extrêmement ardu. En saisir au moins l'esprit de manière claire l'est à peine moins. De nombreux physiciens après Bell s'y sont frotté en imaginant des situations concrètes qui, sans devoir utiliser le formalisme quantique, mettent en scène les aventures de deux physiciens Alice et Bob aux prises avec les comportements étranges des particules intriquées qu'ils tentent d'expliquer, comme Einstein avec EPR en 1935, en envisageant des stratégies locales.

Ces expériences de pensée sont tout à fait similaires aux expériences réelles qui ont été réalisées par Alain Aspect et d'autres dans les années 1980 pour vérifier le théorème de Bell (CPQ, 134 et suivantes). Je suppose que le lecteur a lu l'exposition de Bricmont pour apprécier ou non ce que j'y ajoute ou retranche pour ma propre compréhension. Dans le livre, Bricmont ne mentionne pas les inégalités initiales qui sont à l'origine de ce théorème, ce qui m'a perturbé. Il faut se reporter au « Cahier couleur » en ligne, pour la démonstration de la contradiction qu'elles entraînent⁸⁰.

Bricmont imagine une « analogie anthropomorphique » pour saisir l'esprit du théorème de Bell. Elle repose sur les inégalités originales de Bell et non sur les inégalités généralisées par Clauser, Horne, Shimony, Holt (CHSH) que Nicolas Gisin utilise dans son « jeu de Bell »⁸¹ ou Alain Aspect dans sa « présentation naïve »⁸². Ces inégalités encodent « la condition de localité » d'Einstein et sont violées

⁷⁹ John Stewart Bell, *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*, Collected Papers on Quantum Philosophy, University Press, 1987. L'article à la base du « théorème » est *On the Einstein-Podolsky-Rosen paradox*, Physics 1, 1964.

⁸⁰ Le [Cahier couleur](#), Annexe B du chapitre 7 : preuve du théorème de Bell.

⁸¹ Nicolas Gisin, *L'impensable hasard*, Odile Jacob, 2016. Alice et Bob, deux physiciens éloignés l'un de l'autre se prêtent au jeu de Bell sur une boîte devant eux. Ils actionnent une manette qui entraîne une réponse de la boîte sur laquelle agit la manette, un peu comme une machine à sou gratuite qui ne demanderait aucune mise initiale mais accorderait cependant aux joueurs un gain sous forme des points définis par des règles très simples. Gisin montre qu'ils peuvent obtenir un taux de corrélation maximal entre les réponses qui est cependant inférieur aux corrélations prédites par la physique quantique, qu'on observe sous certaines conditions expérimentales. [CSLA](#), 8.7. Des inégalités de Bell au jeu de Bell.

⁸² Les inégalités CHSH combinent quatre directions des détecteurs, a et a' pour Alice et b et b' pour Bob, donnant lieu à l'inégalité : $-2 \leq E(ab) - E(ab') + E(a'b) + E(a'b') \leq 2$ (voir Alain Aspect, *Présentation naïve des*

par les expériences réelles. Elles confirment le fait établi par Bell que les corrélations entre les mesures faites par Alice et Bob sont plus fortes que celles prédites par une théorie locale à variables cachées⁸³. Seule une théorie non locale sans variables cachées permet d'expliquer un tel niveau de corrélations dans certaines conditions expérimentales.

Le coup de génie de Bell est d'avoir modifié les conditions de l'expérience EPR dans la version de David Bohm qui mesure le spin des deux électrons d'une paire (et non la position et l'impulsion). Plutôt que mesurer les deux particules avec deux appareils orientés dans la même direction (par exemple un champ magnétique orienté qui dévie la trajectoire d'une particule dans le sens du champ ou dans le sens opposé), Bell conçut de les mesurer avec des appareils orientés dans des directions différentes pour obtenir des résultats de mesure conjointe et, en répétant l'expérience avec de nombreuses paires, obtenir des coefficients de corrélation entre ces mesures conjointes (CPQ, 139).

9.1 VOICI DONC L'ANALOGIE ANTHROPOMORPHIQUE

Nos deux physiciens Alice et Bob jouent le rôle de deux particules très particulières on va le voir. Ils s'éloignent l'un de l'autre pour se retrouver en X et Y où se trouvent deux détecteurs permettant de mesurer leur spin. Ils doivent répondre à trois questions par oui ou par non. Ces questions correspondent à trois directions possibles des détecteurs (ici l'orientation d'un champ magnétique). Ne pouvant plus communiquer entre eux en X et Y, ils ont adopté une stratégie lorsqu'ils étaient réunis. Cette stratégie est donc locale et correspond à l'hypothèse locale que les deux particules intriquées ont une propriété de spin bien définie de telle sorte que l'une répondra oui et l'autre non à la question posée (pour les électrons de spin $\frac{1}{2}$) ce qui correspond à une anticorrélation parfaite.

Ils ont écarté des stratégies non locales qui leur semblent impossibles comme communiquer par télépathie ou s'en remettre à quelque superdéterminisme qui rendrait les questions comme les réponses prédéterminées.

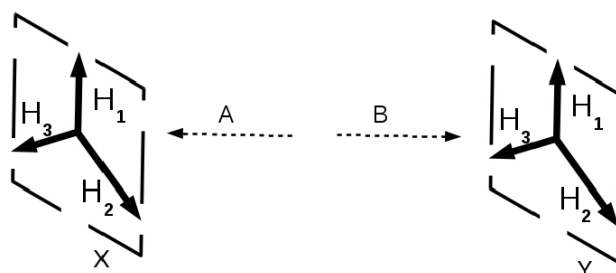


Figure 7.1 du *Cahier couleur*

inégalités de Bell, 2004, p. 9-10, disponible en ligne). Partir d'inégalités est inhabituel en physique et perturbant, je m'y suis frotté dans [CSLA](#), 8.6.2 Les expériences d'Aspect violent les inégalités de Bell.

⁸³ Carlo Rovelli et Etienne Klein donnent une explication un peu « rapide » selon moi, de la différence entre les stratégies locales et non locales : « Bell a montré que pour certains ensembles de directions, les corrélations entre les mesures d'Alice et de Bernard seraient plus fortes en physique quantique que dans toute théorie locale à variables cachées (...) Elles sont dues au fait que les variables cachées ne peuvent pas s'influencer plus vite que la vitesse de la lumière, et sont donc moins efficaces pour coordonner leurs efforts : les corrélations sont limitées. En physique quantique, les spins de deux électrons intriqués existent conjointement dans un unique état qui peut s'étendre sur de longues distances. Grâce à l'intrication, la théorie quantique prédit des corrélations jusqu'à 40 % plus fortes que celles des théories à variables cachées. » (Etienne Klein, Carlo Rovelli, *Un monde toujours plus quantique... in La nouvelle révolution quantique ... va changer le monde*, Pour la science, hors-série, mai-juin 2020)

Dans l'esprit d'un jeu, leur but est de donner la même réponse aux questions qui leur sont posées pour obtenir le plus grand degré de corrélation entre leurs réponses. A chaque essai, évidemment, chacun ne connaît pas la question qui est posée à l'autre puisque la direction de chaque détecteur est choisie de manière aléatoire et indépendamment du choix de l'autre. (figures 7.1 et 7.2 du *Cahier couleur*, reproduites ici)

Pour « gagner », Ils doivent adopter une stratégie qui puisse satisfaire deux règles statistiques de base :

1. Lorsque la même question est posée à Alice et Bob, leur réponse doit être la même : Oui ou Non.
2. Lorsque les questions sont différentes, la fréquence des réponses identiques est de $\frac{1}{4}$, qui est un fait statistique établi.

Satisfaire la première règle est simple, il suffit à Alice et Bob de se mettre d'accord au préalable sur la réponse à donner pour chaque question possible. Il existe huit stratégies possibles pour 3 questions et 2 réponses possibles (Oui aux 3 questions, Oui pour 1 et 2 et non à 3, etc.). Mais la seconde règle peut-elle être satisfaite avec une de ces huit stratégies de type local ?

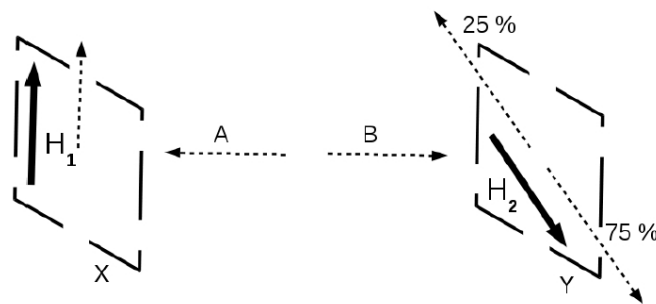


Figure 7.1 du *Cahier couleur*

Bell a démontré qu'une telle stratégie locale entraîne une contradiction. Très schématiquement, la contradiction en quatre étapes⁸⁴ :

1. Dans les huit stratégies possibles de réponses, il y a au moins deux questions avec la même réponse : $R1 = R2$ ou $R1 = R3$ ou $R2 = R3$.
2. Lors de chaque essai, une de ces trois identités au moins est vérifiée. Par conséquent la somme des fréquences : $F(R1 = R2) + F(R1 = R3) + F(R2 = R3)$ quand les questions sont différentes est supérieure ou égale à 1.
3. Or, selon la physique quantique, chacune des trois fréquences est égale à $\frac{1}{4}$ et leur somme est $\frac{3}{4}$.
4. Donc contradiction : $\frac{3}{4} \geq 1$.

La corrélation parfaite pour les directions parallèles et la fréquence de corrélations de $\frac{1}{4}$ (une fois sur 4 essais) pour les directions différentes résultent d'un calcul simple de la physique quantique⁸⁵ et ont été vérifiées expérimentalement. (CPQ, 205)

En obtient ainsi le théorème de Bell (CPQ, 138) qui énonce que les deux propositions suivantes ne

⁸⁴ Pour les détails : *Cahier couleur*, Annexe B du chapitre 7 : preuve du théorème de Bell.

⁸⁵ Jean Bricmont, *Making Sense of Quantum Mechanics*, Cham (Suisse), Springer International, 2016. Ou Alain Aspect, *Présentation naïve des inégalités de Bell*, 2004, p. 9-10, disponible en ligne.

peuvent être simultanément vraies :

1. Les réponses sont déterminées avant que les questions ne soient posées, et sont les mêmes des deux côtés. (C'est l'hypothèse de localité EPR, la stratégie locale adoptée par Alice et Bob avant de s'éloigner)
2. La fréquence des réponses identiques des deux côtés pour des questions différentes est de $\frac{1}{4}$.

C'est un théorème mathématique dont on ne peut échapper : en partant de l'hypothèse 1 (en acceptant donc la localité) on en déduit une proposition qui est en contradiction avec la proposition 2. La fréquence d'un $\frac{1}{4}$ étant un fait statistique, c'est donc la première proposition qui affirme la localité qui est fausse. Il existe donc bien des « effets non locaux dans la nature ».

9.2 LES DEUX PARTIES DU THÉORÈME DE BELL

Bricmont insiste sur le fait que l'argument EPR-Bell comprend deux parties :

1. La partie EPR qui est un dilemme : ou il existe des propriétés indépendantes (de spin par exemple) ou il existe une forme d'action à distance (pour expliquer les corrélations parfaites lorsque les réponses aux mêmes questions sont identiques).
2. La partie Bell : supposer des propriétés indépendantes et prédéterminées conduit à une contradiction avec la statistique de réponses identiques lorsque les questions sont différentes de chaque côté (une fréquence $\frac{1}{4}$).

Négliger une des deux parties entraîne des erreurs de compréhension (CPQ, 143-144). C'est pour lui, le moyen de préparer la discussion sur la théorie de De Broglie-Bohm qui implique à la fois des variables cachées et la non-localité. Ignorer la partie Bell revient implicitement à donner raison à EPR que la localité nécessite l'introduction de variables cachées dans la physique quantique pour rétablir sa complétude.

Ignorer la partie EPR revient à accepter l'impossibilité des variables cachées et donc affirmer que le résultat de Bell n'apporte rien de plus que ce qu'apporte la physique quantique. Il est donc important de dire que le théorème de Bell est un théorème de non-localité (qui réfute EPR) et non « d'inexistence de variables cachées ».

Enfin, de l'ambiguïté des deux règles d'évolution de la fonction d'onde du formalisme quantique (déterministe en dehors d'une mesure, indéterministe au moment de la mesure), on peut douter que la réduction instantanée de la fonction d'onde au moment de la mesure soit un « véritable effet physique », justifiant ainsi la recherche de théories physiques plus réalistes, sans observateurs, mais acceptant la non-localité établie sans ambiguïté par le théorème de Bell.

9.3 DISCUSSION SUR LA « RÉALISATION » DE L'ANALOGIE

Il est curieux qu'Alice et Bob jouent dans l'analogie le rôle de particules puis celui d'expérimentateurs qui orientent leur détecteur (correspondant à une des 3 questions) puis attendent le résultat de la mesure sur une des deux particules intriquées (spin up ou spin down) pour donner leur propre réponse (oui ou non), en s'appuyant en quelque sorte sur ces particules pour obtenir le degré de corrélation calculé grâce au formalisme quantique.

« Il est en fait facile de réaliser « l'expérience » décrite dans la section 7.4.1 du livre, avec Alice, Bob et leurs trois questions : mettez Alice et Bob en X et en Y munis d'un champ magnétique comme dans les figures 7.1 et 7.2 et laissez-les orienter leur champ magnétique respectif dans une direction correspondant à la question qui leur est posée ; envoyez ensuite à chacun d'eux une particule venant d'une paire de

particules corrélées dans l'état quantique décrit dans cette section. Alice et Bob peuvent simplement donner une réponse « oui » ou « non » en fonction du résultat obtenu (avec nos conventions), et ils reproduiront alors les statistiques dont Bell a montré qu'elles étaient impossibles sans une forme d'action à distance. » (Jean Bricmont, Cahier couleur, note 1 page 24)

Comme dans le « jeu de Bell » de Gisin⁸⁶, Alice et Bob, forts de leur connaissance de la théorie quantique vont manipuler leurs boîtes en choisissant trois directions particulières dont la différence permet de violer au plus les inégalités : 22,5 et 67,5 degrés dans la version Aspect, 45 et 135 degrés dans le schéma de Gisin pour obtenir le score maximal. Les corrélations ne dépendent en effet que des orientations des détecteurs et non de quelque propriété intrinsèque de la paire de particules intriquées.

On comprend la fonction pédagogique de l'analogie mais Alice et Bob y apparaissent un peu comme des tricheurs qui choisissent la question pour rendre gagnante la stratégie qu'ils avaient adoptée... Mais peu importe, ce n'est qu'une analogie et une stratégie gagnante du « team EPR » d'éprouver la force de son adversaire, « le team Bell », pour finalement se ranger à ses côtés et s'appuyer sur sa force de frappe.

⁸⁶ [CSLA](#), 8.6.2 Les expériences d'Aspect violent les inégalités de Bell ; 8.7.2 Du jeu de Bell aux inégalités de Bell.

10 MAIS QU'EST-CE QU'UNE THÉORIE EN PHYSIQUE ? — RETOUR À LA QUESTION DU RÉALISME COMME FONDEMENT ET À CELLE DU SYMBOLISME

J'arrive presque au terme de mes lectures, ce qui m'autorise une première boucle, en revenant sur la question initiale du réalisme et sur la théorie des modèles qui nous donne une idée claire de ce que doit être une théorie physique ou mathématique. (2.3)

Fort de l'idée que la théorie De Broglie-Bohm est une véritable théorie du monde, une complétion rationnelle (7.1), Bricmont va jusqu'à dire que la physique quantique standard n'est pas une théorie scientifique du tout (CPQ, 172), mais seulement une description des résultats de mesure, et de surcroît de manière incomplète (7.5). Mais, en fin de compte, après les bouleversements conceptuels suscités par la théorie de la relativité et la théorie quantique au XXe siècle, qu'est ce qu'une théorie en physique ou qu'est devenu le concept ? Ou dans les termes de la réflexion qui clôturait le chapitre six (7.6) : quelle conscience symbolique nous pousse à associer étroitement prédictibilité et complétude rationnelle ou, au contraire, à renoncer au réalisme comme une source de représentations illusoires ? Je cite à nouveau cette fameuse déclaration de Heisenberg :

« La mécanique quantique ne représente pas les particules, mais mais plutôt notre connaissance, nos observations ou notre conscience des particules. »

Comme Einstein, Bell ou Bricmont j'attends d'une théorie physique plus qu'une représentation de l'expérience ou de la connaissance que nous avons du monde comme l'ont envisagé Bohr ou Heisenberg dans l'effervescence révolutionnaire de leur époque⁸⁷. Nous attendons plus qu'une recette ou un mode d'emploi, nous en attendons une signification physique, c'est-à-dire un modèle de la réalité, partiel certes mais établissant une correspondance biunivoque entre des éléments formels et des « éléments de réalité ».

Au risque de rappeler une évidence, sa fonction première est référentielle : « dire » les choses » et non « dire » les mots. Se contenter de dire les mots revient à réduire le langage à sa fonction métalinguistique, fonction qui a pris toute sa valeur au cours de l'évolution pour développer notre conscience symbolique mais qui reste seconde par rapport à sa fonction référentielle, car elle en dépend tout simplement. C'est son point d'appui⁸⁸.

Du point de vue symbolique où je me suis placé pour comprendre « l'esprit » de Bricmont, je conçois une théorie physique avant tout comme un outil symbolique, essentiellement écrit en langage mathématique mais assorti d'éléments diagrammatiques (graphes, schémas, diagrammes d'espace-temps, expériences de pensée, etc.) pour visualiser ce langage abstrait, visant à présenter et représenter tout à la fois des éléments de la réalité sous forme de systèmes régis par des lois, de

⁸⁷ Bricmont en parle au chapitre 11 : 11.5. Physique quantique et philosophie 11.5.2. Physique quantique et positivisme logique.

⁸⁸ Je fais référence ici aux fonctions du langage selon Roman Jakobson. Les fonctions référentielle (centrée sur le contexte) et métalinguistique (centrées sur le code) produisent les énoncés assertifs (sur le monde et sur une partie du monde qui est le langage). La fonction conative (centrée sur le destinataire) produit les directifs mais aussi les promissifs (je me fais la promesse de...). Les fonctions expressive (centrée sur le destinataire) et phatique (entrer en contact) produisent des expressifs : « hé ! », « Qui voilà ! ». La fonction poétique (centrée sur le message) produit des énoncés combinant les forces expressive, conative, référentielle : « Ce toit tranquille où marchent les colombes. »

manière à pouvoir agir sur ces systèmes (déterminisme méthodologique). De ce point de vue, la physique est une activité visant à produire des connaissances portant sur un monde physique réel et non sur le monde culturel des œuvres et des théories (le monde 3 de Popper). Ce n'est que lors de la discussion critique ([Etape 4 du PAS](#)) que les physiciens utilisent la fonction métalinguistique de leur langage particulier, et toujours au sein de cycles comprenant les étapes de théorisation, d'expérimentation, d'attente (de la « réponse » du monde à nos « questions »), d'enregistrement des résultats de mesure et de discussion critique.

10.1 « LIBÉRER » LA PHYSIQUE DE SOLUTIONS PHILOSOPHIQUES SANS NÉGLIGER LA FORCE DE L'INSPIRATION RÉCIPROQUE

La personnalité atypique de David Bohm, empreinte de philosophie et teintée de mysticisme, peut sembler paradoxale par rapport à la visée de Bricmont de libérer la physique de solutions philosophiques à ses problèmes. Bricmont justifie sa défense de la théorie de Bohm parce qu'elle donne un sens physique au formalisme de la fonction d'onde et réhabilite une forme de réalisme scientifique, ce qu'il appelle la complétion rationnelle. Il reconnaît néanmoins que l'association de Bohm avec le marxisme ou le mysticisme de Jiddu Krishnamurti n'a pas arrangé les choses dans le rejet de ses idées.

Quand il examine le parcours de Bohm dans les chapitres 10 et 11, Bricmont reste attentif à cette visée pour préciser son rejet de la philosophie non pas comme une source d'inspiration mais pour son « efficacité déraisonnable » dans les sciences, selon l'expression de Weinberg. (CPQ, 252)

« Mais, d'autre part, il faut admettre que même ce genre de philosophie peut être une source d'inspiration, comme c'était certainement pour Bohm. L'erreur, cependant, est d'appuyer l'un ou l'autre point de vue scientifique en raison d'une adhésion à une philosophie donnée. » (Jean Bricmont, Comprendre la physique quantique, p. 252).

Dans le cas de Bohm, c'est d'avoir pu s'inspirer à la fois du marxisme matérialiste et de visions du monde holistes qui permettent de penser la non-localité de manière dialectique (CPQ, 251). Je mets aussi à l'actif de Krishnamurti, son rejet de tout dogmatisme, de tout système de croyances et son sens de la liberté qui n'est pas un idéal à atteindre mais un état d'esprit « qui est essentiel pour la découverte de toute vérité, de toute réalité », qui rendait son esprit, aux yeux de Bohm, similaire à celui d'Einstein⁸⁹.

Mais ce que Weinberg rejette c'est la philosophie conçue comme « pensée pure » qui, paradoxalement, n'offre finalement aux sciences que des termes vagues comme la « chose en soi » ou des interdits. Penser de manière pure était pour Kant de chercher à établir les limites de la pensée comme si elles étaient fixées une fois pour toutes, *a priori*. La théorie de l'évolution naturelle a balayé cet idéalisme et la conscience croissante d'une évolution culturelle renforce le rejet nécessaire de tous les dualismes.

Dans ce cas, une inspiration négative peut être utile pour conforter la liberté théorique du physicien à

⁸⁹ Jiddu Krishnamurti, David Bohm, *Le temps aboli, Dialogues*, Les éditions du Rocher, 1989. David Peat, ami et biographe de Bohm: "Certainly he did say that the two most important encounters in his life were with Einstein and Krishnamurti. He felt something similar between the two men — the great, enormous energy that both of them had, and the intensity, and the honesty. And with each of them he had a deep friendship, but at an impersonal rather than a personal level. I think both men were quite important to him, but certainly with Krishnamurti the dialogues they had went very, very deep."

se donner ses propres contraintes (comme un musicien ou un poète se donne des contraintes formelles pour stimuler sa liberté créatrice) et non à s'en laisser imposer par un idéalisme figé par définition. S'en tenir à son domaine pour contrôler les concepts vagues comme le holisme ou encore affiner ce qu'on entend exactement en physique par « théorie », « existence » ou « vérification par l'expérience » (CPQ, 244). C'est une leçon à tirer des pseudosciences qui, attirées par les « mystères » quantiques, ont tenté de préempter la physique quantique pour expliquer la conscience à peu de frais (Capra, Chopra). Le dossier est volumineux et je renvoie aux chapitres du livre de Bricmont.

Evaluer l'intérêt d'une inspiration se fait évidemment a posteriori, sur base des résultats. Et les inspirations vont dans les deux sens entre la physique et les domaines non physiques. Bricmont relève les analogies peu éclairantes des physiciens eux-mêmes (CPQ, 257-261) qui consistent à généraliser le principe de complémentarité dans les sciences humaines. Ainsi celle de Bohr en psychologie où la préservation de l'unité de la personnalité correspond à la description ondulatoire (la fonction d'onde) et ses réactions soudaines (émotions, volitions) correspondent à la description corpusculaire et, on l'imagine, à la réduction soudaine de la fonction d'onde provoquée par une observation. Ainsi, celle de Max Born qui voit en politique une complémentarité entre le capitalisme et le communisme qui s'exprimerait par une relation entre les degrés de liberté et les degrés de régulation. Ainsi celle de Wolfgang Pauli d'une complémentarité de la matière et de l'esprit⁹⁰.

Bricmont déplore le manque de rigueur et de clarté des ces extrapolations dues, en partie au moins, à l'orgueil de certains physiciens comme Bohr (ou le penchant religieux d'un Pauli) qui parvint à faire passer son manque de clarté pour la parole quasiment d'un gourou, comme en témoignent Carl von Weizsäcker ou John Wheeler cités par Bricmont. (CPQ, 263)

Néanmoins, chercher une inspiration a pour but « d'essorer les possibles » (Arthur Koestler⁹¹) dans la phase préparatoire du processus de l'action scientifique. Henri Poincaré⁹² définit la phase de préparation comme une phase intellectuelle consciente, un « essorage des possibles ». William James, toujours attentif à de tels sujets, la décrit comme l'exploration de « chemins de traverse les plus abrupts » de « transitions d'idées les plus imprévues »⁹³.

Si nous retrouvons l'esprit d'une philosophie scientifique⁹⁴, celle de Bertrand Russell, de Pierre Auger, de Gaston Bachelard, d'Emile Meyerson ou encore d'Ernst Cassirer, qui pense avec la science et non contre elle, alors cette « précaution » de vouloir libérer la physique de solutions philosophiques redeviendra inutile.

⁹⁰ Autre dossier volumineux. Je me suis essayé à énumérer les extrapolations du principe de complémentarité, au sens inhabituel que lui donne la physique quantique puisque les descriptions complémentaires s'excluent mutuellement, instaurant une dialectique qui n'est pas sans intérêt comme travail sémiotique. Voir mes notes de travail d'un essai abandonné car trop ambitieux ou désuet : *Phénoménologie de la physique contemporaine – Approche philosophique, chapitre 12 La complémentarité ou dualité et ses avatars- La première révolution quantique*.

⁹¹ Arthur Koestler, *Le Cri d'Archimède*, Mayenne, Calmann-Lévy, 1965.

⁹² Henri Poincaré, *L'invention mathématique*, Bulletin de l'institut Général Psychologique, vol. 3, 1908, p. 135-148.

⁹³ William James, *La volonté de croire*, Paris, Flammarion, 1916, p. 260-261.

⁹⁴ Je pense à la fameuse collection de la Bibliothèque de philosophie scientifique, même si elle est inégale, en particulier à un livre comme celui de Pierre Auger, *L'homme microscopique, Essai de Monadologie*, Flammarion, 1952. Voir [CSLA](#), 23.1. *Pierre Auger, un physicien dialoguant avec lui-même*.

10.2 L'INTERPRÉTATION EN TERMES DE MONDES MULTIPLES — LES EXCÈS DE LA MATHÉMATISATION DU RÉEL - TOUT À L'OPPOSÉ DE L'ESPRIT D'EINSTEIN

Bricmont consacre un chapitre à cette interprétation, conçue par Hugh Everett III, qui relève de la science-fiction plutôt que de la physique. Cette théorie semble résoudre le problème de la mesure quantique mais le prix à payer est exorbitant. Pour éviter la réduction de la fonction d'onde et conserver les superpositions d'états d'un système physique, cette théorie affirme que l'univers se dédouble, un peu comme une cellule, en deux copies correspondant à chacune des valeurs possibles de la particule au moment d'une mesure. Ainsi il existe un univers dans lequel le chat de Schrödinger est vivant et un autre dans lequel il est mort. Lors de chaque mesure, l'univers se multiplie ainsi sans cesse pour atteindre rapidement un nombre vertigineux qui défie toute imagination. Et, ce qui corse le tout, à chaque expérience, se créent de nouvelles copies de nous-mêmes. Tous ces univers et ces copies sont disjoints, sans aucune possibilité d'interagir ou de communiquer. Selon cette manière de penser, la fonction d'onde décrit ainsi un arbre d'une infinité de ramifications correspondant à toutes les éventualités possibles, qui n'interagissent jamais entre elles. Appliquée à la cosmologie, la fonction d'onde de l'univers permettrait ainsi de représenter formellement tous les univers possibles.

Quelle motivation peut animer les physiciens à consacrer leur temps à une théorie aussi invraisemblable ? La structure du formalisme quantique, en particulier le principe de superposition, autorisent-ils un tel jeu de l'esprit, totalement détaché de l'intuition mais également de toute considération réaliste, même minimale ? L'idée que la physique ne parle pas d'une réalité objective mais seulement de notre connaissance et de nos expériences, envisagé par les fondateurs puis thématiqué devait-il aboutir à un tel contre modèle, qui est un retournement quasiment complet de cette idée, un réalisme hyperbolique ? Ainsi, Weinberg, peut-être distrait, classe-t-il la théorie d'Everett des mondes multiples parmi les théories réalistes, y voyant un moyen d'échapper à l'interprétation de la fonction d'onde, dualiste et positiviste de Copenhague (DFT, 186).

J'y vois une nouvelle expression de la crise du symbolisme en physique dans la fascination des physiciens pour le formalisme, cette mathématisation du réel dont Einstein se méfiait au point d'écrire, je répète cette citation :

« Pour autant que les propositions mathématiques se rapportent à la réalité, elles ne sont pas certaines, et pour autant qu'elles sont certaines, elles ne se rapportent pas à la réalité. » (Albert Einstein, La Géométrie et l'Expérience, 1921, p. 367)

Pour Bricmont le modèle des mondes multiples n'est pas cohérent car il exclut toute possibilité que des copies de nous-mêmes puissent observer l'exactitude des prédictions quantiques (p. 283). Elle est en quelque sorte auto-réfutante. Aucun événement ne se produit dans un tel modèle d'univers. Le verre cassé est aussitôt rangé dans un monde disjoint du monde où je tenais en main le verre intact.

Ces mondes multiples évoquent un autre modèle inquiétant qui est « l'univers bloc », quadridimensionnel de la théorie de la relativité restreinte. Dans ce monde gelé, tous les événements coexistent comme dans un livre qui fige l'histoire ou une partition qui fige la mélodie. Plus d'écoulement de temps, de distinction entre passé, présent, futur⁹⁵. Ce modèle semble tellement éloigné de la personnalité d'Einstein, de l'action scientifique et politique qu'il voulait exercer sur son siècle de bouleversements scientifiques et technologiques (comme la bombe atomique). Y verra-t-on une contradiction d'un sage ou une méditation sur le grand ordre de la Nature face à l'incomplétude de la physique qu'il constate avec résignation, à la fin de sa vie, dans son incapacité à traiter le

⁹⁵ Julian Barbour, *The End of Time*, Phoenix, 1999, p. 18.

présent ?⁹⁶

⁹⁶ [CSLA](#), 8.4.6 L'expérience de Maintenant.... Einstein prend des accents bergsoniens à la fin de sa vie ! Si le sujet humain ne se définit pas par la libre volonté (free will), il réapparaît cependant dans l'expérience qu'il fait du présent, qui échappe à toute description scientifique. Faut-il y voir l'idée que la volonté de connaître ne répond, ni à une cause, ni à un besoin humain. Qu'elle ne peut être que voulue pour elle-même, comme l'a déclaré William James pour se mettre en mouvement ?

11 L'ÉPISTÉMOLOGIE FRANÇAISE CONTEMPORAINE — LES AVATARS DE L'ANTIRÉALISME

Abordant l'épistémologie française contemporaine (chapitre 12), Bricmont discute les positions de Bernard d'Espagnat, Michel Bitbol et Etienne Klein. Il y décèle les mêmes tentations de renoncer au réalisme que les figures tutélaires de l'orthodoxie de Copenhague. J'ajoute un quatrième cas, celui de Hervé Zwirn et son solipsisme convivial. C'est pour moi une dernière occasion de me pencher sur la signification du concept de réalité et celui de « loi de la nature » qui est tout sauf univoque. Mais, dans le cadre de cet essai, je ne peux qu'entrouvrir la boîte de Pandore du réalisme, juste faire quelques suggestions.

11.1 BERNARD D'ESPAGNAT, LE RÉEL VOILÉ — UN RÉSIDU DU KANTISME ?

Bernard d'Espagnat reste-t-il enfermé dans le schéma kantien de la distinction entre le phénomène et la chose en soi (le noumène), cette dernière étant inaccessible à l'entendement humain ? Seule la réalité empirique nous serait accessible.

*« On peut maintenir l'idée de réalité indépendante pour autant qu'elle ne soit pas pensée « sous des traits similaires » à ce que nous montre la réalité empirique. »
(Bernard d'Espagnat, Traité de physique et de philosophie, p. 343)*

Cette opposition conceptuelle a été vue comme une différence axiologique, une forme d'interdit kantien pour maintenir l'illusion du philosophe qu'il surplombe la science, une entrave à la recherche scientifique fondamentale, par Steven Weinberg, Richard Feynman, Stephen Hawking et avant eux par Ernst Mach qui dénonçait « le rôle stérile de la chose en soi »⁹⁷.

Son concept de « réel voilé » semble perpétuer la tradition idéaliste kantienne, mais d'Espagnat croise cette tradition idéaliste avec l'interprétation de Copenhague. Selon Bricmont les conclusions philosophiques de d'Espagnat ne sont pas justifiées scientifiquement puisqu'elles ignorent la théorie réaliste de De Broglie-Bohm (CPQ, 272).

11.1.1 Les pièges de la métaphore du « réel voilé »

Je pense que le concept de réel voilé fissure le modèle kantien au sens où, selon la métaphore, nous considérons comme pertinente l'étude des voiles qui nous empêchent de voir le réel avec une résolution maximale, mais qui nous permet de le sentir en quelque sorte *à travers* ces voiles et

⁹⁷ « J'ai toujours considéré comme une chance particulière que les *Prolégomènes à toute métaphysique future*, de Kant qui se trouvait dans la bibliothèque de mon père, me soit tombé très tôt dans les mains (vers l'âge de quinze ans). Cet écrit a exercé une impression forte et indélébile, qu'aucune lecture philosophique ultérieure ne m'a jamais faite. Deux ou trois ans plus tard, j'ai ressenti quel rôle stérile jouait la chose en soi. Par un beau jour d'été en plein air, le monde m'est soudain apparu comme formant, avec mon propre Moi, une seule masse complexe de sensations, à la seule différence que cette complexité était plus grande dans le Moi. Bien que la véritable réflexion sur le sujet ne vînt s'adjoindre que beaucoup plus tard, ce moment fut déterminant pour toute ma manière de voir. » (Ernst Mach, *L'analyse des sensations*, Chambon, 1996, p. 31)

davantage le dévoiler⁹⁸. Une part de la structuration du réel doit venir du « quelque chose », de sa « résistance », de sa manière toute particulière de « dire non » à l'expérimentateur. D'Espagnat écrit que c'est « une pré-structuration logiquement nécessaire pour expliquer précisément ce « non » venu de l'extérieur⁹⁹.

D'Espagnat justifie le maintien du concept de réalité en soi dans le fait que la physique contemporaine (depuis la mécanique quantique) ne parvient à *saisir* de la réalité que des traits négatifs comme la non-localité. C'est un progrès par rapport à Kant qui n'a trouvé qu'un seul prédicat : « pur X totalement inconnaissable » (TPP, 274), ou deux si nous considérons que la réalité en soi, du fait qu'elle existe, rend possible la connaissance de la réalité empirique, mais d'Espagnat conserve le cadre kantien, fidèle à la prudence qu'il met dans l'hypothèse du réel voilé.

Wolfgang Pauli éclaire ce point de vue en rappelant que la langue allemande possède deux mots pour désigner la réalité : « Realität » dérivé du latin « res », la chose et « Wirklichkeit » d'origine germanique, dérivé du verbe « wirken » : agir, produire des effets. Leurs correspondants en anglais sont « reality » et « actuality ». Le concept scientifique de « réalité » se rapproche le plus du concept exprimé par « Wirklichkeit » ou « actuality », comme facteur agissant¹⁰⁰. C'est une réalité qui se phénoménalise au cours de notre activité intellectuelle et perceptive et leurs extensions instrumentales.

11.1.2 Une phénoménologie de contact pour la physique

C'est un vaste sujet. Je suggère que la physique adopte une phénoménologie de contact qui ne traite pas la sensibilité et la cognition en général comme des limitations irréductibles de la connaissance mais au contraire comme le milieu dans lequel le réel se phénoménalise et se donne à penser, parfois totalement se déclôt (j'emprunte ce terme à Heidegger). Il n'y a pas, d'une part, un éclair phénoménal appartenant à une réalité phénoménale ou empirique et, d'autre part, un éclair en soi appartenant à une réalité en soi qui fonde ou cause le premier. Je ne suis pas assis sur une chaise phénoménale devant une table phénoménale, je suis assis sur une chaise « tout court » devant une table « tout court ». La chaise et la table se phénoménalisent dans leur dureté, leur assise plane, leur couleur, leur chaleur. Certaines phénoménalisations sont des propriétés macroscopiques comme la dureté ou la forme, d'autres résultent d'interactions complexes comme la couleur ou la chaleur : interactions électromagnétiques, chimiques, électriques.

Il n'y a rien d'inconnaissable dans « les deux tables d'Eddington »¹⁰¹.

11.2 MICHEL BITBOL, L'AVEUGLANTE PROXIMITÉ DU RÉEL – UNE ÉTRANGE INVERSION DE PENSÉE

Selon Bricmont, le philosophe des sciences Michel Bitbol, proche de d'Espagnat, est un antiréaliste radical. Ainsi Bitbol nierait que les corrélations observées par Alice et Bob aient une quelconque réalité avant qu'ils ne communiquent leurs résultats (CPQ, 273). Il s'agit simplement de sauver les apparences sans s'interroger sur une réalité au-delà de ces apparences subjectives. Si c'est le cas, poursuit Bricmont, à quoi bon se lancer dans des expériences « subtiles et parfois coûteuses » pour un objectif aussi réduit ? C'est, en effet, dédaigner les programmes de recherche qui ont permis l'extraordinaire

⁹⁸ Pour Jean-Marc Lévy-Leblond (*Aux contraires*, Gallimard, 1996, p. 395) l'image du réel voilé véhicule le fantasme du dévoilement et est donc inadéquate car « elle ne permet pas de penser l'impossibilité de l'accès à la chose-en-soi. »

⁹⁹ Bernard d'Espagnat, *Traité de Physique et de philosophie*, Fayard, 2002, p. 102.

¹⁰⁰ Wolfgang Pauli, *Physique moderne et philosophie* (1961), Albin Michel, 1999, p. 150.

¹⁰¹ Voir mon essai *Phénoménologie de la physique contemporaine – Introduction*.

communication entre ordinateurs bientôt aussi quantiques ou du réseau GPS.

11.2.1 L'expérience biologique et l'expérience physique du réel

Il est vrai que Bitbol apprécie les déclarations emphatiques, ici citant le biologiste Francisco Varela : « L'expérience vécue est le lieu d'où nous partons, le lieu auquel tout doit se relier en fin de parcours, comme à un fil conducteur »¹⁰². Une déclaration qui a sa pertinence dans le domaine biologique, d'une certaine finalité du vivant, que Varela décrit comme l'activité d'une machine autopoïétique, c'est à dire d'un système vivant *clos*, capable de conserver son identité malgré des transformations continues qu'il subit au contact de son environnement¹⁰³. Mais c'est une déclaration qui est manifestement exagérée dans le domaine physique où nous cherchons précisément à dépasser l'expérience pour atteindre une certaine maîtrise de la réalité comme celle, spectaculaires des champs électromagnétiques avec le GPS et des communications avec des sondes spatiales. Nous partons certes de l'expérience vécue mais ce n'est certainement pas le lieu où tout se relie en « fin de parcours », si une telle expression a un sens. C'est plutôt en termes d'interactions et d'ajustement avec le réel que nous sommes capables de transformer notre expérience en connaissances, qui sont précisément des objets symboliques que nous avons détaché de l'expérience.

11.2.2 Les structures de la connaissance vs structures du réel

Pour Bitbol, il faut s'avancer le plus loin possible dans l'enquête sur les structures de la connaissance et s'abstenir de concevoir une structure préalable au réel¹⁰⁴. Les inventeurs de la mécanique quantique sont restés des conservateurs dans la confiance qu'ils accordaient encore aux distinctions sédimentées dans le langage naturel, comme la distinction entre un objet et les instruments pour l'observer ou la complémentarité onde-corpuscule : « Ainsi un langage conservateur a-t-il fini par recouvrir l'éruption révolutionnaire des premières années »¹⁰⁵. La sensibilité de Heisenberg ou de Bohr aux vertus comme aux limites du langage naturel contraste ainsi avec celle de Bitbol qui veut s'en tenir au formalisme pour être dispensé de la laborieuse déconstruction de l'ontologie véhiculée par le langage du sens commun (MQIP142).

Il est vrai également qu'un certain emportement finit par brouiller toute discussion raisonnable sur le réalisme. Popper voyait en Einstein un nouveau Parménide¹⁰⁶ qui, selon Bitbol (APR, p. 11), pourrait être « notre guide vers la stabilité supposée de l'être par-delà le flux de l'apparaître »¹⁰⁷.

11.2.3 Une étrange inversion de pensée

Ne se préoccuper que de l'expérience vécue, en s'appuyant éventuellement sur les innovations du

¹⁰² Francisco Varela, *L'inscription corporelle de l'esprit*, Seuil, 1993, cité par Michel Bitbol, *Physique et philosophie de l'esprit*, Flammarion, 2000, p. 159.

¹⁰³ Une machine autopoïétique est un système homéostatique dont l'invariant fondamental est sa propre organisation. (Francisco Varela, *Autonomie et connaissance*, Essai sur le vivant, Le Seuil, 1989, p. 77)

¹⁰⁴ Michel Bitbol dans *Philosophie de la physique, Dialogue à plusieurs voix autour de controverses contemporaines et classiques entre Michel Bitbol, Pascal Engel, Bernard d'Espagnat, Paul Gochet, Léna Soler et Hervé Zwirn*, l'Harmattan, 2006, p. 111.

¹⁰⁵ Michel Bitbol, *Mécanique quantique, une introduction philosophique*, Champs Flammarion, 1996, p. 269.

¹⁰⁶ Karl Popper, *La quête inachevée*, Calmann-Lévy, 1981, p. 187.

¹⁰⁷ Chacun peut apprécier la langue de Michel Bitbol : « Ce qui reste à l'abri de la critique (...) c'est le concept abstrait d'une réalité considérée comme limitation du pouvoir déterminant et de l'activité gestuelle et symbolique de l'expérimentateur, ou encore comme source co-déterminante de contraintes incontrôlables manifestées par les réponses aux sollicitations expérimentales. » (Michel Bitbol, *L'aveuglante proximité du réel*, Champs Flammarion, 1998, 96-97, cité par d'Espagnat, TPP, 515-516)

langage formel de la physique quantique comme la superposition d'états qui n'a d'autre vertu que de prédire nos expériences futures, aboutit à une « étrange inversion de pensée »¹⁰⁸. Le réel s'offre à nos yeux sans la moindre médiation, il est, en utilisant l'expression de Michel Bitbol, d'une « aveuglante proximité »¹⁰⁹. L'idée qu'il existe un cours des phénomènes se déroulant indépendamment de nous, aussi indifférent qu'un fleuve majestueux l'est à l'égard des frêles embarcations qu'il porte, n'aurait plus de sens en physique quantique.

11.3 ETIENNE KLEIN — SE SAISIR DU RÉEL QUANTIQUE

Bricmont reproche à Etienne Klein¹¹⁰ de « tirer des conclusions ontologiques à partir de limitations de nos connaissances » (CPQ, 276), notamment en interprétant le principe de Heisenberg et la théorie non-locale De Broglie-Bohm. Klein, comme Bernard d'Espagnat ou Michel Bitbol, seraient dominés par « l'orthodoxie bohrienne ».

Bricmont cite Klein :

« Il (le principe de Heisenberg) ne consiste pas à dire qu'il est impossible de déterminer simultanément la position et l'impulsion des particules, mais bien plutôt à affirmer que ces dernières ne possèdent jamais ces deux attributs simultanément. »
(Etienne Klein, *Petit voyage dans le monde des quanta*, Flammarion, 2004, p. 56)

Klein écrit en effet que c'est la « bonne façon d'interpréter le principe de Heisenberg ». Bricmont conteste cette interprétation en se référant à la théorie De Broglie-Bohm qui, à contre-courant de l'interprétation standard, affirme que les particules ont des positions à tout moment et donc des trajectoires et des vitesses. Ce qui, pour Bricmont, entre en contradiction avec le conseil de Klein donne ailleurs dans son livre, selon lequel « le fait même qu'elle ait pu être construite doit être pris en compte chaque fois que l'on prétend aborder les conséquences philosophiques qu'il convient de tirer de la physique quantique. » (Klein, 2004, p. 157-158).

L'existence même d'une théorie réaliste, comme celle De Broglie-Bohm, montre que les conclusions ontologiques de Klein ne sont pas nécessaires. Elle réfute ses conclusions au nom du principe logique exprimé ici par Bricmont « qu'un seul contre-exemple suffit à réfuter une assertion générale » (CPQ, 278)

Je pense que Klein ne jugerait pas que ses commentaires du principe de Heisenberg ont un caractère nécessaire. Comme Bell soulignant l'insistance de Bohr (5.3), Klein cherche à clarifier ce que pensait Heisenberg en énonçant son principe, tentait de, ou finit par penser, qui est bien d'ordre ontologique et non plus seulement épistémologique sur les limites de la connaissance. En réalité, vu

¹⁰⁸ J'emprunte l'expression « étrange inversion de pensée » au philosophe féru de science qu'est Daniel Dennett. Darwin et Turing ont inventé d'étranges inversions de pensée, des cas de « compétences sans compréhension ». Darwin inverse le raisonnement créationniste : pas de créature sans créateur. A l'absolue intelligence du créateur il substitue l'absolue ignorance de la nature. Pour faire une machine parfaite et belle, il n'est pas requis de savoir comment la faire, bien au contraire. De la même manière, Turing inverse notre conception du calcul : pour qu'une machine calcule parfaitement, il n'est pas nécessaire qu'elle connaisse l'arithmétique. (Daniel Dennett, *From Bacteria to Bach and Back, The Evolution of Minds*, W. W. Norton and Company Ltd, 2017, p. 53-75). Nicolas Gisin tente une nouvelle inversion : C'est le « vrai hasard » (un hasard non réductible et de surcroît non-local selon Gisin) qui décrit certaines régularités de la nature mieux que la causalité ou des combinaisons de causalités mises en œuvre par des stratégies locales. ([CSLA](#), 8.7.3 Le hasard non local, un concept dur à avaler)

¹⁰⁹ Michel Bitbol, *L'aveuglante proximité du réel*, Champs Flammarion, 1998.

¹¹⁰ Etienne Klein, *Petit voyage dans le monde des quanta*, Flammarion, 2004.

rétrospectivement, le principe d'incertitude est mal nommé. Ce n'est pas un principe d'indétermination, et ce n'est pas un principe du tout selon Françoise Balibar dans la mesure où les inégalités de Heisenberg sont démontrées au sein du formalisme quantique¹¹¹. Cependant le terme « relations d'incertitude » reste utilisé dans des manuels comme celui de Basdevant et Dalibard (*Mécanique quantique*, 2002, p. 46), qui précise seulement que ce terme n'a rien à voir avec le sens habituel. Heisenberg utilisait le terme « Ungenauigkeit » qui signifie bien incertitude mais aussi le terme « Unbestimmtheit », qu'on peut traduire par « imprécision ». Mais aucun de ces termes ne rend compte de la teneur ontologique qu'il a prise. Ils sont probablement les traces d'une hésitation initiale entre deux « mondes ».

11.3.1 La crise de la représentation

Toujours est-il que Klein admettrait sans doute que les conclusions ontologiques peuvent être éclairées à nouveau et remises en question par un contexte théorique plus large. On peut lui reconnaître le souci de chercher à comprendre la réalité quantique en continuité avec la réalité de la physique classique qui s'écarte de « l'interdit de Copenhague » ou « l'interdit de Feynman » qui, somme toute, perpétuent « l'interdit kantien ».

Ainsi le principe de superposition lui-même devient « visible » en considérant deux ondes concentriques provoquées par deux bâtons agités à des endroits différents sur un étang. Un système d'ondes plus compliqué se forme mais nous voyons encore que l'onde résultante est la superposition des deux ondes initiales. Son amplitude est simplement, en chaque point, l'addition des amplitudes des ondes composantes. Nous avons ainsi sous nos yeux, selon Etienne Klein, la quintessence du concept d'onde et du principe de superposition. Tout repose sur l'opération d'addition : la somme de deux ondes est encore une onde. La physique quantique n'a fait que « généraliser » cette quintessence du concept d'onde¹¹².

Klein illustre ce qu'il appelle la « crise de la représentation », la crise du symbolisme de la physique quantique qui veut se départir du symbolisme charrié par les langues naturelles et n'y parvient pas tout à fait, comme nous l'avons vu en discutant la distinction entre « observable » et « êtrable », tentée par Bell. (5.3)

11.4 HERVÉ ZWIRN - LE SOLIPSISME CONVIVAL

Aux trois cas précédents abordés par Bricmont, j'ajoute celui du physicien et épistémologue Hervé Zwirn¹¹³. Celui-ci radicalise la position antiréaliste de Bernard d'Espagnat, niant qu'un peu de la structure de la réalité indépendante « passe dans nos lois » comme le suggère l'image ambivalente du réel voilé.

Selon son interprétation, une mesure n'est pas un processus physique mais la perception par un observateur d'un résultat de l'observation de l'état superposé d'un système. Comme nous ne voyons un objet tridimensionnel que selon des profils (de face, de côté, etc.) ou d'une image bistable qu'une de ses « valeurs » (comme le cube de Necker vu de haut ou de bas ou l'image animée de la danseuse vue de face ou de dos), nous ne voyons d'un système physique superposé qu'une de ses valeurs possibles. Le problème de la mesure est ainsi résolu et nous évitons l'interprétation des mondes multiples d'Everett sans modifier le formalisme quantique. Ce solipsisme est convivial au sens où deux observateurs, Alice et Bernard, par exemple, ne seront jamais en désaccord même s'ils ont observé

¹¹¹ Les dossiers de la Recherche, novembre 2007, p. 86.

¹¹² Etienne Klein, *Petit voyage dans le monde des quanta*, Champs Flammarion, 2004, p. 24, 74.

¹¹³ Hervé Zwirn, *L'observateur, un défi pour la physique quantique*, Pour la science, mars 2020, p. 24-31.

deux résultats différents. Mais qu'entend Zwirn par « pas de désaccords » (p. 30) ? Simplement que, pour respecter le formalisme quantique (la superposition), Alice et Bernard sont eux-mêmes des systèmes dans un état superposé et que chacun n'observe qu'un état propre de l'autre, tout en restant superposés, de telle sorte « qu'une communication est pour chacun d'eux l'équivalent d'une mesure de son interlocuteur ».

« Dans ces conditions (et contrairement à ce qui se passe avec l'image animée de la danseuse), les règles du formalisme quantique garantissent qu'il ne sera jamais possible qu'Alice et Bernard, échangeant sur le résultat qu'ils ont chacun constaté après avoir fait une mesure quelconque, puissent être en désaccord même s'il n'est nullement obligatoire qu'ils aient perçu le même résultat. Cela peut paraître étrange, mais c'est l'un des points essentiels du solipsisme convivial, qui amène à renoncer à l'idée que nous pouvons « nous mettre à la place de quelqu'un d'autre pour parler de ses perceptions ». Expliquons-nous. » (Hervé Zwirn, L'observateur, un défi pour la physique quantique, Pour la science, mars 2020, p. 31)

Voici donc l'oxymore levé par une communication bien étrange ! Où chacun entend toujours un résultat conforme à ce qu'il a lui-même vu. Mais quelle explication donner ? Par un « mécanisme d'accrochage » :

« Un observateur ne peut obtenir comme résultat possible d'une mesure que ceux qui sont liés à la branche à laquelle il est accroché. Alice ne peut donc obtenir, quand elle parle avec Bernard, qu'un résultat correspondant à « la partie de Bernard » corrélée au même résultat de mesure sur le système que celui qu'elle a déjà obtenu. » (Hervé Zwirn, L'observateur, un défi pour la physique quantique, p. 31)

Le mécanisme d'accrochage induit une grammaire propre « solipsiste » où il devient illégitime de pouvoir dire, d'un point de vue extérieur : « Alice a vu ceci et Bernard a vu cela. ». Nous pouvons seulement dire : « Alice a vu ceci et a entendu Bernard lui dire qu'il a vu ceci. ».

Cette théorie étrange d'un point de vue psychologique (qui n'est qu'une analogie après tout) résout, selon Zwirn, le problème de la non-localité, de la mesure de deux systèmes intriqués séparés par un intervalle de type espace où une mesure sur un système affecte la mesure sur l'autre.

Mais comme le plus souvent, il y a un prix à payer, que Zwirn effleure seulement : nous ne percevons pas le monde de la même façon et pourtant nous ne pouvons être en désaccord. Ce qui « restaure » l'existence du monde contre le solipsisme strict, mais qui fait s'effondrer l'édifice scientifique fondé sur la discussion critique des points de vue différents et l'intersubjectivité ([Etape 4 du PAS](#)) qui en résulte au cours des cycles du processus de l'action scientifique. Le spectre d'un superdéterminisme ou d'un super-hasard ressurgit ici en réduisant le « sujet », « l'observateur » à un système quantique, donc superposé comme il ressurgit avec la théorie de l'effondrement spontané qui réduit l'asymétrie essentielle pour le modèle PAS entre un physicien libre de poser des questions à la nature au moyen des chaînes symboliques (théories, hypothèses) et instrumentales (dispositifs expérimentaux) qu'il invente, et le monde qui y répond de manière indépendante, sans s'intriquer au physicien.

12 GÉRARD GREMAUD – LA THÉORIE DU RÉSEAU COSMOLOGIQUE

« Il est possible d'observer et de mesurer depuis l'extérieur, avec un référentiel eulérien absolu nanti de règles fixes et immuables et d'une horloge universelle, les évolutions spatio-temporelles d'un réseau solide possédant à la fois une certaine structure microscopique, des propriétés élastiques particulières et des propriétés d'inertie newtonienne. Cette seule phrase contient, comme vous le verrez, une quantité énorme d'informations sur l'univers, pour peu que l'on y mette un peu d'imagination et de réflexion. » (Gérard Gremaud, Et si l'Univers était un réseau et que nous en étions des singularités topologiques? Et si les seuls principes fondamentaux de l'Univers étaient les lois de Newton et de la thermodynamique ? 2020, p. 306)

Ainsi Gérard Gremaud conclut-il son essai en « pastichant » Richard Feynman¹¹⁴. Le physicien suisse a élaboré une théorie physique qui, sans prétendre être une « théorie du Tout », tente d'en capter l'esprit d'unité recherchée par les physiciens depuis que la science s'est libérée de transcendances tutélaires diverses. Je vais essayer de raccrocher cette théorie unitaire avec ce que j'appellerai ici, le « réseau symbolique » qui accompagne le réseau cosmologique obtenu en partant de la physique du solide, bien concrète lorsque nous essayons de déformer une scie à métaux qui revient à son état initial (par élasticité) ou une barre d'aluminium qui finit par se plier (par plasticité), ou encore quand nous travaillons une boule de pâte en l'écrasant, la tordant, la repliant, etc. Gérard Gremaud est un autre contre-exemple d'antiréalisme, de retour à une vision plus classique, malgré des audaces conceptuelles, qui le situe plus près de Newton et d'Einstein que de Bohr et Heisenberg.

« Je pense que ce que vous appelez "la couche de principes d'unité" vient de ce que ma théorie est inspirée de ce qu'on rencontre en physique du solide, et qu'elle est en fait basée sur quatre principes premiers parfaitement classiques et d'une simplicité désarmante, qui sont : 1) l'Univers dans lequel nous vivons est un réseau solide, ce qui signifie que nous postulons l'existence d'une sorte d'"éther" qui contient la matière et qui supporte la propagation des champs, 2) ce réseau présente une masse inertielle dans le vide absolu, satisfaisant à la loi de Newton du mouvement, et il obéit aux deux premiers principes de la thermodynamique, 3) ce réseau peut être déformé et il présente une élasticité correspondant à l'élasticité la plus simple possible d'un solide isotrope, 4) la matière dans ce réseau correspond à l'existence de singularités topologiques du réseau. C'est très étonnant tout ce qu'on peut déduire de ces 4 principes, moyennant une solide connaissance de la physique du solide. » (Gérard Gremaud, communication personnelle)

Cette « simplicité désarmante » de la théorie est fascinante au sens où elle reconstruit l'édifice de la physique en partant d'un modèle simple, l'image d'un réseau solide élastique appliqué à l'Univers

¹¹⁴ La phrase originale de Feynman apparaît en exergue de l'essai de Gérard Gremaud : *Et si l'Univers était un réseau et que nous en étions des singularités topologiques ? Et si les seuls principes fondamentaux de l'Univers étaient les lois de Newton et de la thermodynamique ?* 2020, version simplifiée et illustrée du livre: *Univers et Matière conjecturés comme un Réseau Tridimensionnel avec des Singularités Topologiques*). Tous deux disponibles en ligne.

entier, le réseau cosmologique, et non en partant de théories de plus en plus complexes comme la théorie des cordes. Gremaud produit ainsi un appareil symbolique qui « parle » à l'intuition mais rigoureux, à l'opposé de la fuite en avant de la théorie des cordes par exemple ou de l'interprétation de la physique quantique en termes de mondes multiples. Elle confirme que l'appareil de la discussion critique ([Etape 4 du PAS](#)) doit éviter de jeter le bébé avec l'eau du bain, en adhérant aux mirages ou aux interdits de langage du formalisme standard. (2.2)

Le concept de réseau symbolique n'est évidemment pas la préoccupation du physicien. Il m'aide simplement à tenter de comprendre la physique contemporaine dans un cadre plus large qui est l'effort continu de la conscience symbolique de l'Homo Sapiens pour agir sur le réel au moyen d'instruments symboliques. Cela peut sembler très secondaire comme approche mais l'effort inédit d'unification de la physique de Gérard Gremaud m'y encourage.

12.1.1 La théorie du réseau solide élastique cosmologique

En partant de l'équation de Newton $\vec{F} = m\vec{a}$ qu'il adapte aux forces qui agissent sur et dans un réseau solide élastique¹¹⁵ (déformations par pression, flexions, distorsions, cisaillements¹¹⁶, dislocations vis ou coin¹¹⁷, désinclinaisons vis ou coin¹¹⁸, diffusion de défauts, etc.) et des deux premiers principes thermodynamiques (la conservation de l'énergie et l'évolution de l'entropie d'un système), Gremaud établit une correspondance rigoureuse entre ses nouvelles équations de géométrocinétique et de géométrocompatibilité et les équations standard des différents domaines de la physique :

« C'est l'équation de Newton qu'on vient de déduire qui présente des propriétés spectaculaires et qui est au cœur des très nombreuses analogies que nous allons développer dans la suite avec les grandes théories de la physique, à savoir l'Electromagnétisme de Maxwell, la Gravitation de Newton, la Relativité Générale d'Einstein, la Transformation de Lorentz et la Relativité Restreinte d'Einstein, et même la Physique Quantique et le Modèle Standard des particules élémentaires.. »
(Gérard Gremaud, 2020, p. 85).

Gremaud souligne que ce sont des « analogies très fortes et souvent parfaites » qui regroupent toutes les grandes théories physiques (p. 17, 315). Ce qui ne remet pas en cause le mérite des inventeurs comme Maxwell, Einstein, Schrödinger ou Dirac. Au contraire, l'existence d'un symbolisme englobant, celui de Gremaud, a lui-même obtenu par une intuition obstinée d'unité et guidée par la valeur

¹¹⁵ « Cette équation est bien une équation de Newton car elle fournit la variation temporelle de la quantité de mouvement par site de réseau, prise le long de la trajectoire du milieu en fonction des variations spatiales des tenseurs de distorsion, via les constantes élastiques et anélastiques. » (Gremaud, 2020, p. 85). « L'équation de Newton du réseau cosmologique semble de plus en plus jouer un rôle capital au cœur de toutes les théories connues de l'Univers. » (p. 235)

¹¹⁶ Déformation par des glissements entre éléments comme des feuilles d'une rame de papier qui glissent les unes sur les autres.

¹¹⁷ Une dislocation coin dans un cristal est un défaut obtenu en insérant un demi plan atomique dans la structure provoquant, comme un coin, une ligne de dislocation. La force de compression est perpendiculaire à la ligne de dislocation (au plan du « coin »). Dans une dislocation vis la déformation se propage le long de la ligne de dislocation comme une fermeture glissière.

¹¹⁸ Les lignes de désinclinaison sont un autre type de défaut dans un cristal nématique (phase intermédiaire entre solide et liquide). Ce sont des endroits où l'orientation des molécules ne peut pas être définie. Ils produisent une déformation autour d'eux qui interfère avec la distorsion générée par la particule. La variation consécutive de distorsion produit donc une variation de l'énergie élastique d'ensemble qui correspond à l'interaction de la particule avec la ligne. (http://www.ipcms.unistra.fr/?page_id=7663)

accordée à ces équations. Il indique un mouvement de va-et-vient entre deux formes d'audace, celle des précurseurs et celle des consolidateurs et unificateurs, qui peut être interprété comme un ajustement dynamique entre contraintes symboliques, contraintes de tensions et d'innovations d'une part et contraintes de détentes et de relâchements d'autre part, qui est un aspect de la discussion critique au même titre qu'une discussion serrée de la validité des concepts de l'une ou l'autre théorie ou la discussion des résultats expérimentaux.

12.1.2 Le réseau symbolique initié grâce au concept théorique de réseau cosmologique

Le « réseau symbolique » de Gremaud permet ainsi de relier, par des « ponts d'unification » les « nœuds symboliques » jusque là disjoints tout en gardant une valeur référentielle commune, au moyen du modèle de réseau solide élastique, qui restaure une forme de réalisme à la physique.

Mais du coup se pose la question de la signification du « nous » qui figure dans le titre de son livre (la version simplifiée) comme « singularité topologique » qui n'est, par définition, qu'un défaut de structure. Le « nous » fait-il référence à des systèmes physiques complexes auquel nous donnons le nom d'**Homo Sapiens**, définis par Gremaud comme des observateurs locaux **HS**, « constitués à partir d'un amas de singularités topologiques du réseau » ou sont-ils aussi des systèmes physiques/symboliques qui ont été capables d'avoir construit cet appareil symbolique, de mener des expériences avec leurs instruments et leurs horloges, capables aussi d'imaginer ce que Gremaud appelle le **Grand Observateur imaginaire (GO)** qui se tient en dehors du réseau cosmologique et mesure les événements au moyen d'une horloge universelle dans son laboratoire qui constitue un référentiel absolu ? Je précise d'emblée que Gremaud ne sort pas ici de son rôle de physicien pour prendre les habits de métaphysicien dès lors que GO est un personnage conceptuel imaginaire, que nous pouvons associer aux expériences de pensée d'un Einstein qui sont des éléments symboliques essentiels dans l'élucidation de problèmes purement physiques¹¹⁹.

Dans cette veine, Henry Stapp a imaginé à la suite de Von Neumann un personnage conceptuel similaire, un « ego abstrait » qui doit nécessairement se tenir en dehors des systèmes physiques qu'il étudie pour simplement pouvoir faire de la physique. De nombreux physiciens comme Gerald 't Hooft ou son compatriote Nicolas Gisin ont défendu cette idée que la liberté expérimentale des physiciens implique une telle position, que 't Hooft appelle un « choix initial non contraint » dont Gremaud est un exemple manifeste en ayant choisi un point de départ d'une « simplicité désarmante ».

En tant que philosophe, je conçois une nouvelle analogie ou conjecture pour décrire le physicien comme une « singularité topologique » du réseau symbolique que Homo Sapiens (et peut-être ses cousins disparus) a commencé à élaborer en ornant les parois des grottes au Paléolithique supérieur, d'où a émergé sa conscience symbolique. L'édifice symbolique que la physique contemporaine continue de construire pour atteindre le réel, maintenir le contact avec lui, atteste non seulement de la liberté expérimentale, mais de la liberté théorique et critique du physicien magnifiquement exercées par Einstein et tous ceux qui partagent sa vision de la science.

Je vais illustrer cette vision en n'abordant que les deux domaines de la physique qui intéressent généralement les philosophes pour leurs aspects intrigants qui leur laissent croire qu'ils ont quelque chose à dire ou à apporter sur le sujet : la théorie de la relativité (restreinte et générale) et la physique

¹¹⁹ « Comme vous l'avez bien remarqué, dans mon esprit, l'observateur local est l'homo sapiens qui est intégré au réseau et qui est constitué (de manière très complexe évidemment) à partir des singularités topologiques du réseau qui interagissent entre elles, alors que le grand observateur est un personnage conceptuel qui se situe en-dehors du réseau et qui observe ce réseau avec un système de règles et une horloge absolus et immuables. » (Gérard Gremaud, *Communication personnelle*)

quantique¹²⁰.

12.2 L'INTERPRÉTATION DE LA THÉORIE DE LA RELATIVITÉ SELON LA THÉORIE DU RÉSEAU COSMOLOGIQUE

Commençons par nous donner une image du réseau cosmologique. Où que nous regardons, nous observons globalement la même chose. Si nous observons des amas de galaxies dans une direction, nous avons toutes les chances d'observer de tels amas dans les autres directions. On dit que le réseau est isotrope, qu'il manifeste une symétrie par invariance circulaire. Au sein du réseau se produisent des perturbations de la matière du réseau solide qui brisent localement cette symétrie globale. Ces perturbations produisent des ondes transversales qui se propagent autour d'elles et rencontrent d'autres perturbations, comme des cailloux jetés dans un étang produisent des ondes autour de leur point de chute et des interférences. Ces perturbations ce sont des singularités topologiques du réseau qui peuvent s'assembler en amas de tailles diverses, depuis les particules jusqu'aux trous noirs, avec des amas d'une complexité très curieuse, nous observateurs locaux du réseau, dans le réseau. Nous avons ainsi une image du champ gravitationnel « modulé » par les événements matériels qui s'y produisent. Avec cette image initiale à la fois grossière et intrigante nous concernant, nous pouvons nous faire une première idée du modèle du réseau cosmologique développé par Gremaud au départ de la théorie classique des solides.

Gremaud énonce une conjecture pour qu'il soit possible d'établir une correspondance entre les équations du réseau cosmologique et les équations de la théorie de la relativité générale (mais aussi et de la physique quantique on le verra dans la section suivante) :

Conjecture 2 : « Il faut nécessairement qu'il existe des ondes transversales de polarisation circulaire et qu'il n'existe pas d'ondes longitudinales. » (Gremaud, 2020, p. 88)

12.2.1 Expansion volumique et champ de gravitation

Gremaud établit une analogie entre l'expansion volumique τ de symétrie sphérique du réseau cosmologique et le champ de gravitation. Il souligne en particulier le « rôle central des boucles de désinclinaison vis dans les perturbations du champ d'expansion » qui expliquent les interactions gravitationnelles (p. 180). C'est un exemple de correspondance entre le « langage » du réseau, de la théorie du solide avec ses concepts spécifiques comme les « dislocations » ou les « désinclinaisons », et le « langage » de la relativité et ses concepts spécifiques comme la « courbure » ou les « singularités ».

L'analogie permet aussi d'expliquer les singularités du modèle de la relativité générale comme les trous noirs :

« Le réseau cosmologique présente une analogie très intéressante avec la théorie de la Gravitation Générale d'Einstein puisque qu'on peut y trouver, au voisinage de singularités de l'expansion volumique, des sphères de perturbations très similaires à la sphère de photons entourant un trou noir. On déduit donc de cet effet non-dispersif de courbure des rayons par les gradients de l'expansion volumique que le scalaire

¹²⁰ Pour donner un exemple canonique : Le débat entre Einstein et Bergson sur le concept de temps où Bergson finit par jeter l'éponge faute des moyens intellectuels et symboliques pour contrer ceux d'Einstein. Bergson écrira *Durée et simultanéité, À propos de la théorie d'Einstein*, publié en 1922, mais estimera « plus sage de laisser tomber la question », interdisant même la republication de son livre. Voir mon essai *L'époque critique de l'écriture*, chapitre 10.

d'expansion volumique a assurément une relation analogique forte avec le champ de gravitation en Relativité Générale. » (Gremaud, 2020, p. 91)

En formalisant le modèle du réseau solide, Gremaud retrouve en premier lieu la loi de la gravitation de Newton. Je ne décris que la première étape : imaginons deux amas de boucles de désinclinaison qui interagissent via leurs champs «gravitationnels» de perturbations d'expansion à grande portée. Chacun des amas est plongé dans le champ de perturbation de l'autre et un accroissement de l'énergie élastique des deux amas se produit en fonction de la distance d qui les sépare (l'énergie élastique de chaque amas se trouvant essentiellement dans son voisinage). La force totale d'interaction entre les deux amas est alors donnée par la dérivée par rapport à d de la variation d'énergie des deux amas, ce qui conduit à une force d'interaction $F(d)$, comme « le produit des masses de gravitation divisé par la distance au carré séparant les deux amas, ce qui rappelle furieusement un terme de la loi de gravitation de Newton ». Gremaud obtient ensuite la force totale d'interaction gravitationnelle en intégrant les paramètres caractérisant le réseau (volumiques et élastiques).

Ayant établi une correspondance forte entre l'équation de la gravitation de Newton et l'équation propre au réseau cosmologique (figure 8.1. p. 181), Gremaud peut en déduire les corrections relativistes qui permettent de passer de Newton à Einstein et d'expliquer l'avancée du périhélie de Mercure, qui fut une des premières vérifications expérimentales de la théorie de la relativité générale (p. 180-183)¹²¹.

12.2.2 L'évolution cosmologique

Je vais encore plus rapidement évoquer l'évolution cosmologique. L'analogie permet aussi de rendre compte de « l'évolution cosmologique » globale en termes d'expansion, de contraction ou de rebond. Concevoir l'univers selon l'image d'un réseau solide permet d'évaluer les différents scénarii (Big-Bang, expansion infinie, Big-Crunch, Big-Bounce) à l'aune de la rationalité et du bon sens et d'établir une nouvelle conjecture que je reformule pour simplifier :

Conjecture 4 : « Il est plus « raisonnable » pour l'esprit d'imaginer que l'expansion de l'univers ne soit pas infinie. » (Gremaud, 2020, p. 98)

Nous sommes au cœur de mon essai : Eprouver le réel comme résistance, « ce qui rend les coups » et de là en tirer des enseignements sur notre rationalité qui en émerge, qui se méfie de visions du monde qui tendent vers une certaine métaphysique.

12.2.3 La courbure de l'espace-temps

J'en viens ainsi à la fameuse relation établie par l'équation du champ d'Einstein où la matière courbe l'espace-temps qui, en retour, prescrit à la matière son mouvement¹²². La théorie de Gremaud permet

¹²¹ Je reviendrai sur cette rupture avec la théorie de Newton au chapitre suivant (13). Je note aussi qu'il existe une divergence entre la correction apportée par l'équation de Gremaud et la solution de Schwarzschild de l'équation d'Einstein, qui est pour Gremaud l'occasion d'éprouver la « résistances des matériaux » de l'analogie.

¹²² Je reproduis ici la note 7 de cet essai. Les physiciens et les philosophes des sciences ont rivalisé d'imagination pour exprimer cette idée révolutionnaire. Sobre, Hermann Weyl : « L'espace dit à la matière comment se mouvoir, et la matière dit à l'espace comment se courber ». Métaphorique, Etienne Klein : « La courbure (qui n'a pourtant pas la parole) « dit » à la matière comment se mouvoir et la matière (pourtant tout aussi mutique « dit » à la géométrie comment se courber. » (Etienne Klein, *Les tactiques de Chronos*, p. 100-101). Ludique, Thibaut Damour : « Le nouveau Jeu du Monde est un jeu à deux, où Espace-Temps et Masse-Energie s'influencent réciproquement. La masse-énergie déforme par sa présence l'espace-temps, et l'échiquier de l'espace-temps détermine la façon dont la masse-énergie se love en lui. » (Thibault Damour, *Si Einstein m'était conté*, Le Cherche Midi, 2005p. 109). Théâtral, Hawking-Penrose : « La gravité est radicalement différente des

The diagram illustrates gravitational lensing. A source (S) is at distance D_S from the observer (O). A lens (L) is at distance D_L from the observer. The impact parameter is b . The deflection angle is α . The Einstein radius is R_E . The diagram also shows the source plane, lens plane, and observer plane.

$\alpha(R) = \frac{4G_{\text{grav}} M_{\text{tot}}}{c^2 R}$

R

R_{Einstein}

M_{tot}

$\tau = \tau_0$

courbure des rayons d'ondes par une masse gravitationnelle

$$\Delta\alpha(r) = \frac{c_1(r+dr)\Delta t - c_1(r)\Delta t}{dr} = \frac{\partial c_1}{\partial r} \Delta t = \frac{\partial c_1}{\partial r} \frac{\Delta r}{c_1} \Delta r = \frac{1}{c_1} \frac{\partial c_1}{\partial r} \Delta r$$

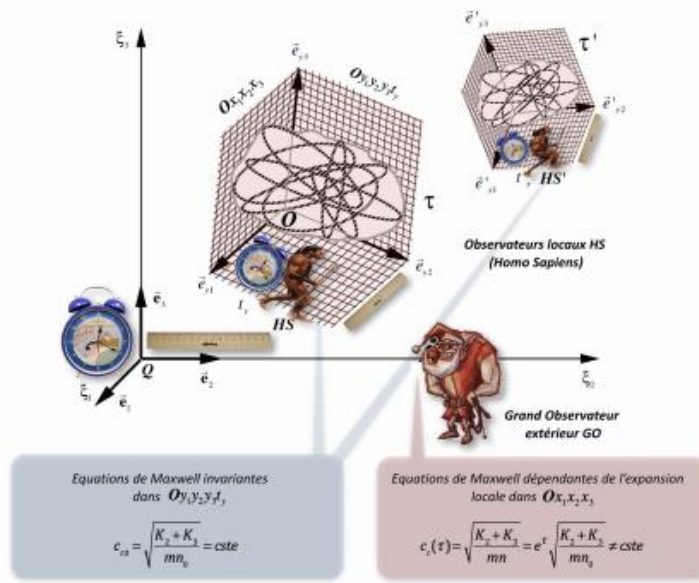
$$= \frac{1}{c_1} \frac{\partial c_1 \left(\frac{c_{\text{tot}}(r)}{c_1(r)} \right)}{\partial r} \Delta r = \frac{1}{2} \frac{\partial \tau_{\text{grav}}(r)}{\partial r} \Delta r = \frac{G}{4 \left(3\alpha_{\text{av}} + 2\beta_{\text{av}} \right) c_1^2 r^2} \Delta r$$

$$\alpha(R) \approx 2 \int_{\frac{R}{2}}^R \frac{G_{\text{grav}} M_{\text{tot}}}{4 \left(3\alpha_{\text{av}} + 2\beta_{\text{av}} \right) c_1^2 r^2} dr = \frac{4G_{\text{grav}} M_{\text{tot}}}{c_1^2} \int_{\frac{R}{2}}^R \frac{dr}{r^2} = \frac{4G_{\text{grav}} M_{\text{tot}}}{c_1^2 R}$$

Figure 8.5 courbure des rayons d'onde transversale au voisinage d'un amas massif.

Il en va de même pour l'écoulement du temps pour les observateurs locaux et pour le Grand Observateur. Retenons seulement que pour les observateurs locaux **HS**, la vitesse de ces ondes transversales est une constante universelle (la constance de la vitesse de la lumière fondamentale pour la théorie de la relativité restreinte), alors qu'elle dépend de son expansion volumique pour l'observateur extérieur au réseau **GO** (p. 179). Ce qui produit une asymétrie entre l'espace-temps dans lequel nous sommes plongés et l'espace absolu que **GO** mesure avec ses règles et ses horloges absolues.

68



La figure 8.2 (les règles et horloges locales dans le repère des observateurs HS et HS') illustre bien ici l'existence d'une forte analogie entre notre théorie et la théorie de la Relativité Générale d'Einstein. En effet, les règles et l'horloge propres d'un HS vivant en

un certain endroit du réseau dépendent de l'expansion volumique locale τ du réseau, de façon analogue à ce que stipule la Relativité Générale pour les règles et l'horloge propres d'un observateur situé dans un champ de gravitation donné. Dans le cas illustré à la figure 8.2, on comprend bien que le réseau joue le rôle d'un « éther » qui impose la taille des règles de l'observateur HS, alors que c'est la vitesse des ondes transversales au sein du réseau (en fait la vitesse de transport de l'information) qui impose l'allure de l'horloge propre de HS » (Gremaud, 2020, p. 186)

Ces deux figures illustrent bien l'esprit et la lettre de la démarche de Gremaud qui s'appuie sur des analogies, des images, mais pour obtenir des résultats formels qui sont « discutables » au sens premier de la discussion critique entre physiciens. Je renvoie à son texte dense pour les développements formels ainsi que pour les différences entre la théorie de Gremaud et la théorie d'Einstein (p. 189) que je ne peux qu'évoquer ou traduire très partiellement en « idées directrices » par manque des compétences nécessaires. Ce qui est toujours une expérience frustrante et un peu douloureuse.

12.2.5 L'analogie entre l'équation du champ de flexion du réseau et l'équation d'Einstein de la relativité générale $G = 8\pi T$ – Le concept innovant de « charge de courbure »

Une dernière illustration me semble spectaculaire car elle relie au réseau cosmologique des objets quasiment mythiques de la physique que sont le tenseur de courbure et le tenseur d'énergie-impulsion. Einstein disait du premier qu'il est du « marbre fin » et le second du « bois de mauvaise qualité » (p. 193). De nouveau je m'efforce d'en saisir l'idée porteuse en renvoyant au texte de Gremaud.

L'idée est la suivante : le tenseur d'énergie-impulsion devient grâce à son plongement dans le réseau aussi du « marbre fin », cessant de n'être qu'une représentation « phénoménologique », qui est souvent un terme péjoratif aux yeux du physicien.

« Il est très tentant de dire ici que la notion de charges de courbure, et que l'équation géométrique pure (...) répond à la question que se posait Einstein lorsqu'il disait que, dans l'équation de champ, le terme de gauche, le tenseur de courbure de Ricci, est constitué de marbre fin, alors que le terme de droite, le tenseur d'énergie-impulsion, est constitué de bois de mauvaise qualité, voulant exprimer par là que le terme de droite n'est qu'une représentation phénoménologique de la matière injectée dans l'équation de champ, qui n'est pas dérivée directement d'un principe premier comme

l'est le terme de gauche. Dans notre théorie par contre, le terme de droite de l'équation pour le champ de flexion est bien fait de marbre fin, puisqu'il est dérivé directement d'un principe premier qui est l'équation de Newton du réseau. »
(Gremaud, 2020, p. 193)

C'est le concept de « charge de courbure » qui est « une conséquence incontournable du traitement d'un réseau solide et des ses singularités topologiques en coordonnées d'Euler » (p. 6). Très schématiquement, la charge de courbure est une densité scalaire de second ordre qui caractérise le réseau au niveau macroscopique complétant les autres paramètres de premier ordre que sont les distorsions plastiques comme la densité de charge de dislocation, de flexion ou encore de rotation (p. 45). Cette complexité supplémentaire se reflète dans l'opposition conceptuelle distorsion/contorsion dont l'image du contorsionniste donne une image : celle d'une forme dans l'espace (qui nous semble anormale) résultant de la combinaison de distorsions locales de son corps.

Ce concept permet de réunir et d'harmoniser les deux termes de l'équation d'Einstein. Ce concept est l'innovation majeure de la théorie du réseau cosmologique, une « création libre de l'esprit » en paraphrasant Einstein, qui relie le « géométrique » au « matériel » comme Baudelaire relie la nature et la culture : « La Nature est un temple où de vivants piliers / Laissent parfois sortir de confuses paroles; » (Charles Baudelaire, Correspondances).

Ce concept « absent dans les théories modernes de la relativité, de la physique quantique et de la physique des particules, permet d'expliquer un grand nombre de faits incompris par les théories modernes de la physique. » (p. 193)

12.3 L'INTERPRÉTATION DE LA PHYSIQUE QUANTIQUE SELON LA THÉORIE DU RÉSEAU COSMOLOGIQUE

De son point de vue imaginaire mais symbolique bien réel, GO n'est donc pas soumis aux lois physiques tout comme l'ego abstrait de Stapp, n'étant pas une singularité topologique du réseau cosmologique. Je viens de voir comment il observe les phénomènes gravitationnels à grande échelle. Il peut également observer les événements quantiques depuis son laboratoire qui contient l'univers.

La théorie du réseau cosmologique relie très simplement les phénomènes gravitationnels et quantiques, les premiers étant attribués à l'expansion volumique du réseau et ses perturbations qui engendrent des champs gravitationnels et les seconds aux fluctuations de cette expansion à l'échelle microscopique (p. 305-306). La physique quantique n'est, dans ce cas, que l'expression de fluctuations dynamiques de la gravitation à l'échelle des atomes et des particules.

Il permet ainsi de démystifier la physique quantique d'une manière similaire à la théorie de De Broglie-Bohm. Comme celle-ci, la théorie de Gremaud donne « une signification réelle à la fonction d'onde » comme « paquet d'onde » mais, au contraire de Bricmont qui la présente comme une théorie déterministe (7.1), la théorie de Gremaud conserve « l'image du monde indéterministe de la physique quantique » :

« En fait, l'interprétation de la physique quantique qui ressort de notre théorie se rapproche assez de l'interprétation de Bohm, dans sa version stochastique, introduite en 1954 comme un développement de la théorie de l'onde pilote de Louis de Broglie de 1927. En effet, dans notre théorie, la fonction d'onde est bien un champ réel et objectif, correspondant à l'enveloppe des fluctuations gravitationnelles de l'expansion volumique du réseau cosmologique associées aux singularités topologiques, alors que les singularités topologiques sont aussi, quant à elles, des particules réelles (des boucles de dislocation ou de désinclinaison) qui possèdent à

tout instant des coordonnées dans l'espace et une quantité de mouvement donnée. Ce sont bien là effectivement les principales idées de l'interprétation de Bohm. Et l'image du monde véhiculée par notre théorie est clairement indéterministe comme l'est l'image bohmiennne de la physique quantique, au sens que nous n'avons pas d'accès direct aux positions des singularités, mais seulement aux notions de probabilités qu'on déduit de la fonction d'onde, $\psi(r,t)$ qui ne sont que le reflet de notre ignorance de l'histoire sous-jacente qui détermine le cours des événements pour les singularités topologiques microscopiques. » (Gérard Gremaud, 2020, p. 237)

La théorie du réseau cosmologique décrit une fonction d'onde parfaitement similaire à la fonction d'onde et à l'équation de Schrödinger de la physique quantique usuelle et mais lui donne une signification physique réelle en termes d'amplitude et de phase des fluctuations gravitationnelles oscillatoires (p. 241). Elle décrit les particules comme des singularités topologiques au moyen du langage du réseau solide, en termes de boucles de dislocation et de désinclinaison. Nous pouvons ainsi résoudre le problème de la fameuse dualité onde-corpuscule que l'interprétation standard a voulu nous imposer comme une complémentarité exclusive, un oxymore.

12.3.1 La force de la métaphore « paquet d'onde » réduit la dualité onde-corpuscule

De manière « quasi-intuitive » avec le modèle du réseau solide élastique à l'esprit, on suppose qu'un paquet d'onde est formé lorsqu'une singularité topologique change subitement d'état (comme la transition de niveau d'énergie d'un électron dans un atome qui provoque l'émission d'un photon ou une transition dans un cristal qui provoque l'émission d'une paire de photons intriqués de fréquence et de polarisation donnée. Ce paquet d'onde possède un « volume » et une amplitude qui varient mais une énergie qui doit rester constante. Il en résulte une sorte de « plasticité » : le paquet d'onde peut s'allonger ou se rétrécir le long de son axe de propagation, s'élargir ou se comprimer selon un axe perpendiculaire, se diviser et se recombinaison lorsqu'il rencontre des obstacles. Si le paquet d'onde est très ramassé sur lui-même avec une amplitude très grande, il se comportera alors comme une quasiparticule localisée et s'il est très étendu avec une amplitude très faible, comme une onde, capable de tous les phénomènes d'interférence et de diffraction d'une onde usuelle.

Le paquet d'onde manifeste donc une dualité onde-corpuscule avec la restriction importante qu'en se propageant dans le réseau solide cosmologique, il est astreint à rester une seule entité, d'énergie constante et d'hélicité donnée pour que n'apparaissent pas de perturbations d'expansion. (p. 288-289)

12.3.2 Résultats - Signification physique des pseudo-mystères quantiques

- La dualité onde-corpuscule exclusive de la physique quantique standard trouve « une explication immédiate et simple puisque la particule est la singularité topologique, et que l'onde est le champ des fluctuations gravitationnelles qui lui est corrélé ». (p. 288)
- Dans les expériences des fentes de Young, le paquet d'onde se contracte localement pour passer par les deux fentes et se recombine ensuite, l'interaction avec les bords de la fente provoquant des phénomènes ondulatoires de diffraction, d'interférence et de modification de la trajectoire de la particule. Exprimé dans le langage du réseau cosmologique : les interférences obtenues en ne laissant passer qu'une particule à la fois s'expliquent par le fait que chaque singularité topologique (la particule) ne peut effectivement passer que par une seule des fentes, mais que le champ des fluctuations gravitationnelles qui lui est associé franchit quant à lui les deux fentes, d'où la possibilité d'une interférence de ces fluctuations à la sortie des deux fentes, entraînant par leur couplage avec la singularité une modification de la trajectoire de celle-ci, et finalement une distribution statistique des points d'impact successifs des particules sur l'écran placé après les deux fentes ». (p. 289)

- Le paquet d'ondes associé à la paire de photons intriqués s'allonge dans l'axe de propagation afin d'assurer une quantité de mouvement globale nulle. Si une des extrémités du paquet d'onde est brusquement « matérialisée » sous la forme d'un photon qui transfère son énergie à un « objet » interagissant avec lui, la deuxième extrémité du paquet d'onde se transforme immédiatement en un paquet d'onde représentant l'autre photon aussitôt matérialisé. En termes de réseau cosmologique : les phénomènes d'intrication quantique et de décohérence quantique (p. 290) résultent du fait que deux ou plusieurs singularités topologiques possèdent en commun un seul champ de fluctuations gravitationnelles, « auquel cas le fait d'agir sur une seule des singularités va modifier ce champ commun de fluctuations gravitationnelles, ce qui va forcément agir sur les autres singularités qui participent à l'intrication, et qui peut aussi provoquer la décohérence quantique, autrement dit le découplage des singularités topologiques impliquées dans le champ commun de fluctuations gravitationnelles. »
- L'existence de variables cachées non locales provient des fluctuations gravitationnelles corrélées aux singularités topologiques.

Je ne m'étends pas sur l'interprétation déterministe ou indéterministe qui semble diviser Bricmont et Gremaud et je m'en remets à une éventuelle discussion critique entre eux¹²³. Je reviens sur l'importance centrale de l'équation de Newton du réseau cosmologique.

« De cette correspondance parfaite entre notre théorie des perturbations gravitationnelles associées aux singularités topologiques mobiles et l'équation d'onde de Schrödinger de la physique quantique, expérimentalement très bien vérifiée, on déduit que notre conjecture 10 s'avère à posteriori absolument fondée. Par conséquent, notre interprétation «classique» de la physique quantique, à savoir que la physique quantique découle de la deuxième équation partielle de Newton du réseau cosmologique, est assurément juste, de sorte que l'équation de Newton du réseau cosmologique semble de plus en plus jouer un rôle capital au cœur de toutes les théories connues de l'Univers » (Gremaud, 2020, p. 249)

Gremaud en conclut qu'Einstein avait raison :

« Ainsi, notre explication de la physique quantique donne raison à Einstein, et montre que celle-ci est l'expression de fluctuations gravitationnelles à très petites échelles dans un réseau cosmologique sans propagation d'ondes longitudinales. Par conséquent, toutes les tentatives modernes de quantifier la gravitation sont forcément vouées à l'échec puisque la physique quantique est précisément l'expression des fluctuations gravitationnelles dynamiques à l'échelle microscopique. » (Gremaud, 2020, p. 242)

12.4 DES POINTS ENCORE OBSCURS CONCERNANT LE RÉSEAU COSMOLOGIQUE

Produire des analogies et des métaphores est une étape initiale du travail scientifique ([Etape 0 du PAS](#))

¹²³ Je cite néanmoins Gremaud : « Quant bien même les fonctions d'onde complexes n'apportent aucune indication quant à la position ou à la trajectoire de la singularité, on peut tout de même leur trouver une interprétation physique très intéressante. Comme ces fonctions d'onde correspondent à une représentation complexe de l'amplitude et de la phase des fluctuations gravitationnelles de pulsation associées à la singularité, il est tout-à-fait logique et probable que si, localement, il n'existe pas de fluctuations gravitationnelles, c'est-à-dire si la fonction d'onde est très petite en certains endroits de l'espace, il n'y aura pratiquement aucune chance d'y trouver la singularité topologique, alors que si ces fluctuations deviennent maximum en certains autres endroits, il y a de très fortes chances d'y trouver la singularité topologique. » (Gremaud, 2020, p. 235)

qui consiste à joindre des catégories disjointes par le langage courant de la « physique du bon sens », comme nous l'avons vu avec « paquet » qui renvoie plutôt au domaine « solide » et « onde » plutôt au domaine « liquide ». Cette médiation est ensuite élaborée, éprouvée pour donner une signification physique à des phénomènes résistants comme les expériences des fentes de Young.

Mais les analogies et les métaphores ont par définition leurs limites (elles disparaîtraient dans le cas contraire ou si elles devenaient « parfaites »). Ce sont les points « encore obscurs » du modèle de Gremaud et ils sont nombreux et tous intrigants.

Je ne cite ici que les points les plus simples, renvoyant comme d'habitude au texte source (2020, p. 304-305) :

- Existe-t-il réellement des « corpuscules » du réseau cosmologique qui possèderaient une masse d'inertie purement newtonienne dans l'espace absolu ?
- Quelle est la nature physique de l'élasticité du réseau cosmologique et de l'énergie libre par unité de volume ?
- D'où provient l'énergie cinétique du réseau nécessaire à son expansion ?
- Comment décrire le réseau solide au voisinage du « big bang » ?
- Comment expliquer physiquement la valeur des nombreux paramètres introduits dans le modèle ?
- Comment, d'un point de vue topologique, une boucle de dislocation ou une boucle de désinclinaison peut-elle tourner sur elle-même ?
- D'où viennent les valeurs entière ou demi-entière des valeurs de spin ? Quel est le rôle exact de la charge de courbure dans la valeur du spin et le comportement bosonique ou fermionique d'une particule ?

Devons-nous être déçus par tous ces points obscurs ou nous féliciter qu'un cadre commun, aussi simple qu'un réseau solide élastique, puisse unifier toute la physique ? Un argument philosophique pourrait faire pencher la balance, au-delà de la discussion critique interne et des convictions de chacun. C'est sur un tel argument que Gérard Gremaud conclut :

« Il est vrai que, dans cet essai, rien ne vient encore donner une explication définitive à l'existence de l'Univers, à la raison d'être du big-bang, et pourquoi l'univers pourrait se comporter comme un réseau solide. Ces points restent, du moins pour l'instant, du ressort de la philosophie ou des croyances individuelles de chacun. Mais, d'un point de vue épistémologique, cet essai montre qu'il est possible de trouver un cadre très intéressant pour unifier les diverses théories physiques actuelles, cadre dans lequel il n'existerait plus beaucoup de phénomènes mystérieux autres que la raison d'être de l'univers. » (Gremaud, 2020, p. 306)

Nous avons ici l'expression d'une attitude totalement opposée à celle que Jean Bricmont déplore chez les partisans de « l'orthodoxie bohrienne » : célébrer des défaites comme des victoires en tenant des affirmations définitives sur l'inintelligibilité de la physique quantique.

12.5 EN CONCLUSION ET POUR ANNONCER LE CHAPITRE SUIVANT

J'ai pu dire que me plonger dans l'appareil de connaissance de la physique est une expérience douloureuse. Je l'ai effleuré dans les deux domaines de la théorie de la relativité et la théorie quantique qui sont les deux portes d'entrée habituelles pour un philosophe qui trouve moins sexy d'étudier la théorie de l'électromagnétisme, le modèle standard des particules ou les théories supersymétriques, bien que leur élégance formelle devrait les attirer, tous domaines que le modèle du réseau cosmologique affronte également.

12.5.1 De l'utilité du point de vue symbolique

Je reviens donc une dernière fois à mon point de vue symbolique encore plus englobant (et aussi, en retrait, il faut l'avouer) qui souligne le rôle des modèles, des conjectures et des analogies comme un des moteurs du travail formel¹²⁴ et surtout, étant des interfaces entre les théories et la réalité, donne au travail formel une signification réelle, ici par exemple, à la relativité du temps (un impensable pour les philosophes !) ou à la courbure de l'espace-temps.

Gérard Gremaud a initié un réseau symbolique inédit qui relie sa théorie du réseau cosmologique à tous les domaines de la physique aux moyen de « ponts unificateurs » entre leurs formalismes et le sien, en partant d'un modèle intuitif, celui d'un réseau solide élastique et de ses déformations, en cherchant à « parfaire » les analogies pressenties entre le comportement de ce solide et les phénomènes physiques à toutes les échelles, du domaine quantique au domaine cosmologique, que le modèle embrasse. Ce réseau symbolique n'est évidemment pas thématiqué comme tel par le physicien, il apparaît seulement quand on le plonge dans le réseau symbolique plus large des échanges entre physiciens depuis la naissance de la physique et de la liberté qu'ils ont prise à l'égard du sens commun et des pensées dogmatiques - je pense à Galilée face au pouvoir religieux ou à Einstein face à « l'interdit de Copenhague ». Le besoin d'unité et de cohérence entre les phénomènes est aussi à chercher encore plus loin dans l'évolution culturelle de Sapiens et de sa conscience symbolique.

12.5.2 GO, le Grand Observateur imaginaire et nous, pauvres Homo Sapiens

En guise d'introduction au chapitre suivant, penchons-nous à nouveau sur ce **Grand Observateur imaginaire (GO)** qui n'est pas un Grand Architecte ou un Great Designer, surnommons-le « Laplace » (Dieu ? Sire, je n'ai pas eu besoin de cette hypothèse¹²⁵). GO n'est qu'un observateur privilégié extérieur au réseau qui a accès à tous les événements de manière instantanée. il a donc accès à la simultanéité contrairement aux observateurs locaux HS. GO contrevient aux principes et aux résultats de la théorie de la relativité restreinte (une vitesse limite de la lumière pour transmettre des informations, la relativité de la simultanéité, la contraction des longueurs). Pour lui, nulle « courbure du temps » mais un « espace absolu » et la vision d'un nouvel éther (devenu un impensable pour les physiciens). C'est la « partie imaginaire » de GO.

Mais sa « partie réelle », c'est sa capacité d'utiliser les équations du réseau cosmologique pour retrouver les lois de la relativité restreinte et générale exprimées par les transformations de Lorentz et l'équation de champ d'Einstein. GO dispose d'un opérateur, appelons-le « Gremaud » (ou **GG** pourquoi pas), qui relie les équations entre elles et tous les domaines de la physique, exprimant ainsi sa liberté de physicien face aux lois de la nature.

Conçoit-il de telles lois indépendantes que notre activité de connaissance décrit de mieux en mieux et finira par approcher de manière asymptotique au moyen d'une « théorie du tout » ? De son point de vue privilégié, GO a des raisons de le penser, que les pauvres HS n'ont pas, n'ayant que leur propension à croire qu'il existe des choses qui les transcendent, dieux ou lois.

Ou ne conçoit-il qu'une correspondance entre ses équations et celles des domaines particuliers de la physique, fort des équations qu'il a pu tirer de son modèle de l'univers comme un réseau solide ?

¹²⁴ L'autre moteur étant le travail logique axiomatique et déductif.

¹²⁵ C'est la réponse qu'aurait donné Laplace à Napoléon qui lui demandait pourquoi son Traité de cosmologie ne mentionnait pas Dieu.

13 LA NATURE DES LOIS PHYSIQUES : TRANSCENDANTE (LÉGISLATIVE) OU IMMANENTE (ONTOLOGIQUE) PAR RAPPORT À L'UNIVERS ?

(Ce chapitre n'est qu'au stade de l'ébauche)

J'ai vu (12.2) qu'en concevant ce que Gérard Gremaud appelle le Grand Observateur imaginaire (GO), nous pouvons envisager les lois de la physique avec un regard de surplomb, ce qui est, somme toute, la condition pour que le physicien puisse commencer son travail qui est, selon Einstein, un travail de libre création de théories et de concepts suivi d'un lourd travail expérimental de vérification et de réfutation et d'un travail de discussion critique entre eux.

De son point de vue privilégié extérieur au système de l'Univers, GO conçoit-il que notre activité de connaissance de plus en plus précise et englobante finisse par approcher de manière asymptotique la nature des lois physiques au moyen d'une « théorie du tout » ? Ou n'ajoute-t-il qu'une nouvelle couche symbolique unificatrice à l'appareil symbolique de la physique ? Celle-ci est-elle un indice que nous « touchons » davantage les lois naturelles à travers non seulement nos expériences sur leurs manifestations physiques mais aussi notre travail symbolique de plus en plus englobant ?

Etienne Klein envisage la question du réalisme sous l'angle d'un dualisme que nous laisserons derrière nous une fois surmonté, ce que j'ai appelé un regard ou un pas « de côté » au début de cet essai. Les lois de la nature transcendent-elles la nature, s'imposant de l'extérieur comme des règles législatives éternelles ou sont-elles « internes », dans un sens qu'il est extrêmement difficile de penser clairement (comme la question du temps ou de la non-localité), pouvant de ce fait évoluer comme l'Univers ? C'est une question typiquement cosmologique mais elle éclaire notre débat sur le réalisme et peut contribuer à faire avancer la réflexion.

Pour poser cette distinction avant de la défaire, Klein évoque deux anomalies de trajectoires, celle d'Uranus et celle de Mercure, qui semblaient mettre en défaut la théorie de la gravitation de Newton. Ces anomalies ont été résolues par deux voies différentes : ontologique pour Uranus en prédisant correctement la présence d'une autre planète, Neptune, qui « sauvait » la théorie de Newton, « législative » dans le cas de Mercure où cette solution, la présence d'une planète Vulcain n'a jamais été observée. Il a fallu le génie d'Einstein pour oser affirmer que cette fois la théorie de Newton était réellement en défaut et devait être remplacée par sa théorie de la relativité générale qui explique l'avance du périhélie de Mercure de 43 secondes d'arc par siècle par rapport aux prédictions de la théorie de Newton. Dans le premier cas, nous « ajustons » le monde aux lois et, dans le second, les lois au monde.

Mais ce dualisme est provisoire et partiel comme le montre l'explication du boson de Higgs qui est à la fois ontologique et législative, la masse cessant d'être une propriété primaire mais secondaire résultant du couplage avec le champ de Higgs¹²⁶. Souvenons-nous aussi d'Einstein qui cherchait à connaître les structures profondes de la nature et pensait donc que les lois de la nature expriment ces

¹²⁶ Ce champ aujourd'hui « vide » de ses bosons a cependant été « réchauffé » par l'accélérateur LHC pour mettre en évidence le rôle du boson de Higgs dans l'établissement de la masse des particules au début de l'Univers actuel. Voir la conférence d'Etienne Klein, [*Quelle est la nature des lois de la nature ?*](#), 2019.

structures, et donc que ces signes complexes pris en majeure partie dans le langage mathématique atteignent leur but, remplissent bien la fonction référentielle qu'on attend des signes. Il pensait donc que les lois avaient plus qu'une fonction législative, imposée de haut, par quelque transcendance, mais étaient tissées dans la trame de l'univers un peu comme la matière se meut dans la trame de l'espace-temps. Mais, en même temps, Einstein se méfiait du « tout mathématique » en refusant d'identifier le réel à la certitude des propositions mathématiques. (10.2)

Ce dualisme a donc le mérite de se dépasser puisqu'il montre que les lois physiques ne peuvent être tout à fait des signes extérieurs et détachés du monde si nous prenons en compte toute l'aventure scientifique pour se frotter au réel, ni ne s'appliquent qu'à notre connaissance, comme un serpent qui se mord la queue. Il traduit l'idée avancée au début de cet essai que tout dualisme est condamné à être surmonté pour qu'une explication cohérente puisse émerger (Searle). Les « lois de la nature » en tant que signes ou symboles complexes, réfèrent donc bien à la nature. Mais il serait incohérent de les confondre avec certaines structures de l'univers comme un signe iconique parfait, parfaitement transparent, parfait dévoilement. Il serait aussi incohérent à l'opposé, de penser que les signes scientifiques, patiemment construits, ne nous disent rien, ne réfèrent à rien si ce n'est aux opérations mentales pour les construire. Il faut avancer dans un entre-deux qui défie encore l'imagination.

Le dualisme de la réalité et de la connaissance de la réalité sous formes de lois physiques s'efface devant un processus symbolique long qui est celui de l'action scientifique, celui d'interactions répétées, cycliques entre deux types de systèmes bien réels, des systèmes physiques et des systèmes symboliques.

14 CONCLUSION : LIBÉRER LE QUESTIONNEMENT PHILOSOPHIQUE - POUR UNE PHILOSOPHIE HÉTÉRODOXE CRÉATIVE DE LA PHYSIQUE QUANTIQUE – LE RÉALISME SCIENTIFIQUE - LA LIBERTÉ SYMBOLIQUE

« Il y eut ici le grand débat sur les quanta. Solvay assembla, défraya à l'Hôtel Métropole les fortes têtes de la Physique. Poincaré, Planck, Einstein, Langevin. Lorentz présidait en 4 langues sans embarras. Tout ce petit synode assemblé dans le salon de l'hôtel discutait 8 heures par jour en profondeur. Tension. Les Allemands attaquaient la théorie de Lorentz – électrons. Lorentz impartial se défendait en poussant l'argumentation. Prodiges de dialectique – Poincaré se convertit aux quanta pendant cette Pentecôte. Einstein éblouit, et puis émerveille les autres par ses gamineries. Saute sur les épaules des gens. Langevin dit : Il ne se doute pas de son génie etc. J'envie ces hommes – Rien de semblable dans les Lettres et les arts. »

*« Il se montre en grand artiste, et c'est le seul artiste au milieu de tous ces savants » ;
« Il développe son incertitude et sa FOI fondée sur l'architecture (ou beauté) des formes. »*

(Paul Valéry, Cahiers II, Bibliothèque de la Pléiade, 1974, p. 855)¹²⁷

Paul Valéry était un penseur universel, à une époque où cette qualité allait devenir impossible avec l'explosion des connaissances. Il était fasciné par ces hommes de science qui apportaient un vent nouveau qu'il ne trouvait plus dans les « Lettres et les arts », et surtout par un de ses héros, Albert Einstein. Gaston Bachelard devait penser quelque chose de semblable quand il écrit que « la science n'a pas la philosophie qu'elle mérite »¹²⁸ regrettant que beaucoup de philosophes aient perdu le contact avec la culture scientifique de leur époque. C'est sur ce nouveau rapport entre science et philosophie que je vais conclure en revenant sur le cas Einstein qui manifeste l'apparente contradiction d'un déterministe qui a exercé merveilleusement sa liberté symbolique.

Tout au long de ces lectures, j'ai tenté de montrer comment Bricmont entend libérer la physique de solutions philosophiques à ses problèmes. Pour ma part, je pense qu'on peut libérer le questionnement philosophique au moyen de réponses scientifiques, ce qui a été fait au cours de l'histoire de la science, pour donner à l'homme sa place réelle dans l'univers, expliquer l'origine de la vie ou encore dissoudre les dualismes que la philosophie a imaginés pour dissimuler son ignorance ou conserver une position dominante.

¹²⁷ Paul Valéry évoque le premier congrès Solvay à Bruxelles en 1911. Valéry écrit le 22 mars 1924 à la suite d'une conversation avec le physicien Hostelet, collaborateur de Solvay, qui lui relate ce congrès historique. Pour avoir parcouru les *Cahiers*, il semble que Valéry n'était pas présent à la conférence d'Einstein le 31 mars et à son débat avec Bergson le 6 avril 1922 à Paris au Collège de France. Mais il a assisté, avec Bergson, à la conférence qu'Einstein a donnée le 12 novembre 1929. Voir aussi Marx, William, *Valéry et Einstein, ou le poème de la relativité* in : *Einstein au Collège de France* [en ligne]. Paris : Collège de France, 2020.

¹²⁸ Gaston Bachelard, *La philosophie du non*, PUF, 1940, p. 121.

Bricmont, comme Weinberg, a monté un dossier plutôt à charge contre les philosophes adeptes de la « pensée pure » qui n'épargne pas non plus les physiciens qui, à l'époque de la naissance de la physique quantique, avaient encore un solide esprit philosophique dans la tradition universitaire d'une université comme Göttingen qui rassemblait, au début du vingtième siècle, dans la faculté de philosophie Hermann Minkowski, David Hilbert, Felix Klein, Hermann Weyl, Edmund Husserl, puis plus tard Max Born et Werner Heisenberg. Certains comme Bohr, Born ou Pauli sont sortis de leur domaine de compétence pour tenter d'appliquer les nouvelles idées quantiques sur la complémentarité, les relations d'incertitude ou le rôle de l'observateur dans les sciences humaines (10.1). Avec le recul, nous pouvons constater qu'aucune ne s'est imposée et, davantage, que ces idées sont très discutables, ce que Jean Bricmont a tenté de montrer¹²⁹.

14.1 LE CAS EINSTEIN : DÉTERMINISME ET LIBERTÉ SYMBOLIQUE

Mais une autre philosophie pour la physique est possible. Je reviens sur la position d'Einstein au milieu de ces éminents esprits au Congrès Solvay en 1911 ou au Collège de France en 1922. Einstein s'est bien gardé de sortir du domaine physique même quand il s'imaginait, à seize ans, chevaucher un rayon de lumière, la métaphore restant éprouvée et travaillée au sein du domaine¹³⁰. Son pacifisme ou son athéisme plus tard ne seront motivés que par la rationalité qu'il appliquait à tous les domaines de connaissance.

Einstein était plus préoccupé par la non-localité, qui brisait le principe quasiment sacré de la causalité, que par la question du déterminisme (CPQ, 191) et n'hésita jamais à faire de la philosophie critique et surtout défendit la liberté du physicien, ses « créations libres de l'esprit » que sont pour lui les théories physiques (6.2). Einstein incarne une philosophie critique et créative contre ce qu'il appelait la « philosophie tranquillisante » de Heisenberg et Bohr à propos de la dualité onde-corpuscule.

« La philosophie tranquillisante de Heisenberg et Bohr - ou est-ce une religion ? - est si habilement échafaudée qu'elle permet aux vrais croyants de se reposer sur un oreiller si doux qu'il n'est pas facile de les réveiller. » (Albert Einstein dans une lettre à Schrödinger en 1928, cité par Bricmont en exergue de Contre la philosophie de la mécanique quantique)

Einstein ira jusqu'à dire, tranquillement, que la physique est une sorte de métaphysique puisqu'elle prétend décrire « la réalité » dans sa totalité, ce qui excède de loin le champ de l'expérience¹³¹.

On voit ainsi les deux faces du même génie¹³² : un déterministe convaincu qui reconnaît la liberté du physicien mais aussi les limites du formalisme et de la mathématisation du réel, je me répète à nouveau : « Pour autant que les propositions mathématiques se rapportent à la réalité, elles ne sont pas

¹²⁹ Une exception peut-être avec Erwin Schrödinger qui s'est aventuré avec un certain succès en biologie (*Qu'est-ce que la vie ?*). Schrödinger se considérait avant tout comme un philosophe et assignait à la science de répondre à la question « *Qui sommes-nous ?* ». (Erwin Schrödinger, *Science et humanisme, La physique de notre temps*, Desclée de Brouwer, 1954, p. 71)

¹³⁰ Ma pensée est musculaire, disait Einstein, comme chevaucher un rayon lumineux, comme un surfeur pour qui la vague est immobile. Or il n'y a pas de solution stationnaire des équations de Maxwell. Einstein comprendra que c'est une expérience impossible en concevant la théorie de la relativité restreinte où la vitesse de la lumière est la même pour tout observateur, y compris pour celui qui chevaucherait un rayon lumineux. Voir Etienne Klein, [Quelle est la nature des lois de la nature ?](#), 2019.

¹³¹ Albert Einstein, *Physique, philosophie, politique*, Textes choisis et commentés par Françoise Balibar, Points sciences, 2002, p. 466.

¹³² [CSLA](#), 8.4. Le cas Einstein : entre déterminisme et libre création.

certaines, et pour autant qu'elles sont certaines, elles ne se rapportent pas à la réalité. » Un physicien qui sait par son expérience de physicien que le déterminisme ou l'indéterminisme et la non-localité *n'épuisent pas* le réel.

David Bohm et David Peat¹³³ rapportent également les propos d'Einstein sur Bohr pour regretter la « rupture de communication » qui s'est produite entre Einstein et Bohr au terme de leur long débat, et qui est devenue depuis l'atmosphère générale qui règne en physique : « Un physicien ne peut au mieux qu'affirmer et réaffirmer un point de vue particulier ». Aucun physicien n'ose plus retenir plusieurs points de vue différents de manière à les comprendre véritablement et engager ce que Bohm et Peat appellent une communication libre et créative : le « dialogue bohémien » dont le ressort est d'explorer des idées sans un but précis, où les participants « suspendent » leurs jugements, leurs sentiments, qui est le propre de l'étape 0 du processus de l'action scientifique, un « essorage des possibles » (Poincaré) .

Bohm s'inspire de la manière dont Einstein a pu concevoir la théorie de la relativité en partant « de sensations inexprimables et d'une succession d'images » (CU, 13) comme les sensations que nous aurions en chevauchant un rayon lumineux ou dans un ascenseur en chute libre. Une perception créative naît lorsque de nouvelles similitudes et de nouvelles différences sont établies grâce à un travail d'interprétation des théories et des cadres formels reposant largement sur l'usage de la métaphore, comme celle de paquet d'onde. (12.3.1)

Le travail métaphorique consiste à joindre des catégories disjointes pour produire une nouvelle conjonction à partir d'une disjonction qui semblait bien ancrée dans le langage : « La nature est un temple »¹³⁴ ou ici : « Une particule est une onde » qui produit de nouvelles hypothèses : « à chaque particule on peut associer une onde », « chaque particule est guidée par une onde », etc. Mais alors que la médiation rhétorique est une initiative ou une création individuelle, la médiation scientifique suppose un effort collectif de longue haleine qui peut aboutir à de profonds changements conceptuels dans les sciences et dissoudre le piège tendu par la complémentarité exclusive onde-corpuscule¹³⁵. Un dualisme qui s'efface pour n'être plus qu'une division symbolique qu'on branche ou débranche au cours du processus scientifique.

Gaston Bachelard écrit dans son langage inimitable que le réalisme scientifique est une « contexture » organique comme l'effort d'un muscle pour vaincre une résistance qu'elle vienne du réel ou, ici dans l'exemple de la métaphore, d'un langage.

« Le réel qui lui correspond n'est pas rejeté dans le domaine de la chose en soi inconnaisable. Il a une tout autre richesse nouménale. Alors que la chose en soi est un noumène par exclusion des valeurs phénoménales, il nous semble bien que le réel scientifique est fait d'une contexture nouménale propre à indiquer les axes de l'expérimentation. L'expérience scientifique est ainsi une raison confirmée (...) La tâche du physicien est d'épurer assez le phénomène pour retrouver le noumène

¹³³ David Bohm, F. David Peat, *La Conscience et l'Univers (Science, Order and Creativity)*, Alphée, 1990, p. 85-87.

¹³⁴ « La Nature est un temple où de vivants piliers / Laissent parfois sortir de confuses paroles; » (Charles Baudelaire, *Correspondances*)

¹³⁵ La médiation rhétorique est immédiate car elle ne recourt ni à un tiers (opposition ou objet isolé) ni à l'argumentation. Au moyen de la phrase "La nature est un temple" le poète médie l'opposition entre "nature" et "architecture" ou entre "matière vivante" et "matière inerte". Il le fait par un travail sur le signifié du mot "temple" dont le sème "édifice" est inutilisable dans ce contexte. Voir [La médiation du contenu externe](#), 8.5 Les médiations et l'organisation dynamique du sens.

organique. » (Gaston Bachelard, Le nouvel esprit scientifique, introduction, PUF p. 9-10)

« Il faut à la fois une intention formelle, une intention dynamique et une intention matérielle pour comprendre l'objet dans sa force, dans sa résistance, c'est à dire totalement. » (Gaston Bachelard, La poétique de la rêverie, PUF, Quadrige, 1963, p. 214)

Une philosophie hétérodoxe comme celle de Bachelard s'invite ainsi dans les cycles du processus de l'action scientifique, quitte à perdre son caractère hétérodoxe au contact de physiciens hétérodoxes. Je terminerai en invoquant l'évolution de la conscience symbolique qui nous permet, je pense, d'avancer un peu sur la question du réalisme engluée dans une philosophie trop éprise de pureté depuis Platon au moins, qui tend à dévaluer la réalité physique pour lui préférer les arrière-mondes, pour parler comme Nietzsche, qui nous ont valu tous les dualismes qui collent à nos chaussures. Bachelard pensait que nous devons penser contre notre cerveau si nous voulons chercher la vérité, celui-ci n'étant façonné que pour s'adapter au monde qui l'entoure pour trouver nourriture, abri et partenaires sexuels. Mais nous pouvons soutenir le contraire, qu'il faut penser avec son cerveau, bien dressé face à son adversaire depuis des millions d'années d'interaction, pour apprécier la force du réalisme et des moyens symboliques que Sapiens, et peut-être ses cousins disparus, ont développé pour accompagner, anticiper, ménager les moyens physiques très limités qu'il avait pour affronter le réel et dépasser ses besoins primaires.

Dans cet essai, je ne suis sorti de la physique quantique, je n'ai fait un pas de côté que pour rappeler simplement ce fait symbolique qui est une autre audace de Sapiens¹³⁶.

¹³⁶ Clin d'œil à Marcel Otte, *L'audace de Sapiens*, Odile Jacob, 2016.

15 RÉSUMÉ DES PRINCIPALES THÈSES ET RÉFLEXIONS DE CET ESSAI

Certaines de ces thèses et réflexions me sont venues en les écrivant au terme de cet essai puis ont été réinjectées dans le texte. Sans doute pour avoir veillé à ne pas trop déborder le sujet qui reste la compréhension de la physique quantique. Mais la « condition de l'écriture » est ainsi, celle d'un ajustement permanent.

- Le point de départ : Jean Bricmont s'interroge sur la signification réelle que nous pouvons donner à cette question posée pour la première fois par la physique quantique : « Comment notre connaissance de quelque chose peut avoir apparemment un impact sur une situation physique. » ? Ce qu'il appelle la question principale. J'ai pensé que ce point de départ sémantique et conceptuel m'autorisait à développer un point de vue symbolique sur la place que la connaissance scientifique occupe dans l'édifice que construit la conscience symbolique de l'espèce humaine. Ce pas de côté implique de mobiliser d'autres sciences comme la biologie de l'évolution, l'anthropologie et la biosémiotique sans perdre le contact avec le travail effectif du physicien.
- Ce pas de côté symbolique pour observer autrement la « maison » quantique, pour m'assurer que ce n'est pas une simple façade ou un décor, permet de revenir à une compréhension équilibrée du réalisme comme présupposition et horizon de toute théorie scientifique. Mais il n'est qu'un auxiliaire qui ne nous dispense pas de mettre la main dans le cambouis pour comprendre des concepts subtils comme les inégalités de Bell et la démonstration du théorème de Bell.
- Au trois questions majeures posées, selon Bricmont, par la physique quantique (sur le rôle de l'observateur, le déterminisme et la non-localité), j'ajoute une question symbolique : Sommes-nous contraints à faire évoluer le langage de la discussion critique pour progresser dans la compréhension du langage formel ? L'appareil symbolique n'est soumis ni à une forme de déterminisme (ou d'indéterminisme) ni à la non-localité et il n'est pas au centre de la description quantique du monde. Il en est au contraire « dispensé », exprimant les trois libertés du physicien : théorique, expérimentale et critique, au cours du processus de l'action scientifique (PAS) décrit en [annexe](#).
- Selon le modèle de la coupure épistémique matière/symbole, la connaissance scientifique est un appareil symbolique qui comprend des théories, des modèles mais aussi l'appareil physique expérimental dont la fonction est de pouvoir se confronter de manière dynamique à une réalité physique pour en saisir certaines structures. Elle résulte d'un ajustement de contraintes réciproques entre le système physique étudié et le système symbolique/physique utilisé pour étudier le premier. L'importance de cet ajustement dépend évidemment de la situation physique étudiée : il est quasiment nul pour la galaxie d'Andromède, crucial pour notre écosystème, subtil pour une paire de photons intriqués en laboratoire.
- Le dualisme de la réalité et de la connaissance de la réalité sous formes de lois physiques s'efface devant un processus symbolique long qui est celui de l'action scientifique, celui d'interactions répétées, cycliques entre deux types de systèmes bien réels, des systèmes physiques et des systèmes symboliques.
- Ainsi, la coupure épistémique entre la matière et les symboles n'est pas un dualisme mais un outil symbolique permettant d'extraire ce qui est proprement symbolique dans les interactions dynamiques avec la réalité physique. Elle permet de se brancher (aux étapes 1 et 3) ou de débrancher (aux étapes 0 et 4) avec celle-ci selon ce qui est visé à un moment du processus de

l'action scientifique.

- Le triangle théorie-modèle-réalité recoupe le triangle sémiotique de Peirce (signe, interprétant, objet référent). Je l'ai introduit tout au début de cet essai pour poser la question du réalisme en physique, dans ses différentes branches pour montrer l'absence d'un modèle cohérent de la physique quantique standard qui a eu pour effet d'estomper, voire d'effacer le troisième sommet du triangle, qui est la visée référentielle de tout signe bien formé, son ancrage dans le réel. Il en est résulté une crise du symbolisme en physique, de son vocabulaire et de la nature de ses lois (qu'est-ce qu'une théorie ?), qui s'inscrit dans la crise des symbolismes au vingtième siècle dans le domaine de l'art (qu'est-ce qu'une œuvre ?) et dans d'autres sciences comme la biologie et les neurosciences s'inquiétant de la mécanisation de l'esprit (qu'est-ce qu'un cerveau ?).
- Nous pouvons nous forger une « intuition éduquée » de certains concepts comme la superposition des états d'une particule en partant de l'expérience ordinaire des ondes (deux ondes concentriques sur un étang) et en réalisant une forme de synthèse comme la théorie de De Broglie-Bohm qui associe la particule avec son onde-pilote. L'écoute d'une mélodie par un mélomane ou l'intuition du temps d'Einstein nourrie par ses expériences de pensée et le symbolisme de l'espace-temps.
- La physique quantique, comme toute théorie scientifique, ne peut se réduire à une connaissance de notre connaissance sans perte de cohérence, si ce n'est de manière secondaire au moment de la discussion critique de la pertinence du langage utilisé pour rendre compte des résultats expérimentaux ([Etape 4 du PAS](#)).
- La non-localité quantique (instantanée et constante quelque soit la distance) est une révolution scientifique relativement récente mais il ne faudrait pas qu'elle devienne une nouvelle orthodoxie. Elle démontre une fois de plus que la pensée scientifique a pulvérisé le questionnement philosophique, surtout depuis que Darwin a mis fin à l'idée d'une pensée pure, atemporelle, sans évolution qui aurait été initiée par Platon(du moins dans notre tradition culturelle). Mais cette non-localité ne se manifeste que dans des conditions expérimentales particulières et seulement de manière statistique, ce qui nous permet d'éviter le pire comme sa préemption par les pseudosciences. Elle pose des problèmes non résolus d'interprétation, par exemple sur le travail du physicien qui reste local, ou de cohérence avec la théorie de la relativité que Bricmont a bien mis en évidence.
- La théorie réaliste, déterministe, non-locale et sans observateurs de De Broglie, dont je suis l'exposé par Bricmont sans émettre de critiques internes dont je suis bien incapable pose néanmoins un problème particulier qui vient du fait que la « complétion rationnelle », qu'elle apporte au formalisme standard, ne produit pas le soulagement attendu et soulève de nouvelles perplexités comme le rapport de la théorie à la pratique ou de l'importance relative des actions non-locales, et en réveille d'anciennes comme le déterminisme métaphysique.
- La prédictibilité et la complétude rationnelle sont les critères indissociables d'une théorie physique réaliste. La prédictibilité est un critère clair, sans appel : pas de théorie sans elle, qui résonne avec la conscience élémentaire : anticiper la présence d'un prédateur, prédire le passage d'une proie. En revanche la complétude rationnelle n'est pas claire pour tout le monde Elle était sans doute évidente pour la conscience symbolique d'Einstein soucieuse de simplicité, mais pas pour celle de Feynman (calculez, il n'y a rien à voir !). Il est en tout cas clair pour moi qu'il existe une continuité entre les formes de conscience et que la recherche de la vérité de notre conscience symbolique est ancrée dans la conscience phénoménale élémentaire qui produit des scènes cohérentes. La complétude rationnelle est peut-être un peu de cela : produire une scène cohérente globale des phénomènes, la préoccupation d'une forme de conscience symbolique théorique

- La « philosophie de travail » du physicien n'est pas simplement un « réalisme rudimentaire » (Weinberg), un contact ou un combat rapproché avec la réalité physique mais un travail symbolique, que les thèses précédentes illustrent, magnifiquement illustré par Einstein avec ses expériences de pensée et ses « créations libres » comme le concept d'espace-temps.
- Les « lois de la nature » en tant que signes ou symboles complexes, réfèrent bien à la nature. Mais il serait incohérent de les confondre avec certaines structures de l'univers comme un signe iconique parfait, parfaitement transparent, parfait dévoilement, qui s'annulerait en tant que signe. Il serait aussi incohérent à l'opposé, de penser que les signes scientifiques, patiemment construits, ne nous disent rien, ne réfèrent à rien si ce n'est aux opérations mentales pour les construire. Il faut avancer dans un entre-deux qui défie encore l'imagination.
- Un physicien sait par son expérience et sa pratique de physicien que les concepts polaires les plus imposants qui forment l'armature des théories physiques comme le déterminisme ou l'indéterminisme, la localité ou la non-localité *n'épuisent pas* le réel. Au moment où il exerce son métier, il se tient hors de la portée de ces concepts. Il fait des « choix initiaux non contraints » selon l'expression de Gerald t'Hooft. C'est une intuition irrépressible semblable à celle qui animait Einstein en refusant d'identifier le réel à la certitude des propositions mathématiques.
- Si la physique n'a pas besoin d'autre philosophie que celle qui vient d'être nommée pour résoudre ses problèmes, le questionnement philosophique, mis à part celui qui touche à la morale ou au sentiment d'exister peut-être, ne peut se libérer qu'au moyen de réponses scientifiques.
- Le hasard n'explique le libre arbitre pas plus que le déterminisme (qu'il soit local ou non local) ne le réfute. Le libre arbitre, comme le réalisme, est une présupposition de toute pensée rationnelle et scientifique. Imparfait, lacunaire, il évolue pourtant à mesure que l'univers symbolique s'enrichit. Le libre arbitre du physicien s'exerce et s'éprouve dans ses trois libertés : théorique, expérimentale et critique.
- Les thèses et réflexions que je viens d'énoncer sont en fin de compte assez banales, mais comme l'expérience des deux boîtes d'Einstein, il a fallu un effort symbolique intense de simplification pour s'en aviser.
- A titre d'exemple, Gérard Gremaud a initié un réseau symbolique inédit qui relie sa théorie du réseau cosmologique à tous les domaines de la physique aux moyen de « ponts unificateurs » entre leurs formalismes et le sien, en partant d'un modèle intuitif, celui d'un réseau solide élastique et de ses déformations, en cherchant à « parfaire » les analogies pressenties entre le comportement de ce solide et les phénomènes physiques à toutes les échelles, du domaine quantique au domaine cosmologique, que le modèle embrasse. Ce réseau symbolique n'est évidemment pas thématiqué comme tel par le physicien, il apparaît seulement quand on le plonge dans le réseau symbolique plus large des échanges entre physiciens depuis la naissance de la physique et de la liberté qu'ils ont prise à l'égard du sens commun et des pensées dogmatiques - je pense à Galilée face au pouvoir religieux ou à Einstein face à « l'interdit de Copenhague ». Le besoin d'unité et de cohérence entre les phénomènes est aussi à chercher encore plus loin dans l'évolution culturelle de Sapiens et de sa conscience symbolique.

16 ANNEXE : LE MODÈLE DU PROCESSUS DE L'ACTION SCIENTIFIQUE

La lecture du livre de Jean Bricmont était l'occasion d'éprouver et de corriger le modèle du *Processus de l'action scientifique* (PAS) fondé sur l'interprétation de Von Neumann-Stapp (que Stapp appelle orthodoxe et qu'on prendra soin de ne pas confondre avec l'interprétation de Copenhague orthodoxe pour Bricmont). Cette annexe compile et corrige des extraits de mon essai : [Le concept scientifique du libre arbitre – Emergence et coévolution](#). On y trouvera donc certaines redondances avec ce que j'ai écrit dans cet essai.

Je rappelle que dans l'interprétation de Von Neumann-Stapp la « frontière de Heisenberg » entre les phénomènes microscopiques et macroscopiques n'existe plus (car trop imprécise) : tous les systèmes sont soumis aux lois quantiques. Elle est remplacée par une « frontière » entre le domaine physique qui comprend tous les systèmes macroscopiques y compris notre cerveau et le domaine mental des actions, des libres choix du physicien, théoriques, expérimentaux et critiques, qui ne sont pas déterminés par les lois physiques au sens où ce sont des « conditions initiales non contraintes » (Bell, 't Hooft) et que celles-ci engendrent des processus régis par une causalité particulière, la causalité symbolique qui vient s'engrener avec la causalité naturelle. Le « domaine mental » appartient à ce que Von Neumann appelle un « ego abstrait ». Cette division est analogue, sinon identique à celle de Howard Pattee : la coupure épistémique entre la matière et les symboles, qui ne peut être assimilée à un nouveau dualisme philosophique de la matière et de l'esprit mais plutôt comme un outil permettant de brancher ou de débrancher la matière aux symboles et inversement. Les brancher aux étapes 1 et 3, les débrancher aux étapes 0 et 4.

Le modèle du Processus de l'Action Scientifique apparaît comme un récit cyclique, une discussion ininterrompue entre les physiciens et la nature. Il repose sur trois hypothèses. La première que le physicien dispose du libre arbitre parce qu'il se tient en dehors des lois de la physique quantique comme « condition initiale non contrainte » (Bell, 't Hooft) sans s'y opposer. La deuxième qu'il n'a pas à prendre en compte une fonction d'onde qui serait associée au dispositif expérimental ou au physicien, ou encore au système qui les réunirait. La troisième qu'il accepte le principe d'une réduction de la fonction d'onde du système au moment de la mesure et l'interprète comme la réponse univoque de la nature (étape 3) à ses questions posées librement (étape 1) via le dispositif expérimental.

Mais nous devons pouvoir contester le principe de la réduction de la fonction d'onde et du rôle central de l'observateur pour les raisons développées par Jean Bricmont en considérant d'autres interprétations de la physique quantique comme la théorie De Broglie-Bohm (Bricmont), la théorie de l'effondrement spontané (Ghirardi, Rimini, Weber) ou du solipsisme convivial (Zwirn) qui montrent, au moins, que le débat n'est pas clos. Que devient alors le modèle PAS privé de son dialogue avec la nature ? Que devient le libre arbitre du physicien s'il est « soumis » à une fonction d'onde comme le dispositif expérimental et à toutes les intrications qui se produisent au moment des interactions avec le système censé être mesuré ?



16.1 LA LIBERTÉ THÉORIQUE : L'ÉTAPE 0 DE LA QUESTION QUE SE POSE LE PHYSICIEN

Au cours de la première phase de la création, d'émission d'hypothèses, de modèles, s'exprime la liberté théorique du physicien décrite par Henri Poincaré comme un essorage des possibles ou par Max Planck comme l'effet d'une « imagination créative et artistique ».

L'étape 0 est essentiellement symbolique. Elle détermine les conditions de sa confirmation ou de sa falsification, qui seront réalisées dans le dispositif expérimental (étape 1). C'est un cas emblématique de causalité symbolique au sens où la cause affecte la réalité d'une manière qui ne peut être expliquée en invoquant une causalité naturelle qui aurait produit ces hypothèses et ces modèles, ces artefacts aussi sophistiqués que les dispositifs expérimentaux (source de particules, accélérateurs, canaux, appareils de détection, etc.), et surtout l'enchaînement causal/symbolique des cycles décrit par le modèle PAS. La cause symbolique, ainsi, ne vient pas de nulle part mais et est ancrée dans l'enchaînement de tels cycles.

Von Neumann a introduit dans son modèle initial la notion d'ego abstrait, qui désigne l'*auteur* des théories et des modèles qui sont à l'origine du dispositif expérimental, qui n'est pas déterminé par les lois physiques mais appartient au monde mental, dispose d'une « force mentale ». Disons simplement, à titre provisoire, que l'ego abstrait est une émanation de l'ontologie particulière de la réalité sociale et culturelle (du monde 3 de Popper) au même titre que la « communauté scientifique » et ses « personnages conceptuels » indispensables.

Indiquons aussi pour engager la discussion du « cas Planck » et du « cas Einstein », deux personnages conceptuels incontournables de la physique, que sans un sujet libre, la science dans la forme que nous connaissons - une interrogation du réel et non une intuition ou une révélation ou encore une immersion, que sais-je ? - n'est pas possible. La science est un produit symbolique (du monde 3 au sens de Popper) détaché du monde 1 qui, tout en n'étant pas soumis à ses lois, peut néanmoins agir sur lui.

Planck et Einstein ne croyaient pas au libre arbitre, en tout cas sous sa forme absolue. Hanté par la causalité qui sera remise en cause après l'introduction des quanta en physique, Planck versera dans le mysticisme du « fiat causal » à la fin de sa vie. Einstein est un autre cas troublant. Celui-ci défendait deux idées qui semblent contradictoires : celle du déterminisme et celle de la création libre des

théories. Les convictions profondes d'Einstein sont en réalité un argument fort en faveur du libre arbitre au sens scientifique, et conforme à la logique profonde du processus de l'action scientifique.

16.2 LA LIBERTÉ EXPÉRIMENTALE : L'ÉTAPE 1 DE LA QUESTION POSÉE À LA NATURE

« La liberté d'expérimentation est le fait que lorsque j'établis les réglages (des instruments), cette action n'est pas déterminée depuis le début de l'univers » écrit John Bell qui poursuit : « si je renonce à cela, alors je n'ai plus de théorie. »¹³⁷. Dans les termes de Henry Stapp, L'expérimentateur *pose une question à la nature* à laquelle la nature répond au cours de l'étape 3.

Le prix Nobel de physique 1999 Gerard 't Hooft définit cette liberté de choix comme « la condition du choix initial non contraint »¹³⁸.

« Un observateur peut librement modifier les réglages d'un instrument de mesure, mais il n'a pas de capacité de contrôle de la phase de la fonction d'onde. » (Gerard 't Hooft, On the free-will postulate in quantum mechanics, 2007, p. 1)

“An observer has the free will to modify the setting of a measuring device but has no control over the phase of its wave function.” (Gerard 't Hooft, On the free-will postulate in quantum mechanics, 2007, p. 1)

« Pourquoi devrions-nous introduire le libre arbitre en fin de compte ? Pourquoi est-il aussi important ? Et pourtant, nous avons besoin d'une supposition de cette nature pour formuler des théories réalistes. Sans elle nous ne pouvons construire aucun modèle physique du tout. (Gerard 't Hooft, On the free-will postulate in quantum mechanics, 2007, p. 4)¹³⁹

Le grand cosmologiste Georges F. R. Ellis lie la question du déterminisme à celle du réductionnisme qui a pour effet de réduire la liberté théorique et expérimentale et celle de la raison de produire des connaissances scientifiques :

« Le réductionnisme total qui nie le libre arbitre, nie aussi la capacité de la raison d'arriver logiquement à une conclusion valide, et sape ainsi la science elle-même. » (George F. R. Ellis, On the Nature of Emergent Reality, 2003, p. 15)¹⁴⁰

C'est aussi le point de vue de Thomas Brody (1993), qu'il tire de sa critique de la non-localité énoncée dans le « théorème de Bell » et confirmée par les expériences d'Alain Aspect (1980-1982).

¹³⁷ « Free experimentation is the fact that when I am arranging the setups, this action is not determined from the beginning of the world. ». « When I turn one of these polarizers, I assume that I can consider the same hidden variables in the turned position or in the unturned position. But if my choice was itself determined by the hidden variables, the argument would fail at that point. So, I have assumed that there is something outside my field which is quite free, which is not dictated by the parameters, the variables in the theory. Now, it is a fact that if I give that up I have no theory. ».

¹³⁸ Gerard 't Hooft, *On The Free-Will Postulate in Quantum Mechanics*, 2007, <https://arxiv.org/pdf/quant-ph/0701097.pdf>.

¹³⁹ « Why would one want to introduce 'free will' at all? What is so important about it? Indeed, an assumption of this nature is needed to formulate realistic theories. Without it one cannot build any model of physics at all! »

¹⁴⁰ « Total reductionism that denies free will also denies the ability to reason logically and arrive at a valid conclusion, and so undermines science itself. »

« Disqualifier les variables cachées rend impossible le développement de théories qui vont au-delà de la mécanique quantique. Eliminer la localité est encore plus grave : si l'univers est aussi fortement non-local, nous ne pouvons pas en isoler une partie, l'étudier de manière relativement indépendante du reste de l'univers, de telle sorte que l'entreprise scientifique aurait été montrée dépourvue de sens. » (Thomas Brody, The Philosophy Behind Physics, Springer-Verlag, 1993, p. 231)

Ces affirmations, somme toute de bon sens, d'un « physicien normalement constitué » (Alain Aspect¹⁴¹) tranchent avec la tradition du savant détaché de cette préoccupation secondaire pour le libre arbitre, et attaché à l'objectivité scientifique « sans sujet ».

En termes téléodynamiques et sémiodynamiques : l'expérimentateur ajuste certaines contraintes de son appareil de mesure (dirige par exemple un polariseur dans une certaine direction pour mesurer le spin des photons incidents qui traversent ou non le polariseur), sélectionne ainsi des événements possibles (des potentialités pour Stapp) de manière à recevoir une réponse intelligible et interprétable dans le système théorique (l'étape 0).

16.3 L'ÉTAPE 2 : L'ÉVOLUTION DU SYSTÈME

L'étape 2 décrit l'évolution du système physique, préparé au cours de l'étape 1, au moyen des équations d'une théorie comme l'évolution déterministe de la fonction d'onde dans le formalisme standard ou de l'onde pilote dans la théorie De Broglie-Bohm.

« Ce qui passe » au cours de l'étape 2, le « temps de vol » a fait l'objet d'âpres discussions parmi les physiciens. Alors que l'étape 1 peut être décrite facilement puisque le physicien a un contrôle direct sur ce qu'il fait et dispose d'un langage adapté pour décrire le dispositif (une source de particules préparées en laboratoire, des détecteurs, des écrans, etc.), l'étape 2 reste mystérieuse. Peut-on parler de particules en mouvement, de trajectoires ? Certains ont pu dire « il n'y a rien à voir. »

C'est à cette étape que la philosophie semble remonter le bout de son nez, après avoir été exclue de l'étape 0 de la théorisation puis de l'étape 4 de la discussion critique.

16.4 L'ÉTAPE 3 : LA RÉPONSE DE LA NATURE

Au moment où le système mesuré interagit avec l'appareil de détection, *la nature donne sa réponse* à la question expérimentale en *choisissant* un des événements possibles définis par le système expérimental (étape 1). La « réponse de la nature » peut être comprise comme une réduction des degrés de liberté que l'étape 1 avait mis en place (une distribution aléatoire mais équidistribuée de la polarisation de la paire de photons émise par exemple). C'est une réponse « oui » ou « non », enregistrée par un des deux détecteurs placés derrière chacun des deux polariseurs (par exemple dans les expériences d'Aspect décrites en CSLA, 8.6.2).

Si la direction du polariseur est parallèle à la direction de spin du photon (on imagine un photon polarisé verticalement passant par la fente verticale du polariseur), celui-ci passe à coup sûr. Si le polariseur est perpendiculaire, il ne passe pas (fente horizontale). Si le polariseur est dans une direction intermédiaire, il passe avec une certaine probabilité. Pour fonctionner correctement, la réponse de la nature aux expériences ne doit pas être biaisée ou induite (« soufflée ») par celles-ci. Et réciproquement la question posée ne peut pas être dirigée secrètement par les lois physiques (une forme de conspiration cosmique, rappelons-nous). Une certaine indépendance entre la question et la

¹⁴¹ Alain Aspect, [Les tests et effets de la physique quantique](#).

réponse est nécessaire comme celle que nous observons entre la syntaxe et la sémantique d'une langue.

En termes téléodynamiques et sémiodynamiques, le système mesuré répond aux contraintes du système expérimental auquel il est couplé, et sa réponse va alimenter la discussion critique (l'étape 4) de manière à ajuster les contraintes (ou en supprimer, en ajouter) du système théorique, voire le falsifier si les résultats sont négatifs, entraînant un nouveau cycle : théorie-expérience-évolution-réponse-discussion-théorie, etc.

16.5 LA LIBERTÉ CRITIQUE : L'ÉTAPE 4 DE LA LIBERTÉ CRITIQUE DU TRAITEMENT DES RÉPONSES ET DE LA VALIDATION INTERSUBJECTIVE

La raison scientifique à laquelle sont attachés 't Hooft, Ellis ou Brody est aussi une raison intersubjective. La liberté créative d'inventer des théories et des expériences est contrainte par les réponses que la nature apporte aux questions qui lui sont posées (étapes 2 et 3), mais également par l'encadrement que constitue la communauté scientifique et ses procédures d'interprétation des résultats et de validation.

Cette étape assure la continuité de la recherche scientifique, de la circulation entre le travail individuel et collectif, initie un nouveau cycle d'action question/réponse.

C'est cependant un processus critique libre au sens où il contredit les principes les mieux établis jusqu'au rapport même de l'homme à la réalité physique, comme ce fût le cas au moment de l'émergence de la physique quantique. Celle-ci a provoqué des débats nombreux dont le célèbre entre Bohr et Einstein, provoquant une crise de l'écriture de la science, de sa grammaire que je mentionne brièvement :

- La frontière entre le sujet et l'objet cesse d'être bien définie alors qu'elle l'était pour la physique classique. Un phénomène quantique n'est pas indépendant de « l'observation » mais le produit d'une interaction avec le dispositif expérimental. Le physicien n'est pas un simple spectateur mais un acteur du processus de mesure quantique : « La théorie quantique nous ramène, comme l'a dit Bohr, à la sagesse antique qui veut que, quand on cherche à introduire l'harmonie dans la vie, il ne faille jamais oublier que, dans la tragédie de l'existence, nous sommes à la fois acteurs et spectateurs. » (Werner Heisenberg, *Physique et philosophie*, 1958, Albin Michel, 1961, p. 55).
- La théorie quantique porte-t-elle, comme la physique classique, sur une réalité objective indépendante ou marque-t-elle une rupture radicale en se limitant à décrire la structure de nos expériences conscientes ? Le débat n'a pas été tranché par l'interprétation standard de Copenhague comme en témoignent d'autres interprétations.
- Le langage naturel joue un rôle essentiel dans la description des dispositifs expérimentaux et d'interprétation des résultats, complémentaire du langage formel utilisé pour décrire les mesures.

Bohr voulait aussi souligner les limites « conceptuelles » de notre langage naturel et des langages formels dérivés, qui pourraient être au moins repoussées si un langage plus puissant pouvait être développé avec l'aide la technologie par exemple. Ce langage pourrait-il alors réduire la rupture radicale défendue par l'interprétation standard ?

16.6 LE LANGAGE NATUREL ET LE SYMBOLISME COMME MILIEU CRITIQUE

Ce dernier point mérite qu'on s'y arrête. Le langage naturel reste le métalangage incontournable de la

physique. Sans préjuger de la vitesse de l'évolution culturelle de la conscience symbolique, nous aurons certainement encore longtemps besoin des concepts du langage ordinaire comme particule, onde, position, vitesse, temps, trajectoire, rotation, attraction, système, observateur, etc. pour décrire l'activité scientifique qui est macroscopique.

On peut certes observer des glissements conceptuels, par exemple du concept de propriété à celui d'observable¹⁴² ou le besoin décroissant de se faire des images réelles de « ce qui se passe » au cours de l'étape 2 (l'évolution du système entre le début et la fin du processus expérimental). Les positions varient et évoluent encore entre physiciens, sans toutefois nier le caractère indépassable du langage ordinaire, pour aboutir à l'idée d'une coévolution du langage naturel et des langages formels.

Bernard d'Espagnat souligne que la physique classique a séparé la représentation (mathématique) et l'expérience en se libérant du langage ordinaire qui justement décrit l'expérience vécue. La physique quantique nous oblige à reconsidérer ce rapport en inventant et en mettant à l'épreuve de nouveaux concepts comme celui de « décohérence »¹⁴³ qui « rend compte de l'expérience vécue, autant macroscopique que microscopique. ». Il invoque à ce propos « l'axiome de Bohr » : le langage naturel complété par des mots techniques est le seul moyen de communiquer qui ne soit pas ambigu en raison de son universalité¹⁴⁴.

Werner Heisenberg pensait aussi que le langage scientifique doit rester un prolongement du langage naturel. Il explique, dans le chapitre *Langage et réalité en physique actuelle* de *Physique et philosophie*, pourquoi il n'y a plus véritablement de visée référentielle lorsque le langage (désormais fermé) de la physique a cessé de se nourrir des ambiguïtés nécessaires du langage ordinaire (ouvert) qui maintiennent le contact avec une réalité multiple : si le langage scientifique évolue, le langage ordinaire évolue lui aussi, moins rapidement mais plus sûrement pour maintenir le contact avec le réel, sur un mode quasi darwinien¹⁴⁵ ou dynamique d'ajustement de contraintes réciproques.

Enfin, selon Erwin Schrödinger, grâce à l'activité scientifique s'établit un « réseau discursif des légalités »¹⁴⁶ car on ne peut pas concevoir que le réseau des concepts ordinaires qui a été modifié de

¹⁴² En mécanique quantique on utilise le terme « observable » plutôt que le terme « propriété » qui renvoie au réalisme classique de « propriétés intrinsèques » indépendantes de tout contexte expérimental. Une « observable » est ce qui est mesuré à la suite d'une opération donnée (d'où le concept apparenté d'opérateur) comme, par analogie, les « observables » du caméléon sont la couleur de la feuille et la couleur du bois selon que le caméléon prend la couleur verte sur une feuille et brune sur le bois. On a ainsi affaire à des propriétés qui sont mieux définies comme des « kits d'instruction » indiquant ce qu'il faut faire en présence de l'appareil de mesure plutôt que comme des « éléments de réalité » indépendants, « à la Einstein », un « réalisme caméléon » en quelque sorte. (Luigi Accardi, Kentaro Imafuku, Massimo Regoli, *On the physical meaning of the EPR-chameleon experiment*, 2001). Le jeu conceptuel se complique encore avec Bell qui introduit le concept de « beable » (êtrable) afin que la théorie ne porte pas essentiellement sur la mesure.

¹⁴³ La décohérence est un phénomène invoqué par la physique quantique pour expliquer le passage du monde microscopique quantique au monde macroscopique classique, pour expliquer le franchissement de la « frontière de Heisenberg ». Lorsqu'un système atteint un certain nombre de particules (que nous ignorons), il perd ses propriétés quantiques comme l'intrication pour retrouver des propriétés classiques.

¹⁴⁴ Bernard d'Espagnat, *Traité de physique et de philosophie*, Fayard, 2002, p. 511, 297.

¹⁴⁵ Werner Heisenberg, *Physique et philosophie*, 1958, Albin Michel, 1961. p. 229. Pour l'idée que le formalisme « dissimule », voir page 27 et pour celle d'un langage « fermé », voir page 109.

¹⁴⁶ C'est le terme employé par Michel Bitbol (*Mécanique quantique, une introduction philosophique*, Champs Flammarion, 1996). La position de Schrödinger a évolué avec le temps. Pour Schrödinger des années 1925-1926, l'univers est peuplé uniquement d'ondes. En se superposant en grand nombre, ces ondes engendrent des régions d'interférence constructive de grande amplitude dont les lois du mouvement sont identiques à celle d'un corpuscule. C'est le concept de paquet d'onde (MQIP383). Schrödinger reste ainsi tributaire de l'ontologie corpusculaire puisque la nouvelle ontologie engendre des simulacres de l'ancienne. Puis

fond en comble par la mécanique quantique ne puisse avoir d'effets en retour profonds sur les concepts de la mécanique classique et donc du langage ordinaire. C'est un peu cette idée qui inspire les interprétations modernes de la mécanique quantique comme celle de Roland Omnès¹⁴⁷ : expliquer le niveau classique en utilisant des concepts quantiques.

Je dirai, pour en terminer avec cette épineuse question, que la liberté du jeu linguistique ne peut pas être « internalisée » (Girard) ou « mécanisée » comme un jeu formel de déductions à partir d'axiomes, fussent-ils pléthoriques.

Schrödinger cherchera à définir l'ontologie en partant uniquement du formalisme des vecteurs d'états. L'ontologie doit être réglée sur la légalité plutôt que sur la factualité (MQIP386) qui s'immisce au moment de la mesure. Pour une discussion plus serrée, voir aussi mon essai, [L'époque critique de l'écriture - Essai \(de philosophie hétérodoxe et exubérante\) sur la convergence réflexive](#), 11.5.2. *Schrödinger et le réseau discursif des légalités*.

¹⁴⁷ Roland Omnès, *Philosophie de la science contemporaine*, Gallimard, folio essais, 1994.

17 RÉFÉRENCES

- Philosophie de la physique, Dialogue à plusieurs voix autour de controverses contemporaines et classiques* entre Michel Bitbol, Pascal Engel, Bernard d'Espagnat, Paul Gochet, Léna Soler et Hervé Zwirn, l'Harmattan, 2006.
- Alain Aspect, *Présentation naïve des inégalités de Bell*, 2004. Disponible en [ligne](#).
- Francis Bailly, Giuseppe Longo, *Mathématiques et sciences de la nature. La singularité physique du vivant*, Hermann, Paris, 2006
- Gaston Bachelard, *Le nouvel esprit scientifique*, PUF, 1934.
- Julian Barbour, *The End of Time*, Phoenix, 1999.
- John Stewart Bell, *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*, Collected Papers on Quantum Philosophy, University Press, 1987, 2^e édition, Cambridge University Press, 2016.
- Michel Bitbol, *Mécanique quantique, une introduction philosophique*, Champs Flammarion, 1996.
- Michel Bitbol, *L'aveuglante proximité du réel*, Champs Flammarion, 1998.
- Jean Bricmont, [Contre la philosophie de la mécanique quantique](#), (Communication au colloque *Faut-il promouvoir les échanges entre les sciences et la philosophie?* Louvain-la-Neuve, 24 et 25 mars 1994.
- Alan Sokal, Jean Bricmont, *Impostures intellectuelles*, Odile Jacob, 2^{ème} édition 1999.
- Jean Bricmont, *Making Sense of Quantum Mechanics*, Springer, 2016.
- Jean Bricmont, *Comprendre la physique quantique*, Odile Jacob, 2020.
- Jean Bricmont, [Cahier couleur](#), Compléments en ligne à Bricmont, 2020.
- Thomas Brody, *The Philosophy Behind Physics*, Springer-Verlag, 1993.
- Terrence Deacon, *The Symbolic Species, The co-evolution of language and Brain*, Norton& Company, 1997.
- Terrence Deacon, *The Symbolic Species, The co-evolution of language and Brain*, Norton& Company, 1997.
- Terrence Deacon, *Incomplete Nature*, Norton, 2012.
- Albert Dechambre, [Le concept scientifique du libre arbitre – Emergence et coévolution](#).
- Albert Dechambre, [De la biosémiose primaire à la liberté sémiotique - Emergence de la conscience symbolique](#).
- Daniel Dennett, *The Elbow Room, The Varieties of Free Will worth wanting* (1984), New Edition, A Bradford Book, MIT Press, 2015.
- Daniel Dennett, *Kinds of Minds, Towards an Understanding of Consciousness*, Weindenfeld & Nicholson, London, 1996, p. 88-111. Traduction française *La diversité des esprits, Une approche de la conscience*, par Alexandre Abensour, Hachette, 1998.
- Daniel Dennett, *From Bacteria to Bach and Back, The Evolution of Minds*, W. W. Norton and Company Ltd, 2017.
- Yves De Rop, *Relativité générale* (Syllabus pour le cours), Université de Liège, 2020, disponible en [ligne](#).
- Bernard d'Espagnat, *Traité de physique et de philosophie*, Fayard, 2002.

Albert Einstein, *La Géométrie et l'Expérience*, 1921, in *Albert Einstein, Physique, philosophie, politique*, Seuil Points sciences.

Einstein, Podolsky et Rosen, *Can quantum mechanical description of physical reality be considered complete?* Physical Review 47, 1935. L'article en anglais est disponible en [ligne](https://journals.openedition.org/bibnum/826) ou <https://journals.openedition.org/bibnum/826> (commentaire de Franck Laloë). Traduction française dans *Albert Einstein, Œuvres choisies, 1 Quanta*, Seuil CNRS, 1989, p. 224-230.

Albert Einstein et Léopold Infeld, *L'évolution des idées en physique*, 1938, Payot.

Albert Einstein, *Autobiographie scientifique*, in *Albert Einstein, Physique, philosophie et politique*, Seuil Points sciences.

Nicolas Gisin, *L'impensable hasard, Non-localité, téléportation et autres merveilles quantiques*, Odile Jacob, 2012.

Stephen Jay Gould, *Le renard et le hérisson, Pour réconcilier la science et les humanités*, Point sciences, 2003

Gérard Gremaud, *Et si l'Univers était un réseau et que nous en étions des singularités topologiques? Et si les seuls principes fondamentaux de l'Univers étaient les lois de Newton et de la thermodynamique?* 2020, version simplifiée et illustrée du livre: *Univers et Matière conjecturés comme un Réseau Tridimensionnel avec des Singularités Topologiques*. Disponible en ligne.

Werner Heisenberg, *Physique et philosophie*, 1958, Albin Michel, 1961.

Jean-Jacques Hublin, *Biologie de la culture, Paléanthropologie du genre Homo*, Leçon inaugurale au Collège de France le 8 octobre 2014, Fayard, 2017.

William James, *La volonté de croire*, Paris, Flammarion, 1916, p. 260-261.

Etienne Klein, *Petit voyage dans le monde des quanta*, Champs Flammarion, 2004.

Etienne Klein, Carlo Rovelli, *Un monde toujours plus quantique... in La nouvelle révolution quantique ... va changer le monde*, Pour la science, hors-série, mai-juin 2020.

Jean-Marc Lévy-Leblond, *Aux contraires, L'exercice de la pensée et la pratique de la science*, Gallimard, 1996.

William Marx, *Valéry et Einstein, ou le poème de la relativité* in : *Einstein au Collège de France* (en ligne). Paris : Collège de France, 2020.

Jacques Monod, *Le hasard et la nécessité*, Points sciences, 1970.

Roland Omnès, *Philosophie de la science contemporaine*, Gallimard, folio essais, 1994.

Marcel Otte, *L'audace de Sapiens*, Odile Jacob, 2016.

Wolfgang Pauli, *Physique moderne et philosophie* (1961), Albin Michel, 1999.

Roger Penrose, *The Road to Reality, A Complete Guide to the Laws of Universe*, Vintage Books, 2004

Henri Poincaré, *L'invention mathématique*, Bulletin de l'institut Général Psychologique, vol. 3, 1908, p. 135-148.

Karl Popper, *La quête inachevée*, Calmann-Lévy, 1981.

Carlo Rovelli, *Anaximandre de Milet ou la naissance de la pensée scientifique*, Dunod, 2015.

Erwin Schrödinger, *Science et humanisme, La physique de notre temps*, Desclée de Brouwer, 1954.

Henry Stapp, *Bell's Theorem Without Hidden Variables*, 2001 (<https://arxiv.org/pdf/quant-ph/0010047.pdf>).

Henry Stapp, *Mind, Matter and Quantum Mechanics*, Springer, 2009.

Gerard 't Hooft, *On The Free-Will Postulate in Quantum Mechanics*, 2007, <https://arxiv.org/pdf/quant-ph/0701097.pdf>.

Steven Weinberg, *Dreams of a Final Theory: The Search for the Fundamental Laws of nature*, Pantheon Books, 1993.

Hervé Zwirn, *L'observateur, un défi pour la physique quantique*, Pour la science, mars 2020.

Vidéo :

Arnaud Amblard, [Les boîtes d'Einstein - Les actions à distance en mécanique quantique](#)

Arnaud Amblard, [Vous ne comprenez rien à la mécanique quantique ? Essayez de Broglie-Bohm](#)

Alain Aspect, [Les tests et effets de la physique quantique](#)

Jean Bricmont, [Mystère quantique : la superposition et la non localité](#)

Jean Bricmont, [La théorie de Broglie-Bohm](#)

Etienne Klein, [Quelle est la nature des lois de la nature ?](#), 2019.

Table des matières

1.1	Plan	2
2	Introduction	4
2.1	La coupure épistémique	4
2.2	La question symbolique – L'appareil symbolique	5
2.3	Le triangle théorie, modèle et réalité	5
2.4	Les dualismes s'effacent en simples divisions symboliques – La conscience symbolique	8
3	Le contexte	10
3.1.1	« Contre la philosophie »	10
3.2	L'étrangeté quantique et l'évolution culturelle	11
3.2.1	La question du réalisme comme principe métathéorique à la source de toute connaissance scientifique	11
3.2.2	Une complémentarité exclusive – les perplexités sémantiques	13
3.2.3	L'intuition éduquée	14
3.3	L'interprétation de Copenhague vs l'interprétation De Broglie-Bohm	14
4	Jean Bricmont et le libre arbitre – La troisième liberté	17
4.1	Ni hasard, ni déterminisme, simplement une volonté	17
4.2	Le déterminisme méthodologique	18
4.3	Remarque sur la position attribuée à Nicolas Gisin sur le libre arbitre	20
5	Le cadre théorique élargi de la physique quantique – Les deux premières libertés	22
5.1.1	Les trois questions majeures de la physique quantique	22
5.2	Le modèle EPR et le modèle des deux boîtes d'Einstein – Chercher le modèle le plus simple possible	22
5.2.1	Le modèle EPR	23
5.2.2	Le modèle des deux boîtes	23
5.3	La fonction d'onde et le problème de la mesure quantique – La crise du symbolisme en physique	24
5.4	Que signifie le fait d'associer une fonction d'onde à un système physique ? – Pourquoi la dualité de deux règles d'évolution de cette fonction d'onde ?	26
6	Une discussion philosophique sur le réalisme ne permet pas de comprendre la physique quantique	29
6.1	Le réalisme comme contact rapproché – la philosophie de travail du physicien : un réalisme rudimentaire (Weinberg)	29
6.1.1	La condition d'intersubjectivité	29
6.1.2	Solder la philosophie – Retour à un réalisme rudimentaire	30

6.2	Le réalisme scientifique : de la théorie à l'expérience, en premier lieu, et retour ensuite – Les théories sont des créations libres de l'esprit (Einstein)	31
6.2.1	C'est la théorie qui décide – Les créations libres de l'esprit (Einstein).....	31
6.3	Le réalisme et la physique quantique – Les énoncés solipsistes auto-réfutants	32
7	La théorie de De Broglie-Bohm est réaliste, déterministe, non locale et sans observateurs	34
7.1	La complétion rationnelle apportée par la théorie De Broglie-Bohm.....	34
7.2	Interprétation de l'expérience des fentes de Young dans la théorie De Broglie-Bohm.....	36
7.3	Interprétation des expériences de type EPR dans la théorie De Broglie-Bohm : mesure et « mesure », particule et « particule ».....	36
7.3.1	Mesure de position et « mesure » de spin.....	37
7.3.2	Mesure de la non-localité.....	38
7.4	La non-localité faible – Ce qui est non local dans les expériences réelles et ce qui ne l'est pas	38
7.5	Une théorie cohérente car elle s'applique en dehors des laboratoires	39
7.6	Prédictibilité et complétude rationnelle : signification anthropologique	40
8	La non-localité quantique radicale.....	41
8.1	La non-localité quantique et la théorie de la relativité	41
8.2	La non-localité et le déterminisme - Qu'est ce qui reste local ? - La liberté de l'expérimentateur	43
8.2.1	Les limites de la non-localité	43
8.2.2	La liberté de l'expérimentateur	45
9	L'analogie anthropomorphique – Les inégalités de Bell	47
9.1	Voici donc l'analogie anthropomorphique	48
9.2	Les deux parties du théorème de Bell	50
9.3	Discussion sur la « réalisation » de l'analogie.....	50
10	Mais qu'est-ce qu'une théorie en physique ? – Retour à la question du réalisme comme fondement et à celle du symbolisme.....	52
10.1	« Libérer » la physique de solutions philosophiques sans négliger la force de l'inspiration réciproque	53
10.2	L'interprétation en termes de mondes multiples – Les excès de la mathématisation du réel - Tout à l'opposé de l'esprit d'Einstein.....	55
11	L'épistémologie française contemporaine – Les avatars de l'antiréalisme.....	57
11.1	Bernard d'Espagnat, le réel voilé – Un résidu du kantisme ?	57
11.1.1	Les pièges de la métaphore du « réel voilé »	57
11.1.2	Une phénoménologie de contact pour la physique.....	58
11.2	Michel Bitbol, l'aveuglante proximité du réel – Une étrange inversion de pensée	58
11.2.1	L'expérience biologique et l'expérience physique du réel.....	59
11.2.2	Les structures de la connaissance vs structures du réel	59

11.2.3	Une étrange inversion de pensée	59
11.3	Etienne Klein – Se saisir du réel quantique	60
11.3.1	La crise de la représentation	61
11.4	Hervé Zwirn - Le solipsisme convivial	61
12	Gérard Gremaud – La théorie du réseau cosmologique	63
12.1.1	La théorie du réseau solide élastique cosmologique.....	64
12.1.2	Le réseau symbolique initié grâce au concept théorique de réseau cosmologique.....	65
12.2	L'interprétation de la théorie de la relativité selon la théorie du réseau cosmologique	66
12.2.1	Expansion volumique et champ de gravitation	66
12.2.2	L'évolution cosmologique	67
12.2.3	La courbure de l'espace-temps	67
12.2.4	Le temps propre des observateurs locaux et le temps absolu du Grand Observateur ..	68
12.2.5	L'analogie entre l'équation du champ de flexion du réseau et l'équation d'Einstein de la relativité générale $G = 8\pi T$ – Le concept innovant de « charge de courbure »	69
12.3	L'interprétation de la physique quantique selon la théorie du réseau cosmologique.....	70
12.3.1	La force de la métaphore « paquet d'onde » réduit la dualité onde-corpuscule.....	71
12.3.2	Résultats - Signification physique des pseudo-mystères quantiques	71
12.4	Des points encore obscurs concernant le réseau cosmologique	72
12.5	En conclusion et pour annoncer le chapitre suivant	73
12.5.1	De l'utilité du point de vue symbolique	74
12.5.2	GO, le Grand Observateur imaginaire et nous, pauvres Homo Sapiens	74
13	La nature des lois physiques : transcendante (législative) ou immanente (ontologique) par rapport à l'Univers ?	75
14	Conclusion : Libérer le questionnement philosophique - Pour une philosophie hétérodoxe créative de la physique quantique – Le réalisme scientifique - La liberté symbolique	77
14.1	Le cas Einstein : déterminisme et liberté symbolique.....	78
15	Résumé des principales thèses et réflexions de cet essai	81
16	Annexe : Le Modèle du Processus de l'action scientifique.....	84
16.1	La liberté théorique : L'étape 0 de la question que se pose le physicien	85
16.2	La liberté expérimentale : L'étape 1 de la question posée à la nature	86
16.3	L'étape 2 : L'évolution du système.....	87
16.4	L'étape 3 : La réponse de la nature	87
16.5	La liberté critique : l'étape 4 de la liberté critique du traitement des réponses et de la validation intersubjective	88
16.6	Le langage naturel et le symbolisme comme milieu critique	88
17	Références	91

