

Relations, Synthèses, et Arrière-Plans

Philosophie transcendantale et physique moderne

Michel Bitbol
CNRS, Paris

Archives de philosophie, 63, 595-620, 2000

Résumé : La philosophie transcendantale joue un rôle central aussi bien dans la découverte de nouvelles théories, au moment des grandes révolutions scientifiques, que dans la justification philosophique rétrospective de ces mutations. Si le potentiel novateur de la philosophie transcendantale n'a pas été apprécié à sa juste valeur, c'est qu'on s'en est tenu à son orientation fixiste initiale, instaurée par Kant, et à sa méthode de remontée vers des conditions de possibilité à partir d'un fait scientifique avéré (celui de la physique newtonienne). C'est ce statut limité d'éclairage rétrospectif qu'a permis de dépasser le néo-kantisme de l'école de Marbourg, en faisant passer la philosophie transcendantale du statut de doctrine arrêtée à celui d'instrument de pensée et d'action en développement continu. Des applications de cet instrument transcendantal à la physique moderne sont proposées.

Introduction

La méthode transcendantale occupe, au moins depuis la naissance de la science moderne de la nature au XVIIe siècle, une place essentielle mais négligée, et même parfois niée, en physique. Elle joue un rôle central aussi bien dans le contexte de la découverte, au moment créateur où s'amorcent les grandes révolutions scientifiques, que dans le contexte de la justification philosophique rétrospective de ces mutations. Mais ses utilisateurs lui ont conféré un statut implicite ou restrictif qui a retardé la reconnaissance de son omniprésence et de sa flexibilité.

D'un côté, les physiciens novateurs qui se sont servis d'une méthode transcendantale pour opérer un basculement des problématiques scientifiques l'ont rarement fait en connaissance de cause, et cela a permis aux générations suivantes de chercheurs, consolidatrices de «science normale», de l'oublier et d'en revenir spontanément à des modes ontologiques de pensée et d'expression. D'un autre côté, le philosophe transcendantal archétypal qu'est Kant a conféré à son

approche une orientation fixiste qui a occulté sa capacité à rendre raison des étapes post-galiléennes et post-newtoniennes de l'histoire de la physique. Le péché originel fondationnaliste de la philosophie transcendantale a conduit à minimiser les efforts d'adaptation d'épistémologues néo-kantiens aussi remarquables que Cassirer, dont le but affiché était d'aller «(...) au delà de Kant en (se) fondant sur les présuppositions kantiennes»¹. Il a eu pour effet de laisser croire, injustement, que ces efforts n'étaient qu'autant de combats d'arrière-garde destinés à sauver une thèse dépassée. Il a empêché d'apprécier à sa juste mesure le fait que l'oeuvre des philosophes néo-kantiens de l'école de Marbourg, loin de s'être limitée à un simple replâtrage architectonique, a abouti à faire passer la philosophie transcendantale du statut de doctrine arrêtée à celui d'instrument de pensée et d'action indéfiniment généralisable.

C'est de cet instrument que nous héritons, avec l'avantage d'un recul historique considérablement accru par rapport à ceux qui l'ont mis au point. Non seulement les révolutions relativiste et quantique ont près d'un siècle; mais en plus, on assiste aujourd'hui aux prémices polymorphes d'une nouvelle révolution dont le motif central est l'obtention d'un point de vue unificateur sur la théorie de la relativité générale et les théories quantiques des champs. L'ancienneté des révolutions relativiste et quantique permet de bénéficier d'un patient travail d'exploration de leurs conditions, et de repérage des limites qu'elles imposent (à travers les théorèmes de Bell, de Kochen et Specker, etc.) à tout essai éventuel de réélaborer une représentation de la nature compatible avec elles. L'esquisse d'une nouvelle révolution dans les sciences physiques (dont la forme la plus prometteuse est à l'heure actuelle la théorie des supercordes) fournit quant à elle l'occasion de tester l'outil de pensée transcendantal forgé en réponse aux précédents bouleversements.

Le but du présent article n'est cependant pas de mettre en oeuvre l'instrument de pensée transcendantal par une étude de cas approfondie; il est d'esquisser un tableau assez large de l'usage, des modes d'opération, et des traits distinctifs, de l'approche transcendantale en épistémologie des sciences physiques contemporaines. Je commencerai

¹ E. Cassirer, *La théorie de la relativité d'Einstein* (Trad. Fr. J. Seidengart), Cerf, 2000, p. 35

par décrire quelques solutions transcendantales plausibles à des problèmes classiques de philosophie des sciences. J'amorcerai ensuite une analyse transcendantale des processus heuristiques durant les phases de révolution scientifique. Je ferai enfin ressortir une caractéristique définitionnelle des épistémologies transcendantales: la désignation d'arrière-plans constitutifs traités, à un stade donné du développement des sciences, comme inconditionnés.

1-Le débat aporétique entre réalisme et empirisme en physique moderne

La philosophie transcendantale offre des stratégies efficaces pour résoudre des problèmes de philosophie des sciences qui ont été rendus quasi-insolubles par les termes admis de leur énoncé. J'aborderai ici en priorité la possibilité de sortir de l'alternative traditionnelle, mais toujours agissante, du réalisme et de l'empirisme, particulièrement en ce qui concerne leurs conceptions faussement opposées de la justification des théories physiques.

À quelques exceptions près, le débat sur l'interprétation de la mécanique quantique a été et reste dominé par une controverse entre réalistes et empiristes. L'affirmation de base des philosophes des sciences réalistes est que la mécanique quantique tend à décrire, soit de façon complète soit de façon incomplète, une réalité intelligible sous-tendant les phénomènes microscopiques. À l'inverse, les plus cohérents parmi les philosophes des sciences empiristes ont considéré la mécanique quantique comme un instrument purement formel permettant de répertorier les régularités statistiques de cette classe de phénomènes. Les physiciens se sont pour leur part contentés, ainsi que le signale B. d'Espagnat², d'une combinaison un peu baroque de fragments de discours ontologique et de professions de foi empiristes. Le problème est qu'après plusieurs décennies d'efforts collectifs, aucune de ces façons de concevoir la théorie quantique n'a atteint un stade de développement suffisant pour être perçue comme non-problématique, fut-ce par ses défenseurs les plus ardents.

²B. d'Espagnat, *Le réel voilé*, Fayard, 1994, préface.

En passant en revue les multiples interprétations réalistes de la mécanique quantique, il est facile de mettre en évidence les défauts majeurs qu'un critique empiriste ne peut manquer d'y relever. Le principal de ces défauts, nous allons le voir, réside dans l'incapacité fréquente des interprétations réalistes à remplir leur propre cahier des charges.

Se tournant d'abord vers les théories visant à se substituer à la mécanique quantique standard, afin de rétablir une représentation d'objets spatio-temporels se prêtant aisément à une interprétation réaliste, un philosophe empiriste a toutes les raisons de rester sceptique. La plus développée de ces théories dites «à variables cachées» (celle de Bohm), a en effet un double inconvénient. D'une part elle a tendance à s'éloigner de plus en plus de l'idéal descriptif classique, alors même que le rétablissement de cet idéal était sa motivation initiale³. D'autre part, elle reste non discriminable expérimentalement de la mécanique quantique standard⁴, ce qui rend arbitraire les éléments descriptifs qu'elle ajoute à cette dernière théorie.

Le philosophe empiriste peut ensuite se tourner vers les tentatives d'effectuer directement une lecture réaliste du formalisme de la mécanique quantique standard: l'interprétation «Many-Worlds», l'interprétation modale de la mécanique quantique dans la version réaliste formulée par D. Dieks⁵, ou encore l'interprétation de Ghirardi, Rimini, et Weber⁶, qui met en oeuvre un terme de réduction spontanée du paquet d'ondes ajouté à l'équation de Schrödinger. Mais il est alors en droit de remarquer qu'aucune d'entre elles n'a prouvé jusqu'à ce jour sa capacité à affronter dans ses propres termes (c'est-à-dire sans invoquer des principes régulateurs méta-théoriques) certaines difficultés spécifiques,

³ Voir M. Bitbol, *L'aveuglante proximité du réel*, Champs-Flammarion, 1998, §5-8

⁴ Voir cependant J. Cushing, *Quantum mechanics: Historical contingency and the Copenhagen hegemony*, The University of Chicago Press, 1994, pour une discussion des conséquences historiques de cette indétermination, et pour quelques arguments en faveur de la possibilité (à ce jour non démontrée) d'un test expérimental permettant de départager la théorie de Bohm et la mécanique quantique standard.

⁵ D. Dieks, «Modal interpretation of quantum mechanics, measurements, and macroscopic behaviour», *Physical Review*, A49, 2290-2300, 1994

⁶ Une bonne présentation de cette interprétation se trouve dans J.S. Bell, *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*, Cambridge University Press, 1987

comme le «problème de la base préférée»⁷. Le problème de la base préférée s'énonce, rappelons-le, de la façon suivante: comment justifier le choix des bases de vecteurs propres sur lesquelles les vecteurs d'état sont décomposés sans faire appel à des considérations qui sortent du formalisme quantique *stricto sensu* (sans mettre par exemple en oeuvre le *principe de correspondance* de Bohr)? Si le formalisme quantique ne suffit pas à fixer par lui-même l'élément capital de son fonctionnement qu'est une base de vecteurs propres, il devient évident qu'il n'est pas la description raisonnablement exhaustive de la réalité que certains voient en lui. Il est vrai que les théories de la décohérence, ont fourni récemment des solutions plausibles à certaines difficultés des interprétations réalistes précédentes, y compris le problème de la base préférée. Les empiristes peuvent cependant objecter que les théories de la décohérence sont conditionnées par des postulats à contenu épistémique ou anthropocentrique⁸ souvent mal explicités, qui les rendent elles-mêmes peu susceptibles d'une lecture réaliste, aussi longtemps du moins qu'une stratégie complètement satisfaisante de «clôture du cercle épistémologique (du connaissant et du connu)»⁹ n'a pas été présentée.

Les empiristes peuvent enfin émettre des doutes quant à l'intérêt d'un sauvetage de l'interprétation réaliste de la mécanique quantique par une approche utilisant la logique quantique. Cette approche consiste, on le sait, à ne voir entre la physique classique et la physique quantique qu'une différence d'ordre logico-algébrique. Comme les systèmes classiques, les systèmes quantiques seraient dotés de déterminations leur appartenant en propre (les «qualités physiques» de Birkhoff et Von Neumann)¹⁰; à ceci

⁷ Le problème de la base préférée est le suivant: comment justifier le choix des bases de vecteurs propres sur laquelle les vecteurs d'état sont décomposés sans faire appel à des considérations qui sortent du formalisme quantique *stricto sensu* (par exemple le principe de correspondance de Bohr)? Si le formalisme quantique ne suffit pas à fixer par lui-même l'élément capital de son fonctionnement qu'est une base de vecteurs propres, il devient évident qu'il n'est pas la description raisonnablement exhaustive de la réalité que certains voient en lui.

⁸ S. Saunders, «Decoherence, relative states, and evolutionary adaptation», *Foundations of physics*, 23, 1553-1585, 1993; S. Saunders, «Time and quantum mechanics», in: M. Bitbol & E. Ruhnau, *Now, time and quantum mechanics*, Editions Frontières, 1994

⁹ La «clôture du cercle épistémologique» consisterait en une théorie englobante dont l'objet serait le rapport épistémique entre le connaissant et le connu. A. Shimony, *Search for a naturalistic world view*, vol. I, Cambridge University Press, 1993; see also Gell-Mann's IGUS concept, in: M. Gell-Mann & J.B. Hartle (1993), «Classical equations for quantum systems», *Physical Review*, **D47**, 3345-3382

¹⁰ Voir M. Bitbol, *Mécanique quantique, une introduction philosophique*, Champs-Flammarion, 1997, §4-4-1

près que les propriétés d'un système classique forment une algèbre booléenne, tandis que les propriétés d'un système quantique ne peuvent être inscrites que dans une algèbre plus pauvre, non-booléenne, appelée un «treillis orthocomplémenté». L'insistance de Bohr sur la contextualité des phénomènes, son refus d'assimiler les phénomènes à un simple reflet de propriétés microscopiques pré-existantes, ne serait donc, selon les partisans de la stratégie réaliste de la logique quantique, qu'une réponse contournée d'ordre épistémologique à la particularité algébrique, selon eux ontologique, du réseau des déterminations.

Comme l'écrit par exemple J. Bub, «Le rejet de l'«idéal de l'observateur détaché» est la réponse copenhaguienne à la non-booléanité»¹¹. Mais rien n'empêche que ce soit le contraire; rien n'empêche que la structure de treillis orthocomplémenté soit seulement une réponse réaliste contournée à la relativité des déterminations à des contextes instrumentaux parfois incompatibles. La remarquable simplicité de l'itinéraire qui conduit de la contextualité à la structure non-booléenne, comparée à la complexité et aux éléments d'arbitraire de l'itinéraire inverse, doit normalement conduire (sauf inclination métaphysique irrésistible) à opter pour une approche contextualiste inspirée de Bohr plutôt que pour l'approche réaliste associée à la logique quantique.

On se rend compte de cette manière, en ayant fait le tour des principales interprétations réalistes disponibles de la mécanique quantique, que le réalisme scientifique standard ne parvient à y être rendu plus ou moins crédible qu'au prix de l'ajout d'«épicycles philosophiques» successifs qui s'avèrent soit insuffisants soit trop visiblement artificiels.

De l'autre côté, cependant, les insuffisances d'une philosophie des sciences strictement empiriste sont également criantes. On comprend aisément que les philosophes des sciences réalistes, et beaucoup de physiciens avec eux, soient très réticents à l'égard de la conception empiriste des théories physiques. À l'exception peut-être de l'empirisme constructif de Van Fraassen¹², celle-ci s'est en effet avérée inapte à

¹¹ J. Bub, *Interpreting the quantum world*, Cambridge University Press, 1997

¹² B. Van Fraassen, *Laws and symmetry*, Oxford University Press, 1985; *Lois et symétries*, (Trad. C. Chevalley), Vrin, 1995

intégrer le trait crucial du processus de recherche qu'est une perspective bien définie fournie par une représentation communément acceptée de son objet. Comme l'écrivait Kant, l'empirisme, en se contentant de critiquer les prétentions de la raison spéculative sans lui offrir de substitut, «(...) perd de vue le dommage réel qui résulte du fait d'ôter à la raison ses vues les plus importantes, d'après lesquelles, seules, il lui est possible de fixer à la volonté le but suprême de tous ses efforts»¹³.

Dans un ordre d'idées voisin, les philosophes des sciences réalistes ont quelque motif de réclamer une *explication* des remarquables succès des théories physiques, et de critiquer les empiristes purs et durs qui déclarent refuser d'en chercher une (parce que, selon ces derniers, ce succès étant la seule raison, *a posteriori*, pour laquelle une théorie a été retenue, il se trouve auto-expliqué). Contre ces empiristes purs et durs, les philosophes réalistes pourraient aligner des exemples de philosophes empiristes qui s'avouent finalement insatisfaits par leur fin de non-recevoir à la demande d'explication. Ainsi, Pierre Duhem, qui se faisait l'avocat d'une conception essentiellement empiriste et instrumentaliste des théories physiques, s'est finalement déclaré persuadé que «(...) plus (la théorie physique) se perfectionne, plus nous pressentons que l'ordre logique dans lequel elle range les lois expérimentales est le reflet d'un ordre ontologique»¹⁴. Quant à B. Van Fraassen, chef de file du courant néo-empiriste contemporain, il a concédé qu'il est tentant d'isoler, au terme de l'enquête scientifique, un résidu de questions factuelles non traitées par une théorie physique comme la mécanique quantique, pour la bonne raison que c'est le fait même de l'efficacité de cette théorie qui fait ici question. Or, n'est-ce pas justement cette lacune résiduelle qui fournit au philosophe des sciences réaliste l'occasion rêvée de proposer un ultime comblement par des «réalités abstraites, inobservables, ou modales»¹⁵?

C'est elle, en tout état de cause, qui a motivé la version particulièrement subtile de réalisme défendue par B. d'Espagnat (la thèse du «réel voilé»¹⁶). B. d'Espagnat est en effet simultanément, parmi les philosophes de la physique, l'un de ceux qui s'est le plus vigoureusement

¹³ I. Kant, *Prolégomènes à toute métaphysique future*, Vrin, 1968, p. 11

¹⁴ P. Duhem, *La théorie physique*, Vrin, 1989, p. 35

¹⁵ B. Van Fraassen, *Quantum mechanics, an empiricist view*, Oxford University Press, 1991

¹⁶ B. d'Espagnat, *Le réel voilé*, Fayard, 1994

opposé aux facilités des interprétations réalistes directes ou spéculatives du formalisme quantique, et celui qui a poussé le plus loin la tentative de recouvrir en termes réalistes le silence empiriste sur l'efficacité des théories physiques.

Il faut à présent se rendre compte que, sous couvert d'un désaccord irréductible, les défenseurs des conceptions réaliste et empiriste des théories physiques partagent un certain nombre de présupposés. Le premier d'entre eux est une ontologie sous-jacente; une ontologie d'objets pour le réaliste, et une ontologie de «faits» pré-donnés pour l'empiriste. Il est vrai que l'empirisme a beaucoup évolué depuis Hume, et que Van Fraassen n'hésite pas à substituer aux «faits» traditionnels des «modèles de données» conditionnés par une théorie physique. Mais derrière la reconnaissance, banale de nos jours, de la «charge théorique des faits», se dissimule l'idée d'un ultime donné, que le modèle issu de la théorie admise se contenterait de sélectionner et de structurer. Le second présupposé commun est une épistémologie latente représentationnaliste. La seule différence est que les réalistes considèrent toujours qu'obtenir la représentation fidèle d'une réalité pré-structurée est une visée légitime, tandis que les empiristes, tout en retenant le représentationnalisme comme norme, ont fait le deuil de sa réalisation, pour diverses raisons allant de la sous-détermination des théories par l'expérience à l'instabilité historique des ontologies d'objets scientifiques. Le troisième présupposé commun, corrélatif des deux précédents, consiste à croire qu'une véritable justification de la forme des théories physiques ne peut être qu'extérieure au processus même d'acquisition des connaissances. Dans un cas, le type admis de justification est l'approche, au moins asymptotique, de la structure du réel, et dans l'autre cas la justification d'une théorie se borne au constat de son adéquation à un ensemble toujours plus large de faits.

2-L'approche transcendantale en philosophie des sciences

Seule la philosophie transcendantale offre une véritable solution de rechange, puisque d'un côté elle ne retient aucun des trois présupposés précédents, et que de l'autre côté elle parvient à éviter les extrêmes du relativisme ou de l'idéalisme empirique dans lesquels tombent

habituellement ceux qui s'en font les critiques. On sait que Kant a conçu d'emblée son approche transcendantale comme un dépassement de l'alternative entre dogmatisme et empirisme; il s'est démarqué aussi bien du dogmatisme rationaliste qui tend à identifier les idées de la raison à des réalités absolues, que de l'empirisme sceptique qui défie le projet qu'entretient la raison d'obtenir quelque chose comme une connaissance objective. On sait moins de quelle manière, pour accomplir cette tâche de dépassement et la généraliser à toutes les étapes de l'histoire des sciences, des générations de penseurs après Kant sont allés jusqu'au bout du démontage des trois présupposés constitutifs du réalisme et de l'empirisme. Prenons-les dans l'ordre.

Après avoir persisté à travers le dualisme kantien de la forme (prescrite par l'entendement) et de la matière (donnée passivement à la sensibilité), le face-à-face de la structure théorique proposée et du fait imposé a laissé la place à une fusion progressive des termes opposés dans le processus même de la recherche. Cassirer s'est ainsi intéressé à la constitution des «faits» par la mesure, en particulier par le système de postulats de constance qu'elle suppose pour sa mise en oeuvre¹⁷. À la suite de bien d'autres philosophes comme K. Popper ou J. Habermas, J. Hintikka s'est quant à lui prévalu d'une démarche transcendantale bien comprise pour substituer au processus passif de la réception sensible le processus actif de la recherche comme vrai lieu de rencontre d'une actualité singulière¹⁸. Et plus récemment, I. Hacking a construit l'une des rares philosophies de l'expérimentation sur l'analyse de la *production* d'«effets» phénoménaux purs et isolés par le biais d'une stratégie instrumentale. Cela étant acquis, on ne peut plus se contenter de dire, comme le font les empiristes constructifs, que les faits sont interprétés et ordonnés dans le cadre d'une théorie (à travers les «modèles de données»). Il faut aller jusqu'à reconnaître qu'ils sont d'emblée constitués par la mise en application matérielle d'un projet d'investigation qui incarne les normes instaurées par la théorie en vigueur. Ou en d'autres termes qu'une théorie ne peut être confrontée qu'à des résistances qui émergent du sein d'une pratique guidée par elle, sans que l'on puisse en isoler exactement la part de l'extra-théorique. Comme l'a signalé Putnam, à l'issue d'une discussion

¹⁷ E. Cassirer, *La théorie de la relativité d'Einstein*, op. cit.

¹⁸ J. Hintikka, *La philosophie des mathématiques chez Kant*, P.U.F. 1996

d'esprit ouvertement néo-kantien, il peut bien être consubstantiel au travail scientifique de poser un clivage entre faits et théories; mais rien dans ce travail ou dans son produit ne peut permettre de situer le lieu d'un tel clivage.

Pour autant, cette critique très poussée du «fait» n'implique pas quelque variété sociale d'idéalisme, puisque la «résistance», dût-elle émerger d'une pratique collectivement structurée, n'est pas intégralement déterminée par elle. C'est ce que souligne par exemple A. Pickering¹⁹, qui soutient avec finesse l'idée de la «facticité des faits» tout en élaborant une critique systématique du constructivisme social qui l'a un moment séduit.

Pas davantage la reconnaissance de la relativité des faits à l'égard de la pratique structurée dans lesquels ils se manifestent, n'a pour conséquence obligatoire le relativisme. Car, il ne faut pas l'oublier, l'identification par le philosophe transcendantal des relativités descriptionnelles²⁰ qui conditionnent la connaissance s'inscrit chez lui dans un programme de synthèse toujours plus vaste qui est aux antipodes exactes du relativisme. En quelques mots, on pourrait dire que le relativiste et le philosophe transcendantal s'accordent sur le constat de la relativité des déterminations, mais se séparent dans l'utilisation de ce constat. Le premier insiste pour s'y tenir et tirer des irréductibles partialités identifiées une conclusion sceptique, tandis que le second s'en sert comme point de départ d'un projet de coordination aussi exhaustif que possible aboutissant à des formes de plus en plus accomplies d'objectivité. Le premier se prévaut des relativités descriptionnelles pour en inférer l'impossibilité d'accéder à d'hypothétiques déterminations absolues, mais le second définit une détermination comme point de convergence et de stabilité de classes réglées de descriptions relatives. En somme, le relativiste se borne à dénoncer les limites de la connaissance, alors que le philosophe transcendantal montre comment une connaissance se constitue par articulation réglée des limites.

L'écart de la philosophie transcendantale en évolution par rapport à une conception représentationnaliste de la connaissance, est au moins

¹⁹ A. Pickering, *The mangle of practice*, The University of Chicago Press, 1995

²⁰ Ce terme est emprunté à M. Mugur-Schächter (voir par exemple M. Mugur-Schächter, «Mécanique quantique, réel, et sens», in: M. Bitbol et S. Laugier, *Physique et réalité, un débat avec Bernard d'Espagnat*, Editions Frontières-Diderot, 1997

aussi grand. Le terme «représentation» est certes utilisé par Kant, en rapport avec l'intuition, la sensation, et la pensée. La connaissance est souvent définie chez lui comme relation d'une représentation à son objet. Mais l'acception délibérément non-transcendante du concept kantien d'objet éloigne déjà considérablement ce type de représentation de celle que rêve d'atteindre le philosophe des sciences réaliste. La distance s'accroît encore avec le néo-kantisme de l'école de Marbourg. Cassirer recommandait par exemple expressément de ne pas concevoir sujet et objet comme une paire d'entités intrinsèquement distinctes, ce qui seul permettrait de prendre à la lettre «picturale» l'idée d'une représentation de l'un par l'autre, mais de se contenter de distinguer méthodologiquement entre une *fonction* d'objectivation (la formation d'invariants) et une *fonction* de subjectivation (la mise à part du résidu non-invariant)²¹. Pour lui, il était clair dès l'avènement de la science galiléo-newtonienne que «(...) la puissance de la raison humaine n'est pas de rompre les limites du monde de l'expérience pour nous ménager une issue vers la transcendance, mais de nous apprendre à parcourir en toute sûreté ce monde empirique, à l'habiter commodément»²². Une sûreté et une commodité qui exigent de se donner des règles d'action permettant d'isoler (fonctionnellement si ce n'est substantiellement) un noyau de permanence, de reproductibilité, et de prédictibilité générique, à partir du flux héraclitéen des occurrences singulières. La conception de la connaissance qui s'en dégagait était clairement immanentiste et non-représentationnaliste. De plus en plus, le point d'appui de la connaissance était déplacé des foyers de la coordination des relativités descriptionnelles (les invariants ou les objets) vers la fonction même de coordination²³. De l'obnubilation à l'égard de l'objet, concept unifiant des perceptions secondairement réifié, on passait à un intérêt méthodologique pour l'activité même d'unification.

On aperçoit pleinement, dans le domaine de validité de la mécanique quantique, l'intérêt de cette vision alternative de la connaissance, de ce basculement de priorité de l'unité résultante vers l'opération d'unification. L'un des plus grands sujets de perplexité que suscite le

²¹ E. Cassirer, H. Cohen, & P. Natorp, *L'école de Marbourg*, Cerf, 1998, p. 247

²² E. Cassirer, *La philosophie des lumières*, Agora, 1986, p. 52

²³ E. Cassirer, *La théorie de la relativité d'Einstein*, op. cit. p. 44, 60

domaine microscopique d'investigation est en effet que l'insuffisance de régularité et de continuité propre aux séquences de phénomènes s'oppose à leur synthèse *dans l'espace et dans le temps* suivant les normes kantienne d'une connaissance objective. Sauf à recourir au concept d'un arrière-monde de processus princiellement inaccessibles à l'expérimentation, ces normes ne peuvent être mises en oeuvre qu'à condition d'en transporter le lieu d'application dans d'autres espaces, comme les espaces de Hilbert ou les espaces de Fock. Mais, à la différence de l'invariant dans l'espace-temps ordinaire, l'invariant dans un tel espace abstrait est immédiatement reconnu comme ce qu'il est: un outil formel, plutôt qu'un équivalent lointain de la «chose» de l'attitude naturelle. L'ancrage concret de la connaissance ne s'identifie donc plus tant à l'invariant, qu'au groupe même des transformations dont il est l'invariant. Le point focal de la représentation est ici presque dissout (car purement structural), et il s'efface en faveur du système réglé des opérations qui convergent vers lui.

L'idée d'une justification extrinsèque de la forme des théories physique est enfin parfaitement étrangère à la philosophie transcendantale. Il n'y est pas question, comme dans le réalisme et l'empirisme, d'une procession plaçant au sommet les choses ou les faits du monde, un peu plus bas une théorie imitative ou adaptative qui leur serait subordonnée, et plus bas encore des pratiques technologiques conformes aux prescriptions fixées par la théorie. À la place de cette descente hiérarchique et passive, la philosophie transcendantale aperçoit dans les sciences physiques un cercle de co-dépendance active dans lequel: (1) les pratiques technico-expérimentales sont à la fois guidées par la théorie et contraintes par des résistances émergeant de leur propre mise en oeuvre; (2) les théories traduisent, par leur discipline de manipulation symbolique, les disciplines procédurales d'une pratique technico-expérimentale stabilisée; (3) les conceptions admises des lois et des objets naturels sont issues d'une projection sur la nature de la forme des théories, et elles contribuent en retour à guider les pratiques technico-expérimentales.

Il semble, il est vrai, qu'une partie de cette boucle de rétro-action soit commune à l'approche transcendantale et à l'empirisme constructif de Van Fraassen. C'est le cas en particulier du rôle de guide pour la

recherche qui est attribué, dans l'empirisme constructif comme en philosophie transcendantale, au modèle de lois et d'objets associé à la théorie. Dans l'approche transcendantale, cependant, cette fonction étant en partie *constitutive*, elle occupe une position beaucoup plus centrale que dans l'empirisme constructif, où elle est seulement *facilitatrice*. Chez Kant, on le sait, certains principes régulateurs jouent aussi un rôle dans la constitution d'objectivité. Ce sont les *analogies de l'expérience*, qui, tout en offrant une *règle* pour chercher un phénomène en s'appuyant sur son rapport avec d'autres phénomènes, sont en même temps *constitutives* d'une connaissance objective. De même, selon la lecture néo-kantienne de la science moderne, les éléments, souvent réifiés, d'un modèle aux qualités heuristiques reconnues, opèrent en vérité comme simples substituts symboliques d'un groupe de transformations assurant une constitution d'objectivité.

Le point à partir duquel empiristes constructifs et philosophes transcendantsaux divergent sur la justification des théories physiques, devient à partir de là évident. À l'instar du réaliste scientifique, l'empiriste constructif accorde toute la priorité épistémologique aux modèles, même si, à la différence du réaliste, l'empiriste constructif insiste plus sur la sous-détermination que sur la vérisimilitude d'un modèle, et l'appuie plutôt sur des raisons pragmatiques de *ne pas l'abandonner* une fois qu'il a été adopté, que sur des raisons épistémiques d'y *croire*. Mais à la différence de l'empiriste constructif et du réaliste scientifique, le philosophe transcendantal est porté à s'intéresser davantage aux structures générales (en particulier celles de groupes) qui sous-tendent une pluralité de modèles, qu'aux modèles eux-mêmes. Ce sont ces structures qui sont la trace de la constitution d'objectivité, et ce sont donc elles qu'il s'agit de justifier, plutôt que les modèles qui parviennent à ordonner leurs invariants en un (ou plusieurs) scénario(s) plausible(s). La justification, à son tour, ne prend pas la forme d'une correspondance ou d'une adéquation des modèles à des éléments extérieurs, mais celle d'une démonstration que les structures sont bien des conditions de possibilité d'un moment de la connaissance objective.

C'est dans cet esprit que j'ai essayé de fournir une justification transcendantale de la physique quantique²⁴; et, dans la physique quantique, non pas de tel ou tel de ses modèles, mais du squelette formel de sa théorie-cadre. La justification s'effectue en bref comme suit.

On montre d'abord que l'armature formelle de la mécanique quantique (son algèbre non-booléenne de propositions, et son formalisme, qui allie des espaces vectoriels de Hilbert avec la règle de Born permettant le calcul des probabilités), est la structure prédictive la plus simple possible répondant à deux conditions très générales:

(1) l'une est que les prédictions de cette théorie doivent concerner des phénomènes *contextuels*;

(2) l'autre est qu'à *chaque préparation expérimentale* doit correspondre un outil de prédiction probabiliste *unifié*, valant pour n'importe quelle opération de mesure (et pour n'importe quel contexte instrumental associé) qui pourrait suivre la préparation.

Or, que représentent justement ces deux conditions, si ce n'est les deux temps les plus fondamentaux de n'importe quelle procédure de constitution d'objectivité? Le premier temps consiste à reconnaître que les déterminations ne sont pas intrinsèques aux objets mais *relatives* à la procédure épistémico-instrumentale qui permet d'y avoir accès. Et le second temps consiste à surmonter la relativité identifiée lors du premier temps par un moment de *synthèse*. Dans le cas de la mécanique quantique, la synthèse aboutit soit à un invariant dans l'espace de Hilbert, propre à chaque préparation (autrement dit un vecteur d'état), soit directement à un groupe de transformation de Dirac entre opérateurs (ou «observables») associés aux diverses mesures pouvant suivre une préparation. La seule particularité de la mécanique quantique (qui explique pour une bonne part son «étrangeté») est que l'invariant résultant de la synthèse n'est ni un objet spatio-temporel ni une loi portant directement sur l'évolution d'objets spatio-temporels, mais un symbole prédictif évoluant dans un espace abstrait, et fournissant des probabilités pour des phénomènes qui peuvent, eux, se manifester dans l'espace-temps.

²⁴ M. Bitbol, *Mécanique quantique, une introduction philosophique*, op. cit.; M. Bitbol, «Some steps towards a transcendental deduction of quantum mechanics», *Philosophia Naturalis*, 35, 253-280, 1998

On s'aperçoit ensuite qu'un autre élément de la théorie-cadre de la mécanique quantique susceptible d'être justifié transcendentalement est son (ou ses) équation(s) d'évolution. Dans un premier temps, on montre, en s'appuyant sur des résultats disponibles dans la littérature²⁵, que la forme commune à l'équation de Schrödinger et à l'équation de Dirac est dérivable sous un ensemble d'hypothèses garantissant: (a) que les nombres calculés à l'aide de la règle de Born obéissent *constamment* aux axiomes de la théorie classique des probabilités, et (b) que l'opération 'produit' dote l'ensemble des opérateurs d'évolution d'une structure de semi-groupe commutatif à un paramètre «temps». Dans un second temps, une réflexion rapide suffit à se convaincre du statut transcendantal des deux séries d'hypothèses. La condition de stabilité temporelle des règles de calcul de probabilités à partir d'un vecteur d'état est une condition de possibilité triviale de l'élaboration de prédictions probabilistes à tout instant. La condition de semi-groupe, plus opaque, est cependant interprétable à la réflexion comme une manière de décliner la condition d'*unité* de l'outil prédictif selon les trois modes kantien de connection temporelle (c'est-à-dire la permanence, la succession, et la simultanéité)²⁶. Elle revient à transporter le lieu d'application des trois principes régulateurs qualifiés par Kant d'«analogies de l'expérience», de l'espace concret où surviennent les phénomènes, à l'espace abstrait où évolue la structure prédictive qu'est le vecteur d'état.

Ainsi voit-on comment une application renouvelée de la méthode transcendantale peut permettre de ne pas choisir entre la justification réaliste des théories physiques par leur tendance à l'isomorphisme avec une réalité extérieure pré-structurée, et le refus empiriste de les justifier au-delà de la circonstance brute (qu'elles partagent avec d'autres, étant sous-déterminées) de leur adéquation à l'expérience. On a justifié ici une structure théorique en montrant qu'elle recueille à la fois les contraintes propres à l'activité de recherche dont elle vise à prédire les résultats, et le projet de synthèse objectivante qui la régit.

3-Moments transcendantsaux dans le contexte de la découverte

²⁵ R.I.G. Hughes, *The structure and interpretation of quantum mechanics*, op. cit.; B. Van Fraassen, *Quantum mechanics, an empiricist view*, Oxford University Press, 1991; T.F. Jordan, *Linear operators for quantum mechanics*, J. Wiley, 1969.

²⁶ M. Bitbol, «Some steps towards a transcendental deduction of quantum mechanics», loc. cit.

Il est tentant de croire, en se fiant à la succession à plusieurs décennies d'intervalle de la naissance de la physique classique et de la philosophie kantienne, que l'approche transcendantale ne peut être rien d'autre que la rationalisation rétrospective d'une révolution scientifique achevée. La séquence des événements serait à peu près celle-ci: des pionniers de la recherche extrapolent et transforment plusieurs modèles fondamentaux des processus naturels par une dialectique des propositions théoriques et des impositions expérimentales; puis des esprits synthétiques, hautement qualifiés en mathématiques, dégagent une structure abstraite commune à ces modèles; et enfin, lorsque tout est accompli, des philosophes s'efforcent de révéler la signification transcendantale de la structure unificatrice. Dans la première révolution des sciences de la nature, Galilée, Kepler, Descartes, Huyghens, etc. furent les pionniers; Newton l'esprit synthétique; et Kant l'auteur de l'ultime mise au jour transcendantale. Dans la révolution quantique, Heisenberg et Schrödinger procédèrent à une transfiguration des modèles archétypaux respectivement discontinu et continu de la matière (la mécanique matricielle et la mécanique ondulatoire); Dirac et von Neumann en tirèrent une structure commune de vecteurs et d'opérateurs dans un espace de Hilbert; puis Cassirer et plusieurs autres auteurs²⁷ identifièrent les linéaments transcendants de cette structure. L'impression qu'il ne peut en être qu'ainsi, que la philosophie transcendantale vient inévitablement trop tard (comme je l'ai parfois moi-même laissé entendre), se comprend sans doute dans le cadre d'une conception fondationnaliste et totalisante de l'approche transcendantale. Si une procédure de déduction transcendantale visait à rendre intégralement raison *a priori* d'une structure théorique, un chercheur qui la mettrait en

²⁷ E. Cassirer, *Determinism and indeterminism*, Yale University Press, 1956 (texte de 1936); G. Hermann, *Les fondements philosophiques de la mécanique quantique* (Présentation par L. Soler), Vrin 1996 (texte de 1935); P. Mittelstaedt, *Philosophical problems of modern physics*, Reidel, 1976; C.F. Von Weizsäcker, *Aufbau der Physik*, Hanser, 1985; C.F. Von Weizsäcker & Th. Görnitz (1991), «Quantum theory as a theory of human knowledge», in: P. Lahti & P. Mittelstaedt (eds.), *Symposium on the foundations of modern physics 1990*, World Scientific; J. Petitot, *La philosophie transcendantale et le problème de l'objectivité*, Osiris, 1991; J. Petitot, «Objectivité faible et philosophie transcendantale», in: M. Bitbol & S. Laugier (eds.), *Physique et réalité, un débat avec Bernard d'Espagnat*, Frontières-Diderot 1997; S. Y. Auyang, *How is quantum field theory possible?*, Oxford University Press, 1995; B. Falkenburg, *Teilchenmetaphysik*, Spektrum Akademische Verlag, 1995; M. Bitbol, «Some steps towards a transcendental deduction of quantum mechanics», loc. cit.

oeuvre au cours de son travail ne laisserait-il pas croire qu'il cherche à créer une théorie scientifique par la seule oeuvre de son entendement (qu'il fait de l'«armchair science», si ce n'est de l'«armchair philosophy», selon le reproche habituel des philosophes des sciences empiristes)?

Mais dans le cadre de la conception historique et ouverte de l'approche transcendantale qu'a commencé à développer l'école de Marbourg, rien n'empêche que s'établissent des boucles de rétro-action entre la procédure d'élaboration des théories et la mise en évidence de leurs moments transcendants. Dans cette perspective, en effet, la méthode transcendantale se contente de nous éclairer sur ce que nous ne pouvons pas ne pas présupposer à partir du moment où nous adoptons une certaine stratégie de recherche instaurant un mode particulier de rapport avec (ou *dans*) le monde. Elle se reconnaît logiquement précédée par l'établissement d'un tel rapport, et ne saurait donc être soupçonnée d'une quelconque hyperbole du rationnel. Elle peut en outre contribuer à régler ce rapport en remettant périodiquement au jour les éléments de pré-compréhension qui l'orientent.

Quels sont donc les points où s'exerce l'action en retour de la méthode transcendantale sur l'avancée des sciences physiques? En se souvenant de ce qui a été dit au paragraphe précédent, on peut en répertorier trois principaux: l'intérêt réflexif pour les conditions perceptives et expérimentales de la connaissance; les projets d'unification; et le retournement des limites de la connaissance en déterminations de ce qui est à connaître.

(1) Durant les périodes de crise qui annoncent les grandes transformations paradigmatiques des sciences physiques, l'un des moyens les plus répandus de résolution des tensions consiste à mettre en doute une convention antérieure d'attribution de propriétés aux objets, et de revenir sur les conditions performatives mêmes de cette attribution. Tel est évidemment le cas d'Einstein, dont l'acte fondateur, à l'époque de l'élaboration de la théorie de la relativité restreinte, a été de désinvestir les objets de leurs propriétés spatio-cinématiques et de repartir des procédures opératoires de la mesure des longueurs et des durées. Cette table rase ontologique, doublée d'un renouveau des questions gnoséologiques les plus élémentaires, est ce qui a d'emblée distingué la

démarche d'Einstein de celle de Lorentz, initialement équivalente sur le plan mathématique. C'est elle aussi, comme on l'a compris plus tard, qui a conféré à l'orientation d'Einstein une généralité et une fécondité inégalées par rapport à la stratégie de Lorentz. Instruit par ce succès, Heisenberg a repris à son compte (non sans quelques malentendus), le retournement einsteinien initial de l'ontologie vers la gnoséologie, en pratiquant sa «réduction aux observables» de 1925 avec les remarquables résultats que l'on sait.

Or, cet acte inaugural de reconduction des déterminations à leur origine gnoséologique et méthodologique, cette apposition d'une marque de contextualité sur ce qui était auparavant traité non-problématiquement comme absolu, constitue le temps préparatoire essentiel du geste transcendantal. L'attitude transcendantale ne revient-elle pas d'abord, selon Kant²⁸, à retourner l'attention, auparavant absorbée par les objets connus, vers le mode de connaissance des objets; à revenir d'une objectivité inquestionnée à ses conditions de possibilité?

La parenté, pour ne pas dire l'identité, des retournements réflexifs accomplis par les chercheurs scientifiques et par les philosophes transcendants, se voit cependant parfois contestée par des philosophes des sciences réalistes. Une analyse critique des arguments de ces derniers permettra de préciser la nature du retournement réflexif.

Le débat tourne autour de l'expression «révolution copernicienne». L'attitude neuve de la philosophie transcendantale, telle que l'expose Kant dans la préface à la deuxième édition de la *Critique de la raison pure*, revient, on le sait, à ne plus considérer que notre connaissance se règle sur les objets, mais qu'au contraire les objets se règlent sur notre capacité de connaître. Cette volte-face est comparée par lui à l'idée de Copernic, qui consiste à ne plus essayer d'expliquer le mouvement apparent des astres par leur rotation autour du spectateur immobile, mais au contraire par le déplacement de l'observateur autour des astres restés fixes. Quelques philosophes des sciences ont pourtant contesté le bien-fondé de l'analogie. Abner Shimony²⁹ souligne par exemple que si le qualificatif «Copernicienne» convient à une doctrine qui n'accorde à

²⁸ E. Kant, *Critique de la raison pure*, B25, in: *Oeuvres philosophiques I*, Gallimard, p. 777

²⁹ A. Shimony, *Search for a naturalistic world view I*, Cambridge University Press, 1993, P. 183. Voir aussi: H. Feigl, «Existential hypotheses: realistic vs. phenomenalist interpretations», *Philosophy of science*, 17, 35-62, 1950; J.J.C. Smart, *Philosophy and scientific realism*, Humanities Press, 1963.

l'homme qu'une place insignifiante dans l'univers, on peut plus difficilement l'appliquer à une philosophie comme celle de Kant, suivant laquelle l'ordre et la régularité de l'apparaître naturel a son origine dans une prescription de la faculté humaine de connaître, qu'à n'importe quelle autre. Shimony revendique donc la filiation copernicienne pour sa propre philosophie des sciences réaliste. Et par contraste, il laisse entendre qu'il faut attribuer à Kant une sorte de ptolémaïsme gnoséologique. À l'examen, cependant, on s'aperçoit que la lecture que fait Shimony de la révolution astronomique due à Copernic est très partielle, et que cela explique son incompréhension du sens de l'analogie employée par Kant.

La révolution astronomique initiée par Copernic a en effet deux composantes indissociables. L'une revient à faire perdre sa position centrale dans l'espace à la demeure terrestre de l'homme conçu comme une créature naturelle, descriptible en troisième personne. L'autre consiste à expliquer l'apparence du ciel nocturne non par le seul mouvement des objets célestes, mais par la *relation* qu'entretiennent ces objets avec l'homme conçu comme sujet connaissant, auto-appréhendé en première personne. La décentration n'est à vrai dire qu'une conséquence du succès de l'explication relationnelle du mouvement apparent des astres, et du degré supérieur de coordination qu'elle permet d'établir entre les phénomènes astronomiques. Mais elle est la plus facile à se représenter, et c'est donc elle qui se trouve généralement retenue comme contenu exclusif de la conception cosmologique de Copernic. Si l'on pratique cette restriction du sens de la révolution copernicienne, et si en plus on assimile hâtivement la décentration spatiale de l'homme-créature-naturelle à une perte d'importance de l'homme en général, on n'a effectivement aucune raison de qualifier Kant de «copernicien» en philosophie. En revanche, si l'on se souvient de toutes les dimensions de la révolution copernicienne, et en particulier de sa composante relationnelle et épistémique, Kant apparaît parfaitement en droit de s'en prévaloir. Qu'est-ce en effet que la révolution copernicienne selon Kant? Une explication de l'ordre légal des phénomènes non par des caractéristiques appartenant en propre aux objets, mais par la *relation*

qu'entretient un quelque chose (disons pour simplifier la chose-en-soi) avec la structure épistémique de l'homme³⁰.

Kant n'a donc pas fait autre chose que Copernic. Il a simplement mieux compris le sens de la révolution copernicienne que Copernic lui-même. Mieux en tout état de cause que bien des philosophes des sciences réalistes, trop obnubilés par les nouveaux invariants résultant de la procédure réflexive pour se souvenir que la réflexion était la condition indispensable à l'extraction d'invariants.

(2) Venons-en à présent au projet d'unification. Conformément à ce qu'en dit Kant, celui-ci comporte deux modes d'intervention dans la pratique des sciences. L'un est constitutif des lois et, à travers elles, de l'objectivité; l'autre est régulateur pour le programme d'élaboration des sciences.

En ce qui concerne la composante constitutive de la clause d'unification, je donnerai deux exemples.

Le premier concerne le compte-rendu newtonien du mouvement des planètes. Rappporter tous les mouvements des corps célestes à un repère privilégié, assimilé à l'espace absolu par Newton, avait pour conséquence immédiate une unification de leur description. En même temps, cela fixait un cadre approprié pour l'application des lois du mouvement, puis, à travers ces dernières, une méthode pour discriminer les mouvements «vrais» des mouvements apparents, et une contrainte déterminante sur la forme de la loi de gravitation. L'unification avait donc pour corrélat une légalisation. Et cette légalisation, à son tour, était constitutive d'objectivité. La démarche newtonienne pouvait en effet aisément être lue comme «(...) une procédure constructive pour *définir* au départ le concept de mouvement vrai»³¹. Elle s'avérait ainsi être une stratégie permettant de passer de simples *apparences* de déplacements relatifs sur la voûte céleste, à l'*expérience* de mouvements objectivés par les règles universelles auxquelles ils sont soumis³².

Un second exemple est celui du «principe de relativité» d'Einstein, selon lequel les lois de l'électrodynamique et de l'optique, aussi bien que

³⁰ Dans les *Prolégomènes à toute métaphysique future*, op. cit. §13, remarque II, p. 53, Kant présente sa démarche comme une généralisation de la conception des qualités secondaires relationnelles due à Locke.

³¹ M. Friedman, *Kant and the exact science*, Harvard University Press, 1992, p. 143

³² *ibid.* p. 144

celles de la mécanique, doivent valoir dans n'importe quel repère inertiel; cela impose seulement que les déterminations de longueurs et de durées soient rapportées à chaque repère inertiel particulier et coordonnées d'un repère à l'autre conformément à la transformation de Lorentz. Il s'agit là manifestement d'une clause unificatrice, parce qu'elle évite d'avoir à multiplier les formes de lois selon les repères. Mais en même temps, cette clause est *constitutive* des lois unifiées. Car, ainsi que le remarque à juste titre Cassirer, «Nous ne pouvons *appeler* précisément lois de la nature, c'est-à-dire leur attribuer une universalité objective, que les relations dont la forme est indépendante de la particularité de nos mesures empiriques (...)»³³.

On a souvent été tenté de prendre à la lettre le constat que la révolution relativiste comporte deux moments: un moment de reconnaissance de la restriction de validité des déterminations de longueur et de durée à chaque repère, et un moment d'articulation de ces déterminations dans des lois à la forme invariante *via* la définition du groupe de Lorentz. Il faut cependant prendre garde à ce qu'un tel compte-rendu quasi-chronologique a de trompeur. Comme le montre la formulation du "principe de relativité", rappelée plus haut, la relativisation des grandeurs spatio-temporelles à chaque repère inertiel a été conçue d'emblée comme un temps préparatoire à la définition d'invariants formels d'ordre supérieur; elle lui est donc en fait logiquement subordonnée. Il suffit d'extrapoler cette remarque pour en tirer un enseignement capital sur l'articulation du moment réflexif et du moment unificateur dans les sciences. Une nouvelle phase révolutionnaire des sciences physiques s'annonce quand ce qu'on prenait pour un universel dans un système restreint d'investigation, s'avère devoir être traité comme particularité positionnelle dans un système élargi permettant d'atteindre un niveau plus élevé de coordination. Reconduire les déterminations antérieures à une particularité positionnelle est la phase subjectivante de la révolution scientifique. Chercher l'unité d'un groupe de symétrie puis la forme d'une loi en articulant les particularités positionnelles représente sa phase objectivante. La phase subjectivante n'est cependant élaborée qu'afin de permettre la phase objectivante: non seulement elle ne la contredit pas, mais elle n'est conçue que comme son préalable et sa condition.

³³ E. Cassirer, *La théorie de la relativité d'Einstein*, op. cit. p. 63

Subjectivation et objectivation sont indissolublement reliées comme l'envers et l'endroit d'un seul processus de maîtrise.

L'autre mode d'application du projet d'unification porte sur la variété des systèmes de lois. Il ne part pas (comme le précédent) du postulat d'une validité seulement particulière de chaque détermination au regard du concept constitutif d'une loi, mais cherche au contraire à construire un point de vue ou un concept général à partir duquel faire apparaître la particularité des systèmes de lois déjà constitués. Kant dirait qu'il relève de l'opération du jugement réfléchissant, et non plus de celle du jugement déterminant.

J.L. Destouches a conduit une réflexion approfondie sur cette question de l'unification des systèmes de lois, et c'est donc lui que nous allons suivre sur ce point. Pour J.L. Destouches, on doit au départ considérer que l'unité de la physique n'est qu'une «croyance»; qu'elle «(...) est affaire de méthode, non de réalité, (qu'elle est) voulue par nous, en nous, pour nous»³⁴. La remarque est conforme à celle du Kant de la *Critique de la faculté de juger*, selon lequel l'unité du système des lois de la nature est une perspective seulement régulatrice, subjectivement nécessaire pour notre pouvoir de connaître. La question à partir de là n'est pas de savoir si les lois de la nature *sont* (ontologiquement) unifiées dans un système, mais à quelles conditions l'unification peut être atteinte en tant que but épistémologiquement souhaitable.

Quelles sont donc les conditions de l'unification théorique? Dans un premier temps, J.L. Destouches montre que si deux théories (ou plutôt leurs modèles associés) «(...) sont telles qu'aucune proposition n'a sa négation appartenant à l'autre, il existe une théorie englobante, ayant pour termes primitifs la réunion des termes primitifs et pour (...) axiomes le produit logique de tous les axiomes de la théorie»³⁵. Le cas le plus intéressant n'est cependant pas celui-ci; il est celui des théories dont les modèles associés comportent des propositions contradictoires. Pour unifier deux théories de ce genre, indique J.L. Destouches, le seul moyen est d'altérer les règles de la logique courante, par exemple en restreignant le champ d'application du produit logique³⁶, comme dans les logiques

³⁴ J.L. Destouches, *Physique moderne et philosophie*, Hermann, 1939, p. 63

³⁵ *ibid.*

³⁶ J.L. Destouches, *Physique moderne et philosophie*, op. cit. p. 64

non-classiques de Hans Reichenbach ou de Paulette Destouches-Février. Or, ces gestes formels reviennent en pratique à restreindre la validité de chaque proposition empirique à un certain contexte instrumental d'énonciation, et à refuser d'attribuer un sens à une proposition si elle est relative à la conjonction de deux ou plusieurs *contextes mutuellement incompatibles*. Ainsi est accompli l'acte de subjectivation qui est, comme on l'a vu plus haut, le temps préparatoire au processus de synthèse objectivante. Mais comment aller au-delà du temps préparatoire; comment procéder à la synthèse, si les contextes instrumentaux d'énonciation (contrairement aux repères inertiels de la relativité restreinte) ne se prêtent pas directement à une opération de transformation mutuelle? La première possibilité est d'intégrer la contradiction dans les énoncés de la théorie unifiante elle-même, à travers la doctrine bohrienne de la complémentarité. «Ces modifications (de la logique), écrit J.L. Destouches, entraînent (...) la complémentarité de Bohr»³⁷. Une complémentarité qui peut être concrètement mise en oeuvre (comme l'ont montré certains raisonnements semi-informels des membres de «l'école de Copenhague»), en alternant selon les besoins: description corpusculaire et description ondulatoire, approche cinématique et approche dynamique, calcul dans l'espace ordinaire et calcul dans un espace des quantités de mouvement, etc. La seconde possibilité de synthèse est d'avoir recours à un espace abstrait dans lequel un groupe de transformations peut être mis en place, non pas certes directement entre contextes instrumentaux incompatibles, mais indirectement entre symboles (descriptifs ou prédictifs) associés à ces contextes. C'est exactement cette dernière possibilité qui a été réalisée, nous l'avons vu au paragraphe 2, dans le formalisme de Dirac-von Neumann de la théorie quantique. Ce formalisme est parvenu à réduire la dualité préalable d'une mécanique corpusculaire et d'une théorie ondulatoire du rayonnement électromagnétique à un niveau jusque là inédit: celui d'un groupe de transformations entre opérateurs dans un espace vectoriel complexe dont les éléments (les vecteurs d'état) sont des outils de prédiction probabiliste de phénomènes discrets dont la distribution statistique prend tantôt un aspect quasi-corpusculaire tantôt un aspect quasi-ondulatoire.

³⁷ *ibid.*

(3) Un dernier point d'intervention directe de la méthode transcendantale dans l'avancée des sciences physiques est la conversion des limites de la connaissance en déterminations de ce qui est à connaître. Ce que J. Petitot appelle la «nature galoisienne»³⁸ des théories physiques, c'est-à-dire la définition de leur domaine d'accessibilité par ce qui leur est principiellement inaccessible, n'est pas seulement quelque chose qui apparaît à l'analyse philosophique rétrospective. Son exploitation est l'une des ressources majeures de l'élaboration des théories par les physiciens.

Un exemple simple porte sur l'impossibilité de détecter les variations de la vitesse de la lumière dans le vide qui auraient indiqué un «vent d'éther». Cette impossibilité indiquait une *limite empirique* de la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques; mais elle a été convertie par Einstein en *présupposition constitutive* de sa théorie de la relativité restreinte.

Dans le même ordre d'idées, la valeur non-nulle de la constante de Planck signifie une *limite* de la précision avec laquelle sont déterminées conjointement deux variables conjuguées. Mais l'estimation de cette limite par les relations de Heisenberg a été régulièrement mise à profit pour anticiper des traits caractéristiques des phénomènes explorés. Il suffit de penser à l'utilisation des relations de Heisenberg pour le calcul de l'énergie de point zéro du vide, et à la prédiction corrélatrice de l'«effet Casimir»³⁹. Mieux encore, les *relations de commutation*, d'où sont dérivées les relations d'indétermination de Heisenberg, et qui expriment à un niveau encore plus fondamental la limitation de la possibilité de conjointement l'évaluation de deux variables conjuguées, doivent être considérées comme le *noyau constitutif* de l'ensemble des théories quantiques. Quelle est en effet la méthode générique pour formuler une théorie quantique? Elle consiste à traiter un problème sur un mode formellement classique, puis à substituer aux variables du problème des opérateurs obéissant à des relations de commutation. Elle revient en d'autres termes à dériver les traits proprement quantiques des

³⁸ J. Petitot, «Objectivité faible et philosophie transcendantale», loc. cit.

³⁹ H.B. Casimir, «Le vide et l'énergie de point zéro», in: E. Gunzig & S. Diner, *Le vide, univers du tout et du rien*, Editions Complexe, 1998

phénomènes à partir de la limite de co-détermination des couples de variables conjuguées.

Une nouvelle théorie physique est en train de naître à l'heure actuelle du retournement d'une limite encore plus drastique que la précédente; une limite portant non plus seulement sur la *co*-détermination de *couples* de variables, mais sur la détermination de *chaque* variable prise isolément. On sait depuis assez longtemps qu'à des échelles de longueurs et de temps inférieures à la «longueur de Planck» (notée l_{pl}) et au «temps de Planck» (noté t_{pl})⁴⁰, on ne peut plus éviter de faire intervenir simultanément des considérations relevant des deux théories les plus avancées respectivement dans les domaines microscopique et gravitationnel-cosmologique: la théorie quantique des champs et la théorie de la relativité générale. Ces échelles spatio-temporelles extrêmement petites devraient donc être celles où se manifestent des effets conjoints dits de «gravitation quantique». Le problème est que des calculs élémentaires permettent de montrer qu'au-dessous de ces deux valeurs, les conditions mêmes d'une mesure des longueurs et des temps ne sont plus respectées⁴¹. Des échelles de longueur et de temps inférieures aux valeurs de Planck ne sont donc pas définies sur le plan opératoire. Si l'on se contente de tenir cette circonstance pour une regrettable limite du pouvoir humain de connaître, on risque d'en conclure qu'une théorie de la gravitation quantique est hors de portée. Mais si l'on *retourne cette limite en point de départ* conceptuel et axiomatique, on obtient une théorie profondément novatrice qui n'est autre que la théorie des supercordes (ou sa généralisation récente en M-theory). La nécessité de s'intéresser à de très petites échelles spatio-temporelles, *inférieures* à celle de Planck, est en effet automatiquement évitée à partir du moment où l'on remplace la représentation de particules ponctuelles par celle de «cordes» linéaires ou toroïdales de dimensions approximativement *égales* aux valeurs de Planck⁴². Plus exactement,

⁴⁰ L'ordre de grandeur de la longueur de Planck est 10^{-35} m (soit 10^{25} fois plus petite que la taille d'un atome), et l'ordre de grandeur du temps de Planck est 10^{-44} s.

⁴¹ C. Schiller, «Le vide diffère-t-il de la matière?», in: E. Gunzig & S. Diner, *Le vide, univers du tout et du rien*, op. cit.

⁴² B. Greene, *The elegant universe*, Jonathan Cape, 1999; M. Kaku & J. Thomson, *Beyond Einstein*, Oxford University Press, 1997; M. Kaku, *Strings, conformal fields, and topology*, Springer-Verlag, 1991

elles sont évitées si on substitue, aux trajectoires virtuelles des intégrales de chemin de Feynman (dont la section est ponctuelle), des *bandes* ou des *tubes* virtuels (dont la section est une «corde» d'échelle voisine de celle de Planck)⁴³.

De façon encore plus remarquable, la limitation imposée par l'échelle de Planck se traduit par une nouvelle symétrie fondamentale qualifiée de «dualité espace-temps». Selon cette symétrie, les processus d'échelle R sont exactement équivalents à des processus dont l'échelle serait égale à l_{pl}^2/R . En d'autres termes, les processus d'échelle infinitésimale, très inférieure à celle de Planck, se ramènent à des processus d'échelle macroscopique, très supérieure à celle de Planck. La dualité espace-temps est à la fois la réalisation formelle de la limite discutée précédemment (puisque'elle garantit que rien de *significatif* ne peut concerner des échelles spatiales inférieures à l_{pl}), et la base des capacités prédictives qu'a la théorie des supercordes à l'échelle cosmologique. On peut par exemple penser à la transformation automatique, par la dualité espace-temps, d'un effondrement cosmique («big crunch») en rebond cosmique («big crunch» suivi d'un «big bang», c'est à dire «big bounce»). Ou encore à l'explication de la tri-dimensionnalité de l'espace actuel par des considérations sur la collision et la combinaison des cordes cosmiques primordiales dans un espace à dix dimensions⁴⁴.

Le rapport bien connu entre finitude et détermination a donc son équivalent en termes de procédure constructive dans les sciences physiques. Il peut être l'objet de deux lectures opposées, selon que l'on insiste sur la finitude persistante ou sur la détermination croissante. Des esprits métaphysiques sont en droit de remarquer que la pleine réalisation de notre puissance d'agir par les sciences ne nous a offert par elle-même aucune occasion de percée hors de notre domaine fini. Les

⁴³ Ce passage de la représentation de points et de toroïdes à celle de section ponctuelle ou toroïdale d'un chemin virtuel intervenant dans une intégrale de type Feynman est très important pour éviter la tentation habituelle de réification. L'habitude vulgarisatrice, face aux théories des super-cordes, est de dire qu'elle conduit à remplacer les particules ponctuelles par des cordes comme «briques élémentaires de la matière». Mais en vérité, elle conduit seulement à remplacer la procédure standard de calcul des probabilités d'un phénomène, utilisant une intégrale sur des trajectoires virtuelles, par une autre procédure de calcul des probabilités d'un phénomène utilisant une intégrale sur des tubes virtuels. La perte de l'ontologie traditionnelle de corps (ou de point) matériel en physique quantique n'est donc en rien compensée par le gain d'une ontologie de petites cordes. Loin d'être résorbées par la théorie des supercordes, les «étrangetés» de la mécanique quantique sont reprises et amplifiées par elle.

⁴⁴ B. Greene, *The elegant universe*, op. cit. p. 359-360

épistémologues transcendants préfèrent pour leur part noter, de manière non contradictoire mais réciproque, que la reconnaissance sans cesse plus précise des contours de notre finitude au cours du processus d'élaboration des sciences a pour conséquence une amélioration incessante de notre puissance d'agir, de contrôler, de maîtriser, et de prévoir.

4-Le rejet en arrière-plan des conditions épistémiques de la constitution

En comparant la méthode de Copernic au geste transcendantal qualifié de «révolution copernicienne» par Kant, nous avons trouvé que leur point commun consiste à expliquer l'ordre des phénomènes non par de quelconques déterminations intrinsèques du monde, mais par la relation réglée qu'entretient le sujet connaissant avec ce monde.

La particularité de la démarche initiée par Kant par rapport à celle de Copernic ne doit cependant pas être passée sous silence. Elle est qu'aucune représentation de la relation épistémique qu'invoque Kant n'est en principe disponible. Chez Copernic, il était relativement facile de mettre en scène les deux pôles, objectif et subjectif, de la relation, dans l'espace ordinaire tridimensionnel (respectivement les corps célestes et la demeure terrestre de l'homme). Mais en philosophie transcendantale, quelque chose du pôle subjectif doit obligatoirement rester à l'arrière-plan, en dehors de toute possibilité de figuration spatiale ou plus généralement de thématization. Que ce soit, chez Kant, parce que l'espace en tant que forme *a priori* de la sensibilité est lui-même une fonction du sujet connaissant. Ou que ce soit plus largement, chez des philosophes néo-kantiens contemporains, parce que l'équipement pragmatico-linguistique de l'homme ne saurait être saisi ou décrit que sur fond de sa propre présupposition, amorçant ainsi un cercle ou une régression sans fin assignable.

Kant avait d'ailleurs clairement posé les bornes du retournement réflexif dans un paragraphe des *Prolégomènes* intitulé significativement «Comment la nature est-elle possible?»⁴⁵. La nature, indiquait-il, est possible au sens matériel «par la condition de notre sensibilité». Elle est

⁴⁵ I. Kant, *Prolégomènes à toute métaphysique future*, op. cit. §36, p. 93

possible au sens formel «grâce à la constitution de notre entendement». «Mais comment est possible cette propriété particulière de notre sensibilité même, ou celle de notre entendement et de l'aperception nécessaire qui est le fondement de celui-ci ainsi que de toute pensée? *Là s'arrêtent solutions et réponses; car c'est à elle qu'il nous faut toujours recourir pour toute réponse et toute pensée des objets*»⁴⁶. En d'autres termes, la possibilité de la condition de possibilité de l'expérience ne saurait elle-même être l'objet d'une investigation, parce qu'elle représente *le terminus a quo* de toute investigation.

La claire reconnaissance de ce genre de point aveugle des relations constitutives est également à l'oeuvre dans les sciences physiques, surtout chez les grands initiateurs de changements révolutionnaires qui ont eu à pratiquer la réflexivité.

On la trouve par exemple chez Einstein, lorsqu'il commente le rôle privilégié que tiennent en relativité restreinte les concepts métriques de règle et d'horloge. Nous savons que la différence majeure entre la physique de Lorentz et celle d'Einstein est que la première vise à faire des règles et des horloges des *objets* de la théorie (en prétendant *expliquer* leur contraction et leur ralentissement), alors que la seconde tient les règles et des horloges pour des *pré-conditions* opératoires de l'élaboration théorique, à partir desquelles seules une évaluation de longueur (diminuée) et de durée (allongée) est possible. Einstein en est pleinement conscient, mais il ressent un sentiment d'inconfort à ce propos. D'un côté, il affirme qu'«(...) au stade actuel du développement de la physique théorique, ces concepts (de règle rigide et d'horloge) doivent encore être utilisés comme des concepts autonomes»⁴⁷. Mais d'un autre côté, il concède qu'«(...)il y a là une forme d'inconséquence: les règles et les horloges devraient, en fait, se présenter comme des solutions des équations fondamentales (ce sont des objets constitués d'objets atomiques en mouvement) et non comme des êtres jouissant d'une certaine autonomie théorique»⁴⁸. La raison de cette situation

⁴⁶ *ibid.* p. 94 (italiques ajoutés)

⁴⁷ A. Einstein, «La géométrie et l'expérience», in: *Oeuvres choisies 5*, Seuil, 1991, p. 74. Voir également, H.R. Brown & O. Pooley, «The origin of the space-time metric: Bell's 'Lorentzian pedagogy' and its significance in general relativity», in: C. Callender & N. Huggett (eds.), Cambridge University Press, 2000

⁴⁸ A. Einstein, «Eléments autobiographiques», in: *Oeuvres choisies 5*, op. cit., p. 41

paradoxale est selon lui que «(...) les postulats de la théorie ne sont pas assez forts pour que l'on puisse, sans trop d'arbitraire, déduire de celle-ci des équations suffisamment complètes pour les processus physiques et fonder sur cette base une théorie des règles et des horloges»⁴⁹. Cela laisse entendre que le rôle de pré-condition que jouent les instruments métriques est provisoire, et qu'une nouvelle théorie pourrait contenir en elle les ressources nécessaires pour les faire basculer dans son domaine d'objets. Ce qu'omet cependant de rappeler Einstein est qu'un tel basculement ne dispenserait pas la nouvelle théorie de poser ses propres pré-conditions inconditionnées, de faire remplir la *fonction* d'étalon des déterminations empiriques par autre chose que les corps plus ou moins rigides qui constituent habituellement les règles, et les mécanismes plus ou moins précis qui constituent couramment les horloges. Les entités qui occupent la place de «gond»⁵⁰ de l'activité de recherche du physicien, en étant pratiquement et/ou axiomatiquement tenues pour fixes, peuvent bien changer d'une étape à l'autre de l'avancée des sciences. On ne saurait pour autant se passer de tout «gond» fonctionnellement inconditionné.

Chez Bohr, cette dialectique de l'objet et des pré-conditions est encore plus radicale que chez Einstein. Car ici, le statut de pré-condition d'arrière-plan n'est pas réservé à quelques classes (fussent-elles fondamentales) d'instruments de mesure. Il s'étend à tout instrument façonné par l'homme conformément à des concepts et à des visées appropriés à son échelle mésoscopique. Suivant Bohr, tout ce qui relève des concepts classiques et du langage courant appartient de ce seul fait au corpus des présupposés constitutifs de la connaissance des physiciens. Vouloir les projeter sur la scène du connu reviendrait à amorcer une vaine régression à l'infini (c'est d'ailleurs par une régression à l'infini de la détermination «perturbante» de l'objet par un agent de mesure, puis de l'agent de premier ordre par un agent de second ordre etc., que Bohr a cherché à expliquer la limitation fondamentale exprimée par les relations d'«incertitude»).

Heisenberg a par la suite traduit cette extension du statut de pré-condition à l'ensemble de l'*Umwelt* humain, préconisée par Bohr, en

⁴⁹ *ibid.*

⁵⁰ L. Wittgenstein, *De la certitude*, Gallimard, 1976

termes explicitement kantien. Selon Heisenberg, les formes kantien *a priori* de la sensibilité et de la pensée se trouvent nécessairement «(...) présupposées par toute expérience scientifique objective»⁵¹. Non seulement elles sont directement constitutives de l'expérience de l'environnement immédiat de l'homme, mais elles conditionnent indirectement l'expérience de tout domaine d'investigation éloigné de l'environnement immédiat, parce qu'elles sont constitutives de la connaissance objective des *instruments* de cette investigation distale. Le milieu proche de corps spatio-temporels permanents et régis par des lois joue en quelque sorte le rôle d'ilôt kantien de stabilité, de point archimédien effectif (mais non ontologique), sur lequel toute recherche plus lointaine prend appui.

Bien entendu, là comme dans le cas des règles et des horloges, des voix se sont élevées pour déclarer inadmissible ce statut d'exterritorialité accordé aux appareillages expérimentaux et à la mesure en général. J. Bell s'est par exemple vigoureusement opposé à l'idée que la «mesure» doive jouir de quelque privilège que ce soit en mécanique quantique⁵². Pour lui, «Le concept de mesure devient si flou à la réflexion, qu'il est très surprenant de le voir intervenir dans la théorie physique *au niveau le plus fondamental*»⁵³. Les tentatives n'ont par ailleurs pas manqué, depuis von Neumann en 1932, d'élaborer des *théories quantiques de la mesure*, tendant à faire entrer les appareils et le processus de mesure dans le champ des objets de la mécanique quantique. Mais ni les proclamations indignées, ni les tentatives patientes de reprojeter en avant-plan ce que Bohr avait méthodologiquement préconisé de laisser en arrière-plan, n'ont permis de dénouer l'écheveau. Refuser de «présuppose(r) l'appareil comme une donnée première non-représentée»⁵⁴ de la théorie quantique n'a entraîné qu'une série de difficultés, parmi lesquelles le «problème de la mesure», popularisé par le paradoxe du chat de Schrödinger, est le plus connu. Une analyse assez simple de ces difficultés montrent qu'elles

⁵¹ W. Heisenberg, «Wandlungen der Grundlagen der exacten Naturwissenschaft in jüngster Zeit», *Die Naturwissenschaften*, 22, 669-675, 1934 (trad. C. Chevalley). Cité dans: G. Hermann, *Les fondements philosophiques de la mécanique quantique* (Présentation par L. Soler), Vrin, 1996, p. 46.

⁵² J.S. Bell, «Against 'measurement'», in: A.I. Miller (ed.), *Sixty-two years of uncertainty*, Plenum Press, 1990.

⁵³ J.S. Bell, *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*, Cambridge University Press, 1987, p. 117

⁵⁴ M. Mugur-Schächter, «Mécanique quantique, réel, et sens», loc. cit.

proviennent toutes du cercle auto-référentiel qui s'instaure lorsqu'on veut annexer à l'objet de la théorie quantique son pré-requis méta-théorique⁵⁵. Même les propositions de solutions du problème de la mesure les plus prometteuses (comme les théories de la décohérence) ne sortent pas de ce cercle⁵⁶.

On pourrait dire que le problème de la mesure, et la mauvaise compréhension des solutions qui en sont proposées, sont le stigmate d'une ignorance délibérée des moments transcendants qui sous-tendent la mécanique quantique. N'en va-t-il pas ainsi pour l'ensemble des sciences physiques? Et n'est-il donc pas temps d'accomplir, non pas un «retour à Kant» de plus, mais une nouvelle avancée de la réflexion épistémologique dans la direction ébauchée par Kant et relayée par l'école de Marbourg?

⁵⁵ P. Mittelstaedt, *The interpretation of quantum mechanics and the measurement process*, Cambridge University Press, 1998

⁵⁶ M. Bitbol, *Mécanique quantique, une introduction philosophique*, op. cit. p. 218, 410; M. Bitbol, *Physique et philosophie de l'esprit*, Flammarion, 2000, §1-7;