

Arguments transcendants en physique moderne

Michel Bitbol,
CNRS, Paris

in: S. Chauvier et F. Capeillères (eds.), *La querelle des arguments transcendants*, Revue philosophique de l'Université de Caen, 35, 81-101, 2000

Introduction

Mon but, dans cet article, est de montrer qu'en dépit de leurs limites évidentes, les arguments transcendants recèlent des enseignements potentiels considérables pour la philosophie de la physique moderne. Le principal d'entre eux est qu'on peut parfaitement dépasser l'alternative habituelle entre une approche réaliste qui justifie le succès des théories physiques par leur convergence vers la représentation fidèle d'un monde donné d'avance, et une approche anti-réaliste qui s'honore de ne pas chercher à aller au-delà du simple fait de l'adéquation empirique des théories. Mais de quelle façon y parvient-on?

Commençons par accepter une série de clauses restrictives sur la portée des arguments transcendants. Admettons que les arguments transcendants n'aient strictement rien à dire sur le plan ontologique; que, décevant les espérances que certains avaient placés en eux, ils échouent complètement à tenir le scepticisme en respect; que le maximum qu'on puisse en tirer est la mise en évidence d'une pré-orientation épistémique. Admettons en plus que, dans ce domaine gnoséologique auquel ont été confinés les arguments transcendants, les conclusions qu'on est en droit d'en tirer soient beaucoup plus faibles que celles que la *Critique de la Raison Pure* laissait escompter. Admettons par exemple qu'ils ne nous permettent même pas d'être assurés sur ce que nous devons penser pour nous rendre possible une expérience du monde *en général*; qu'ils ne nous éclairent que sur ce que nous ne pouvons pas ne pas présupposer à partir du moment où nous avons adopté telle stratégie de recherche *particulière*. Allons jusqu'à concéder qu'ils peuvent tout au plus prétendre nous révéler les

présupposés auxquels nous sommes *de facto* liés lorsque nous mettons en oeuvre ces stratégies spécifiques d'investigation.

Ma thèse est que même s'il en était ainsi, la mise en oeuvre d'arguments transcendants en physique pourrait modifier dans des proportions considérables notre compréhension de ce que sont les théories physiques. La raison de cela est que la physique n'est pas n'importe quelle science. Sa maturité historique est telle qu'elle a dégagé des stratégies de recherche d'une forte rigueur et d'une grande polyvalence; et qu'il est tout à fait possible à cause de cela que la structure des présupposés associés à de telles stratégies se révèle sous l'aspect de formalismes mathématiques d'une grande capacité prédictive et générative. La simple entreprise consistant à exhumer des présupposés, à montrer leur inévitabilité dans des circonstances spécifiées, et à mettre en évidence que leur traduction formelle est précisément identique à celle des théories physiques admises, est donc susceptible de faire basculer complètement notre conception de ce que c'est que justifier une théorie. Au point de faire perdre non seulement son exclusivité, mais aussi son caractère paradigmatique, à la justification réaliste de la structure des théories physiques. Tel est le programme que je vais essayer à présent de mettre en oeuvre pour le cas de la mécanique quantique standard, dans sa formulation canonique due à Dirac et Von Neumann.

1-Modulations et adaptations de la méthode transcendantale: le cas de la théorie quantique¹

Revenons au point de départ. Nous savons que, dans ses grands traits, l'attitude transcendantale revient selon Kant, à retourner l'attention, auparavant absorbée par les objets de la connaissance, vers le mode de connaissance des objets en tant que cette connaissance est possible *a priori*². Mais aussi féconde qu'elle ait pu être la stratégie ainsi définie par Kant dans le contexte intellectuel et/ou scientifique de son époque, plusieurs de ses éléments constitutifs ne répondent plus aux exigences de la philosophie contemporaine, et s'établissent en porte-à-faux avec les principales théories de la physique moderne.

¹ Les idées présentées dans cette section ont été présentées pour la première fois, d'une autre manière, dans: M. Bitbol, "Some steps towards a transcendental deduction of quantum mechanics", *Philosophia Naturalis*, 35, 253-280, 1998; M. Bitbol, "Les 'lois de la nature': contingence ou nécessité", *Cahiers de philosophie du langage*, 2000 (à paraître)

² E. Kant, *Critique de la raison pure*, B25, in: *Oeuvres philosophiques I*, op. cit. p. 777

Il y a en premier lieu une composante résiduelle de *passivité* dans la façon dont Kant considérait que les objets se *présentent* à nous. Kant insistait bien sur le fait qu'en physique, le rapport entre la raison et la nature est celui d'un juge imposant ses questions à un témoin forcé d'y répondre, plutôt que celui d'un élève recevant passivement l'enseignement de son maître³. Mais cette façon d'anticiper sur les réponses de la nature est restreinte à la *forme*, intuitive ou intellectuelle, de la connaissance. En ce qui concerne la *matière* de la connaissance, Kant continue de s'appuyer sur une tradition aristotélicienne et empiriste qui considère qu'elle est passivement reçue sous l'aspect de sensations; qu'en d'autres termes les objets nous sont *donnés* par le biais de la sensibilité⁴. On ne trouve guère mention dans son oeuvre du fait qu'en physique les phénomènes sont souvent *modelés* et non pas seulement *sélectionnés* par l'activité expérimentale.

Une telle conception active du phénomène était pourtant déjà pertinente à la naissance de la science moderne de la nature, dont Kant héritait. Car, ainsi que l'écrit I. Hacking⁵, cette science n'a pu émerger que d'une synergie inédite entre la *représentation* (théorique) et l'*intervention* instrumentale, auparavant séparées par la barrière infranchissable qui existait entre la contemplation et la technique. L'intervention était guidée, dans la conception des instruments aussi bien que dans l'activité expérimentale qui les utilisait, par la représentation théorique. Et, à l'inverse, la représentation théorique n'était pas confrontée à un corpus inerte de "données" plus ou moins choisies, mais à des phénomènes qui émergeaient d'une pratique expérimentale pré-orientée par elle. La représentation théorique ne pouvait être testée que par sa confrontation à des phénomènes isolés, à des effets "purifiés" par l'ordre d'une stratégie instrumentale, et non pas en mettant en regard d'elle le chatoiement sans limite des simples "observations". Cette synergie réciproque n'a fait que se raffiner et s'amplifier lors du passage de la physique classique à la physique quantique. Car désormais, l'intervention instrumentale n'est plus simplement guidée par une représentation théorique, mais par un empilement hiérarchique de représentations théoriques pertinentes pour rendre compte des divers niveaux (microscopique,

³ *ibid.* BXIII, p. 739

⁴ *ibid.* A19-B33, p. 781

⁵ I. Hacking, *Concevoir et expérimenter*, Christian Bourgois, 1989, p. 242

mésoscopique, cosmologique), du fonctionnement des appareils. D'autre part, la procédure expérimentale ne peut même plus être conçue comme visant seulement à la simplification, à l'isolement, à la "purification", d'un phénomène à partir du réseau complexe des processus naturels; elle contribue aussi, selon Bohr: (a) à la *définition* de l'échelle de possibilités sur laquelle se situe un phénomène actuel, et (b) à la *production* aléatoire de chaque phénomène singulier à travers un moment unique, irréproductible, et irréversible de fonctionnement de l'appareillage.

L'application à la physique quantique de la méthode transcendantale demande donc qu'on en adopte une version suffisamment modifiée pour y intégrer sans équivoque la dimension d'activité expérimentale. Selon J. Hintikka, ce qu'il faut pour moderniser l'approche transcendantale, consiste à mettre à l'écart le couple réception passive et structuration *mentale*, au profit du couple activité de recherche et structuration *instrumentale*. Il faut substituer l'activité de recherche à la réceptivité passive comme lieu de rencontre du singulier⁶. Cette substitution une fois opérée, l'attitude transcendantale consiste à retourner l'attention initialement captivée par les objets, non plus vers notre connaissance, mais vers nos jeux de recherche.

Un autre aspect de la philosophie de Kant s'accorde mal avec l'évolutivité de la physique. Cet aspect concerne l'expression '*a priori*'. L'usage kantien de cette expression se prête à une mésinterprétation répandue de l'attitude transcendantale. Il laisse en effet penser que les formes présentées par avance aux apparences sont déterminées de façon unique, "pour tous les temps et pour tous les êtres rationnels"⁷. Or, cette affirmation d'invariabilité et d'unicité rend la version kantienne de la philosophie transcendantale vulnérable à la remarque selon laquelle la physique du vingtième siècle a rendu intenable plusieurs composantes des formes *a priori* originales, ou du moins qu'elle a considérablement restreint leur champ d'application⁸. La méthode transcendantale n'a donc de chances de survivre que dans

⁶ *ibid.* p. 2

⁷ S. Körner, Introduction à E. Cassirer, *Kant's life and thought*, Yale University Press, 1981, p. XI

⁸ Pour une analyse très fine de la composante *datée* et de la composante *pérenne* de la méthode transcendantale, voir J. Petitot, *La philosophie transcendantale et le problème de l'objectivité*, Osiris, 1991; J. Petitot, "L'objectivité faible et la philosophie transcendantale", in: M. Bitbol & S. Laugier, *Physique et réalité, un débat avec B. d'Espagnat*, Editions Frontières, 1997; S. Auyang, *How is quantum field theory possible?*, Oxford University Press, 1995.

la version dynamique inspirée par des philosophes néo-kantiens comme H. Cohen et E. Cassirer, ou dans la version pragmatiste présentée par des philosophes anglo-saxons comme J. Dewey, C.I. Lewis, ou H. Putnam. Selon ces philosophes, chaque forme *a priori* doit être considérée comme *relative à un certain mode d'activité*; elle consiste en une présupposition constitutive de ce mode d'activité, et doit par conséquent être abandonnée dès que l'activité est redéfinie.

J'en viens à présent à la procédure de *déduction* transcendantale. Dans sa définition standard, elle consiste en une remontée à partir d'un trait indiscutable de notre expérience vers les conditions de sa possibilité. Sa première étape est donc d'identifier le trait indiscutable qui distingue l'authentique "expérience" du simple flux "rhapsodique" de l'apparaître sensible. Or, ce trait distinctif n'est autre que *l'objectivité*, qui revient selon Kant à une organisation telle des éléments de l'apparaître que leur succession puisse être attribuée sélectivement à des *objets*, par opposition à ce qui relève de modifications subjectives. Pour identifier les conditions de possibilité de l'«expérience», il faut donc chercher comment on peut se représenter quelque chose comme *objet*.

Kant explique que, pour être considérée comme 'objective', une connection de perceptions doit pouvoir être tenue pour *universelle* et *nécessaire*. Car si ce n'était pas le cas, rien n'empêcherait qu'on l'attribue en partie au sujet des perceptions. La prescription d'une connection temporelle nécessaire entre les éléments de l'apparaître selon les principes de l'entendement pur est donc ce qui rend possible de considérer nos représentations comme représentations *d'un objet*. Elle est ce qui permet la *connaissance*, définie comme relation d'une représentation à son objet. Ce mode de déduction transcendantale a été appliqué avec un certain succès par Kant à la justification *a priori* de certains constituants de la mécanique newtonienne, mais il est inadapté à la situation qu'affronte la physique contemporaine.

En premier lieu, on doit remarquer qu'organiser les phénomènes de telle manière qu'ils puissent être tenus pour autant d'aspects d'une pluralité d'objets permanents, séparés spatialement, en interaction, et porteurs de déterminations propres, ne constitue pas un pré-requis indispensable à l'activité scientifique. Sans doute doit-on admettre que ce type d'organisation, (que nous qualifierons désormais en abrégé de "pluri-objectuelle") est un "trait indiscutable" de notre vie quotidienne et de la physique classique, et qu'il est de plus présupposé par le

*jugement*⁹. Mais il n'a aucune raison de rester indiscuté dans *tous* les domaines explorés expérimentalement. En microphysique, la persistance de l'organisation pluri-objectuelle de l'expérience n'est certes pas impossible, mais le prix à payer pour son maintien est hors de proportion avec ses avantages. Plutôt que de rester fascinés par l'organisation pluri-objectuelle présupposée par notre action et notre discours, nous devrions par conséquent analyser la *fonction* qu'elle remplit dans notre vie et dans la science classique, et voir si d'autres formes d'organisation de l'expérience ne peuvent pas remplir cette fonction aussi bien qu'elle.

Quelle est donc la fonction élémentaire de l'organisation pluri-objectuelle de l'expérience? Mise en oeuvre par un individu, elle contribue à guider ses activités en lui permettant d'anticiper le résultat de chacun de ses actes¹⁰. Dans une communauté d'individus, son universalité présupposée garantit la possibilité de formuler des règles d'anticipation collectivement améliorables et valable pour tous. Mais les objets physiques ne sont pas les unités anticipatrices les plus *générales* que l'on puisse concevoir. Leur fonction prospective repose en effet sur une possibilité de réidentification à travers le temps, de focalisation sur un pôle invariant par-delà les altérations qu'il permet d'anticiper; et l'acte de réidentification, à son tour, requiert un certain degré de continuité et de déterminisme dans l'évolution des phénomènes. Or, il n'est pas certain que ces conditions drastiques puissent être satisfaites dans tous les domaines accessibles à l'expérimentation (on a d'ailleurs de bonnes raisons d'en douter dans le domaine microscopique). Assurer *en toutes circonstances* la fonction de guidage prospectif suppose par conséquent qu'on s'affranchisse de l'organisation pluri-objectuelle qui l'assurait dans des circonstances familières mais très particulières. Une solution pour cela consiste à remplacer le critère d'identité d'un objet par celui de reproduction d'un type de situation (perceptive ou expérimentale)¹¹, et

⁹ E. Kant, *Critique de la raison pure*, B141, in: *Oeuvres philosophiques I*, op. cit. p. 859

¹⁰ Selon les philosophes de la tradition phénoménologique, les objets physiques opèrent dans notre vie comme des unités d'anticipations, avec leurs facettes entourées d'"horizons" prospectifs. Voir E. Husserl, *Expérience et jugement*, PUF, 1970.

¹¹ Cette clause de reproductibilité peut à son tour être garantie par la description et la réalisation d'une expérience de *second ordre* visant à s'assurer de la stabilité de l'expérience du *premier ordre*. Mais la régression d'expérience en expérience doit être arrêtée quelque part. C'est à ce point que l'organisation pluri-objectuelle ré-intervient. En effet, prédiquer une propriété d'un objet (par exemple d'un dispositif expérimental) est une manière de s'appuyer *tacitement* sur la certitude que la classe des situations dans lesquelles s'observent les phénomènes correspondant au prédicat

à généraliser la demande d'anticipation à une simple évaluation *probabiliste*.

Cette analyse nous laisse apercevoir ce que devrait être le point de départ d'une déduction transcendantale généralisée. Il ne devrait plus s'agir du trait "indiscutable" de l'expérience de notre environnement mésoscopique que représente l'organisation de son système d'anticipations en une pluralité d'objets permanents dotés de propriétés. Il devrait plutôt s'agir d'exigences portant sur le mode d'anticipation des résultats de nos jeux de recherche, y compris loin de notre environnement mésoscopique.

Demandons-nous à présent à quel genre de point d'arrivée nous devrions nous attendre pour la déduction transcendantale généralisée. L'aboutissement du raisonnement de Kant s'identifie aux *lois* de l'entendement pur. Il ne faut cependant pas oublier que ce qui rend possible l'expérience au sens kantien, ce n'est pas tant l'obéissance effective des éléments de l'apparaître aux lois, que l'*anticipation* d'un ordre légal dans l'investigation des phénomènes naturels. Les analogies de l'expérience fournissent seulement "une règle pour chercher (un phénomène) dans l'expérience et une marque pour l'y découvrir"¹². Elles ont une valeur régulatrice pour la recherche de phénomènes particuliers, bien qu'elles soient constitutives de l'expérience en général. Elles ressemblent, sous le premier aspect, aux idées de la raison, qui se bornent à indiquer comment nous devons *chercher* la constitution et la connexion des objets d'expérience¹³.

Il nous suffit de joindre cette remarque à l'idée d'une co-constitution des phénomènes par le projet de recherche, pour désigner ce que devrait être le point d'arrivée de la nouvelle version de déduction transcendantale: non plus une loi qui ordonne (fût-ce prescriptivement) le produit de la recherche, mais une structure d'anticipation qui est prescrite à *l'activité du chercheur*. Comme nous allons le voir, la mécanique quantique peut en grande partie être dérivée de cette manière.

Mais quelles sont les contraintes de départ qui permettent d'aboutir au noyau structural de la mécanique quantique?

peut toujours être réalisée à nouveau. L'organisation pluri-objectuelle ne se voit ici reconnaître aucun autre privilège que sa position au plus près des "gonds" wittgensteiniens de notre action et de notre discours.

¹² E. Kant, *Critique de la raison pure*, A180-B222, in: *Oeuvres philosophiques I*, op. cit. p. 917

¹³ *ibid.* A671-B699.

-La première est que la prédiction doit s'appliquer à des phénomènes *contextuels*. Il s'agit là d'une clause extrêmement générale qui consiste plutôt à relaxer la contrainte standard d'invariance des phénomènes à l'égard de divers changements de contexte expérimental, qu'à en imposer une nouvelle.

-La seconde consiste à imposer qu'à *chaque préparation expérimentale* corresponde *un outil de prédiction unifié*, valant pour n'importe quelle opération de mesure (et pour n'importe quel contexte instrumental associé) qui pourrait suivre la préparation.

La seconde clause peut être considérée comme l'analogie du point de départ choisi par Kant pour la version 'subjective' de sa déduction transcendantale. La différence est que, tandis que Kant mettait "(...) le divers de représentations données sous l'unité de l'aperception (...)"¹⁴, nous demandons que le divers des structures prédictives valant pour les multiples mesures pouvant suivre *une préparation* soit placé sous l'unité de *ce type de préparation*. Le pôle unificateur n'est plus ici une entité mentaliste (l'aperception ou "conscience de soi-même"¹⁵), mais plutôt le produit objectivé (le type de préparation) d'une activité expérimentale. Et les éléments à unifier ne sont plus des représentations, mais des actes formalisés d'anticipation.

En tenant compte des deux contraintes qui viennent d'être énoncées, la structure de base de la mécanique quantique est facile à obtenir¹⁶. En premier lieu, comme l'a prouvé P. Heelan¹⁷, les langages méta-contextuels aptes à unifier les langages expérimentaux contextuels typiques de la microphysique sont isomorphes à la "logique quantique" de Birkhoff et Von Neumann. En second lieu, ainsi que P. Destouches-Février et quelques autres auteurs¹⁸ l'ont montré en s'appuyant sur une version généralisée du théorème de Pythagore, le formalisme des vecteurs de l'espace de Hilbert, complété par la règle de Born (qui est l'algorithme standard de calcul des probabilités à partir de vecteurs d'état), est l'un des plus simples

¹⁴ E. Kant, *Critique de la raison pure*, B134, in: *Oeuvres philosophiques I*, op. cit. p. 855

¹⁵ *ibid.* B68, p. 808

¹⁶ Pour plus de détails, voir M. Bitbol, *Mécanique quantique, une introduction philosophique*, op. cit.

¹⁷ P. Heelan, "Complementarity, context-dependence, and quantum logic", *Foundations of physics*, 1, 95-110, 1970

¹⁸ P. Février, *L'interprétation physique de la mécanique ondulatoire*, Gauthier-Villars, 1956; R.I.G. Hughes, *The structure and interpretation of quantum mechanics*, Harvard University Press, 1989.

parmi les formalismes qui obéissent aux deux clauses de contextualité et d'unicité de l'outil prédictif pour une préparation donnée. Dans ce formalisme, la contrainte d'unicité est traduite soit par le moyen d'un symbole unique permettant de calculer autant de listes de probabilités que d'opérations de mesure mises en oeuvre à la suite de la préparation, soit en utilisant des règles synthétiques de transformation entre listes de probabilités. La première stratégie, la plus courante, consiste à associer un "vecteur d'état" unique à chaque préparation, et la seconde, plus confidentielle mais très révélatrice des modalités de la recherche d'invariants en physique, n'est autre que la "théorie des transformations" de Dirac.

Bien entendu, ces premiers résultats sont insuffisants. La mécanique quantique ne se réduit pas à l'utilisation, en tant qu'outil probabiliste unifié, de vecteurs dans un espace de Hilbert. Il faut au moins y ajouter une équation d'évolution, du type de l'équation de Schrödinger. Mais cette équation est généralement présentée dans les manuels de mécanique quantique comme un simple "postulat" qui ne se prête à aucune autre justification qu'*a posteriori*, c'est-à-dire d'ordre empirique. Le procédé d'argumentation transcendantale aurait-il trouvé ses limites? En vérité, il n'en n'est rien.

Il suffit d'abord de rassembler des résultats disponibles dans la littérature pour s'apercevoir que la forme générale commune à l'équation de Schrödinger et à l'équation de Dirac est facilement dérivable à partir de prémisses relativement élémentaires. Elle est dérivable sous un ensemble d'hypothèses garantissant: (i) que les nombres calculés à l'aide de la règle de Born obéissent aux axiomes de la théorie classique des probabilités de Kolmogorov à tout instant, et (ii) que l'opération 'produit' dote l'ensemble des opérateurs d'évolution d'une structure de semi-groupe commutatif à un paramètre "temps"¹⁹. Seule la nature de l'opérateur Hamiltonien de ces équations reste non spécifiée par ces hypothèses. Mais elle peut l'être soit en appliquant le "principe de correspondance" avec les théories classiques, soit en introduisant directement dans la forme générale des équations d'évolution les symétries fondamentales qui sous-tendent respectivement la mécanique classique et la mécanique relativiste.

¹⁹ 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.

Ces procédures de dérivation une fois analysées, il n'est pas difficile de les lire comme des arguments transcendants qui n'osent pas dire leur nom. Certaines d'entre elles, comme celle qui part d'une condition de stabilité trans-temporelle des règles de dérivation de probabilités à partir du vecteur d'état, sont des arguments transcendants autonomes (il s'agit dans ce cas d'une condition de possibilité de l'utilisation de prédictions probabilistes). D'autres sont des arguments transcendants de *transition*. Ils ont pour fonction d'établir une transition entre deux niveaux d'argumentation transcendantale: (a) la forme spécifique de déduction transcendantale utilisée par Kant, qui valait implicitement pour le seul *Umwelt* du genre humain, et (b) la forme généralisée de déduction transcendantale requise par une recherche scientifique qui se propose de pousser ses investigations *au-delà* de cet *Umwelt*. S'appuyer sur le "principe de correspondance", c'est manifestement mettre en oeuvre un argument transcendantal de transition. Car, dès sa formulation par Bohr, ce principe s'était vu assigner pour rôle d'assurer une relation entre (a) l'organisation pluri-objectuelle (de dernier ordre) qui sous-tend la vie quotidienne et la physique classique, et (b) l'organisation ouvertement procédurale et contextuelle de la physique quantique. Mais on peut aussi compter parmi les arguments de transition ceux qui partent d'exigences de symétrie comme l'invariance du formalisme par translation dans le temps, par translation dans l'espace, et par rotation dans l'espace. En effet, selon une phrase célèbre d'E. Wigner, ces exigences "sont presque des conditions préalables nécessaires pour qu'il soit possible de découvrir (...) des corrélations entre événements"²⁰. Comment de telles corrélations entre phénomènes se manifestant à l'échelle mésoscopique seraient-elles identifiables si les règles de succession elles-mêmes changeaient d'un point à l'autre du monde, et d'un instant à l'autre?

Il reste la condition selon laquelle l'opération 'produit' doit doter l'ensemble des opérateurs d'évolution d'une structure de semi-groupe commutatif d'opérateurs linéaires à un paramètre. Cette condition (appelons-la, en abrégé, "condition de semi-groupe") est très abstraite. On a du mal à imaginer qu'elle puisse servir de point de départ à un argument transcendantal, et pourtant c'est bien le cas. Elle est en effet aisément interprétable comme une forme détaillée de la clause initiale d'unité de l'outil prédictif (que nous avons prise pour principal point

²⁰ E. Wigner, *Symmetries and reflections*, Ox Bow Press, 1979, p. 29.

de départ de notre déduction transcendantale généralisée). À travers elle, la clause d'unité sous le concept de préparation est déclinée selon les trois modes kantien de connection temporelle (c'est-à-dire la permanence, la succession, et la simultanéité). On s'aperçoit de cela lorsqu'on constate que la condition de semi-groupe a les trois conséquences suivantes:

(1) Elle impose de projeter la *continuité* de la dimension paramétrique 'temps' sur l'évolution de l'outil prédictif (le vecteur d'état). Cette continuité permet d'*identifier* chaque vecteur d'état à un instant t comme le transformé temporel du vecteur d'état qui avait été associé, à l'instant initial, avec une préparation donnée²¹. Elle assure la fonction de la catégorie de *substance*, en l'appliquant à l'outil prédictif plutôt que directement aux phénomènes.

(2) La "condition de semi-groupe" rend *déterministe* l'évolution des vecteurs d'état²². Ce déterminisme garantit que chaque vecteur d'état succède à un vecteur d'état précédent selon une *règle*. Il assure la fonction de la catégorie de *causalité*, mais en l'appliquant à l'outil prédictif et non aux phénomènes.

(3) En vertu de la linéarité des opérateurs d'évolution que suppose la "condition de semi-groupe", chaque structure disjonctive de *superposition linéaire* des vecteurs d'état est exactement maintenue à travers le temps. Ce maintien garantit la stabilité de la relation interne établie initialement entre les contenus prédictifs de plusieurs sous-préparations combinées en une seule préparation complexe. Il assure la fonction de la catégorie de *réciprocité*, qui correspond, il faut le remarquer, au jugement disjonctif dans les tableaux analytiques de la fonction de synthèse de l'entendement. Mais il l'applique au contenu prédictif de préparations coexistantes plutôt que directement à des phénomènes coexistants.

Au total, imposer la "condition de semi-groupe" revient à transporter le lieu d'application des principes régulateurs qualifiés par Kant d'"analogies de l'expérience". Il est déplacé de l'espace concret où surviennent les phénomènes, à l'espace abstrait où évolue une structure prédictive.

Il n'est pas pour autant possible de dériver *la totalité* de la théorie quantique par une déduction transcendantale. Comme dans la tentative kantienne de procéder à une déduction transcendantale de la

²¹ Il s'agit là plus exactement d'une procédure de "génidentification" au sens de Reichenbach.

²² B. Van Fraassen, *Quantum mechanics, an empiricist view*, op. cit. p. 177-179

mécanique newtonienne, un élément empirique *doit* être introduit quelque part. Mais, dans le cas de la mécanique quantique, cet élément empirique est relativement restreint. Si l'on admet le statut (localement ou globalement) transcendantal des symétries qui permettent de calculer les Hamiltoniens et Lagrangiens pertinents²³, on n'a besoin que d'un élément empirique supplémentaire à la fois très simple et non-structural: la valeur non-nulle de la constante de Planck.

Il n'est cependant pas impossible de faire aussi rentrer la valeur de la constante de Planck dans le champ très large des méthodes transcendantales, pour peu qu'on y inclue le genre original d'argument transcendantal que développe la *Critique de la faculté de juger*. Ce nouveau type d'argument transcendantal ne concerne pas, selon le vocabulaire de Kant, le jugement déterminant (qui s'appuie sur un universel déjà fourni par l'entendement comme condition *a priori* d'une connaissance objective), mais le jugement réfléchissant (qui vise à identifier un cadre universel sous lequel puissent être subsumés certains traits de contingence persistante des phénomènes naturels)²⁴. Il s'appuie sur notre besoin subjectif de penser la nature comme unité systématique et de présupposer un ordre téléologique pour cela. Or, il se trouve que la valeur de la constante de Planck peut parfaitement être obtenue en ayant recours à une version modernisée d'argument téléologique, à savoir le *principe anthropique faible*. Ainsi est complétée la dérivation de la mécanique quantique par une série d'arguments transcendantsaux.

2-Quels enseignements tirer d'un succès de la méthode transcendantale en physique?

Nous devons à présent nous interroger sur la signification qu'a la possibilité d'une telle déduction transcendantale pour notre

²³ Bien des physiciens attribueraient certainement aux symétries qu'ils utilisent (en particulier aux symétries "internes") un statut plus empirique que transcendantal, et auraient de bonnes raisons pour le faire. La question reste donc ouverte. Mais certains arguments, comme ceux de J. Petitot ("Objectivité faible et philosophie transcendantale", loc. cit.), peuvent conduire à pencher du côté d'un statut transcendantal de *toutes* les symétries. Et d'autre part, le statut *manifestement* transcendantal de certaines symétries (comme les principes d'invariance globale, ou le groupe de Lorentz) incite à chercher s'il ne pourrait pas en être de même d'autres symétries. La justification transcendantale des théories physiques reste donc un programme de recherche ouvert plutôt qu'un acquis définitif. Mais cette ouverture doit-elle être comptée à son passif, lorsqu'on la compare à l'ouverture assumée des programmes épistémologiques concurrents?

²⁴ Il s'agit par exemple de la variété des lois de la nature, toutes conformes au principe de causalité, mais non entièrement déterminées par ce principe.

appréciation du statut des théories physique. Comme je l'ai indiqué au début de cet article, le seul fait qu'une série d'arguments transcendants permette de dériver, même après coup, les grands traits structuraux d'une théorie physique est un sérieux défi pour le réalisme scientifique. Car on a alors offert une alternative à ce que le réalisme, compris comme *théorie des théories scientifiques* prétendait être la seule à pouvoir offrir: une justification de la structure des théories scientifiques.

La justification réaliste des théories physiques qui, selon des termes évocateurs dûs à H. Putnam, semble être la seule à ne pas faire de leur succès un miracle, est facile à exprimer en quelques mots. Elle fait en bref appel à l'idée que le succès des théories physiques s'explique par leur capacité à fournir une représentation asymptotiquement fidèle de la nature considérée comme pré-structurée. Mais comment caractériser de façon aussi brève et concrète le genre de justification qu'apporte une argumentation transcendantale? Il me semble que cela n'est pas si difficile que cela. Il suffit d'admettre qu'une argumentation transcendantale de variété pragmatiste comme celle que j'ai utilisée explique le succès d'une théorie physique en montrant que cette dernière ne fait rien d'autre que recueillir, dans sa structure symbolique, la structure performative d'une activité expérimentale qui *co-émerge* avec les éléments 'factuels' qui la contraignent.

Une activité expérimentale est sous-tendue par des rationalités procédurales, et par des attentes qui déterminent aussi bien la configuration des appareils que l'ordre et les modalités de leur utilisation. Ces présupposés de l'activité expérimentale ont des conséquences sur les deux versants de l'articulation 'fait'-théorie. D'un côté, les 'faits' sont conditionnés par la forme que confèrent ces présupposés aux appareillages et à l'ordre des opérations expérimentales. Et d'un autre côté, la théorie physique formalise la structure de ces présupposés. Les 'faits' sont alors prévisibles au moyen d'une théorie dans l'exacte mesure (limitée mais non-négligeable) où ils sont informés par l'activité expérimentale dont cette théorie exprime symboliquement la structure d'attentes. L'explication par argumentation transcendantale est en somme une explication par exhibition de *clauses de conformation mutuelle* entre la forme de la théorie et la forme des phénomènes auxquels elle est confrontée, *via* la forme des présuppositions d'un programme de

recherche. Elle est une explication par mise en évidence de leur co-adaptation constitutive à travers une relation performative. Elle tranche par sa symétrie avec une explication réaliste asymétrique. Elle se distingue, par son égalité et sa concentration sur l'immanence, d'une explication réaliste hiérarchique et à visée transcendante. L'explication réaliste exige la conformité de la connaissance à ce qui est à connaître; elle est hiérarchique parce qu'elle place ce qui est à connaître avant la connaissance. Mais l'explication par argumentation transcendantale se contente d'exhiber la conformation mutuelle de l'un à l'autre, sans que jamais l'un prenne le pas sur l'autre. L'explication réaliste réclame la mise en adéquation du connaissant au connu. Mais l'explication par argumentation transcendantale se limite à une démonstration d'adéquation réciproque.

Lire l'argumentation transcendantale de cette manière apparaît il est vrai peu conforme à l'image souvent hiérarchique et fondationnaliste qu'en donne Kant dans ses textes les plus connus. N'en fait-il pas le plus souvent une remontée d'un *factum* indiscutable vers sa fondation transcendantale? La plausibilité de la lecture co-émergentiste est toutefois nettement accrue par certains textes moins souvent commentés de Kant. Ainsi, dans sa *Réponse à Eberhard*, Kant tient à réfuter une interprétation courante et erronée des formes *a priori*, selon laquelle celles-ci précéderaient chronologiquement, et non pas seulement logiquement, l'expérience. Selon lui ces formes ont beau être imposées par la spontanéité du sujet, elles ne préexistent pas, dans le sujet, à toute expérience qu'il pourrait avoir. Elles ne sont pas innées, ce qui leur donnerait toute priorité dans une hiérarchie gnoséologique. Elles ne sont pas davantage acquises à partir d'une expérience organisée, ce qui donnerait à cette dernière la priorité dans une hiérarchie inverse. Elles sont le fruit d'une "acquisition originaire"²⁵, ce qui ne suppose aucune priorité et aucune hiérarchie, mais plutôt une parfaite concomitance et une stricte égalité entre l'émergence de l'expérience et l'"acquisition" de ses formes constitutives. En extrapolant ces remarques de Kant, on est donc tenté d'admettre que, selon lui, la part formelle des phénomènes n'est ni antérieure à l'expérience ni tirée de l'expérience; qu'elle est *co-produite* avec l'expérience, et automatiquement co-adéquante à elle.

²⁵ E. Kant, *Sur une découverte selon laquelle toute nouvelle critique de la raison pure serait rendue superflue par une plus ancienne*, in: E. Kant, *Oeuvres philosophiques II*, Pléiade-Gallimard, 1985, p. 1351

C'est en tout cas ce genre de variation sur le thème transcendantal qu'ont développé par la suite les philosophes de l'école de Marbourg. Je n'en veux pour preuve que cette critique du fondationnalisme asymétrique de la déduction transcendantale kantienne, où P. Natorp insiste pour se garder de vouloir "fonder l'être sur la pensée". Bien au contraire, écrit-il, la méthode transcendantale arrivée à maturité, telle que la met par exemple en oeuvre H. Cohen, consiste à "(...) chercher la présentation d'une réciprocité contraignante, en laquelle il n'est ni *prius* ni *posterius* (...)"²⁶.

Cette conception symétrique de l'argumentation transcendantale, et le mode de justification des théories qui s'y associe, nous permettent de renouveler la perception habituelle du sens des révolutions dans les sciences physiques. Celles-ci ne sont pas à comprendre comme un affinement de la représentation, en direction d'une fidélité accrue à une nature pré-structurée. Elles ne résultent pas davantage (ou pas seulement) d'un *Gestalt-Switch* sociologique plus ou moins arbitraire. Elles sont une réaction, d'abord tâtonnante, puis de plus en plus méthodique, face à l'inadéquation entre la structure d'attentes recueillie par la théorie traditionnellement admise et les présupposés d'une gamme nouvellement étendue d'activités expérimentales; elles ont pour finalité effective (bien que rarement reconnue) d'accorder la structure théorique d'attentes à ces présupposés inédits. Quant à l'application de la méthode transcendantale, elle permet de révéler le contenu des présupposés qui se sont trouvés formalisés dans une théorie physique. La méthode transcendantale est en bref un moyen d'acquérir une conscience rétrospective de la relation de co-adéquation sur laquelle repose chaque théorie physique.

Pas plus qu'on ne s'étonne désormais de l'évolutivité, pour ne pas dire des discontinuités évolutives, des théories physiques, on n'a par conséquent à s'étonner de l'évolutivité de la justification transcendantale des théories. Par ailleurs, de même qu'on se garde de penser qu'une théorie physique antérieure est devenue "fausse" ou inutile à partir du moment où elle a été supplantée, on a toutes les raisons de se garder de croire qu'une argumentation transcendantale antérieure est caduque sous prétexte qu'elle a dû être remplacée par une autre mieux adaptée à l'état présent des sciences physiques. Une révolution scientifique ne "falsifie" pas à proprement parler une

²⁶ E. Cassirer, H. Cohen, & P. Natorp, *L'école de Marbourg*, Cerf, 1998, p. 55

théorie physique préalable; encore moins la rend-elle inutile; elle en indique les limites de validité, et le degré d'approximation, par contraste avec une théorie plus générale qui l'inclut comme un cas particulier. De façon corrélatrice, la "déduction transcendantale" d'une théorie-cadre antérieure n'est pas rendue sans intérêt par des révolutions scientifiques successives. Elle est seulement restreinte au domaine d'effectivité des présupposés performatifs qu'elle a permis de mettre au jour. On peut même se risquer à dire qu'elle comporte certains enseignements pérennes. Ces enseignements sont évidemment bien moins ambitieux que ceux que Kant prétendait tirer de sa dérivation transcendantale des trois lois de Newton dans les *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*. Ils ne reviennent pas à démontrer la validité d'une théorie physique (ici la mécanique classique) pour tout temps et pour tout être rationnel. Mais ils consistent en une preuve définitive de la stricte dépendance d'une théorie physique à l'égard d'un cadre déterminé d'attentes et de présuppositions performatives. Ils établissent sans équivoque que, sous une certaine gamme de présuppositions opératoires, une certaine structure théorique était inévitable. Et qu'inversement, la remise en cause de la structure théorique ne pourrait pas ne pas être le signe qu'un bouleversement des présupposés performatifs sous-jacents a eu lieu. Ainsi, l'application particulière qu'a fait Kant de la méthode transcendantale nous permet-elle encore aujourd'hui de dire que, sous les présupposés constitutifs d'une activité expérimentale dirigée vers la mise en évidence des propriétés d'objets permanents localisés dans l'espace et dans le temps, la structure-cadre de la mécanique classique (les trois lois de Newton ou leur équivalent Hamiltonien ou Lagrangien) était inévitable. Elle nous permet de comprendre, à l'inverse, pourquoi la mise en question de la mécanique classique par les révolutions scientifiques du vingtième siècle ne s'est pas bornée au remaniement des lois régissant les objets physiques, mais a suscité (ne pouvait pas ne pas susciter) une crise de la conception traditionnelle de ces objets eux-mêmes, et une interrogation sur l'universalité des procédures d'objectivation. Telle est, un peu ironiquement, la part d'éternité de l'application kantienne de la méthode transcendantale. Elle n'est pas d'avoir prouvé de quelque manière la nécessité générale de la structure-cadre de la mécanique classique, mais au contraire d'avoir montré sa particularité, en mettant en évidence sa coadéquation avec une structure particulière de présupposés

gnoséologiques et pragmatiques. Sa force n'en reste pas moins grande. Car elle nous permet d'affirmer avec un haut degré de confiance qu'aucun retour à ces présupposés gnoséologiques et pragmatiques n'est envisageable à partir du moment où on s'est écarté significativement des lois de la physique classique. À moins, comme l'ont fait les partisans des théories à variables cachées, de sanctuariser ces présupposés en ne les appliquant qu'à une sorte d'arrière-monde principiellement inaccessible à l'expérience (et dont l'essai de description est par conséquent affecté d'un haut degré d'arbitraire).

3-Intérêt et limites d'une naturalisation du transcendantal²⁷

Je vais à présent essayer de développer ces idées en établissant une comparaison entre les méthodes transcendantales et les conceptions auto-organisationnelles de la cognition. Des conceptions auto-organisationnelles qui ont l'intérêt pour nous d'être associées à une théorie non-représentationaliste de la connaissance: exactement aussi non-représentationaliste que la vision à laquelle nous a conduit notre réflexion sur l'application d'arguments transcendantsaux en physique quantique.

Le paradigme auto-organisationnel des sciences cognitives est issu d'une critique en règle du paradigme concurrent "de la commande". Dans ce dernier, il n'est question que de systèmes de traitement et d'exploitation de l'*information*. L'information est ici supposé arriver d'un monde extérieur pré-structuré (ce sont les "entrées"); elle est traitée au moyen d'une représentation intériorisée des traits invariants de ce monde; et elle engendre des "sorties" que l'on souhaite efficaces. Mais dans le paradigme auto-organisationnel, il n'est plus question de fidélité de la représentation à un monde extérieur. À la place des conditions de *correspondance*, interviennent directement des conditions de *survie* d'unités dotées de ce que F. Varela appelle une "clôture opérationnelle"²⁸. Le seul invariant de ces unités est leur propre organisation, et leur "domaine cognitif" est défini comme la fraction d'environnement au sein de laquelle leur organisation peut persister en dépit des perturbations qui leur sont

²⁷ Les idées développées dans cette section ont été présentées pour la première fois dans l'article suivant: M. Bitbol, "Physique quantique et cognition", *Revue Internationale de Philosophie*, 2000 (sous presse)

²⁸ F. Varela, *Autonomie et connaissance*, Seuil, 1989

infligées. Le procédé par lequel une unité se préserve en intégrant à son fonctionnement les perturbations courantes, est appelé par Piaget *l'assimilation*. Et le processus par lequel elle se transforme afin de parvenir à assimiler de nouvelles sortes de perturbations est qualifié *d'accomodation*²⁹. Les comportements adaptés dont fait preuve une unité auto-organisationnelle ne révèlent pas ici qu'elle est en possession d'une représentation fidèle de son environnement, mais seulement que le fonctionnement de sa clôture opérationnelle sous l'effet de perturbations environnementales, est *viable*. En particulier, les catégorisations qui sous-tendent ses comportements ne sont pas le reflet intériorisé du pré-découpage d'un monde ordonné. Elles sont interprétées comme le produit stabilisé, au sein du cycle d'opérations qui constituent l'unité auto-organisationnelle, de l'histoire des relations réciproques entre elle et un environnement pouvant parfaitement être chaotique au départ³⁰. *Chaque* prédicat correspond à un "comportement propre" bien défini de l'unité considérée, à l'un de ses cycles-limites, ou encore (en utilisant le vocabulaire des systèmes dynamiques), à l'un des *attracteurs* du fonctionnement de sa clôture opérationnelle. Ici, le système des prédicats sortaux (celui des désignations d'espèces) ne découpe pas le monde "selon ses articulations"; il découpe le système des relations possibles entre l'être vivant et le milieu selon ses régions de stabilité.

Pour autant, la thèse auto-organisationnelle n'échappe pas à une aporie sceptique formulée dans ses propres termes. Le défi qu'elle affronte ne concerne pas, comme dans le scepticisme empiriste, la conformité de la connaissance à ce qui est à connaître, mais il la met en question dans sa prétention à *décrire* quelque chose (en l'occurrence le processus d'assimilation-accomodation des perturbations environnantes à une unité auto-organisée). Dans le cadre de cette thèse, une unité auto-poïétique a à constituer les *relata* des relations de "co-implication" qu'elle entretient avec son milieu, sans jamais disposer de rien d'autre pour y parvenir que de ceux de ses états propres qui sont censées résulter des relations en question. De son point de vue, l'hypothèse même qu'*il y a* de telles relations, et que leur constitution n'est qu'une *re-constitution*, ne doit dès lors être tenue que pour une projection après coup du résultat de la procédure de constitution.

²⁹ J. Piaget, *Biologie et connaissance*, Gallimard, 1967

³⁰ F. Varela, *Autonomie et connaissance*, op. cit. p. 219

Si elles étaient appliquées en retour à celui qui formule la théorie auto-organisationnelle de la cognition, ces réflexions devraient le conduire à reconnaître que la description d'une interaction entre unité auto-poïétique et environnement perturbateur, n'est, elle aussi, que la projection après coup du résultat d'un travail antérieur de constitution; ici, le travail de constitution de l'unité auto-poïétique en laquelle il consiste lui-même. Cette description ne peut, en vertu de son contenu lui-même, se prévaloir d'une quelconque vérité, mais seulement d'une viabilité relative à sa procédure de constitution. Quelle(s) attitude(s) adopter face à cette menace d'auto-résorption de la conception non-représentationnaliste de la cognition?

Deux attitudes sont disponibles. La première, celle de la méthode transcendantale, revient à se contenter de déployer après coup le corpus stabilisé de présuppositions formelles auquel a abouti un processus constitutif originaire qu'on se garde bien de *décrire*, et même d'évoquer ouvertement. La deuxième attitude consiste à ne pas se laisser détourner de la stratégie auto-organisationnelle de naturalisation de l'épistémologie par l'objection selon laquelle toute description des relations constitutives de la cognition est elle-même dépendante d'une procédure préalable de constitution. Ceux qui, adoptant cette deuxième attitude, accordent un privilège à la procédure préalable de constitution qui est celle de l'attitude naturelle et de la science classique, s'exposent il est vrai à l'accusation, justifiée, de naïveté épistémologique. Et ils annulent ainsi l'avantage qu'ils avaient par rapport aux défenseurs d'une théorie dualiste de la connaissance *constitutivement* naïve. Mais les partisans d'une théorie auto-organisationnelle de la cognition peuvent aussi éviter toute naïveté en remplaçant par un cercle vertueux dynamique le cercle vicieux statique dans lequel leurs adversaires préendent qu'ils sont piégés. Ils peuvent pour cela inscrire la relation constitutive (unité auto-poïétique / environnement) et la pré-constitution qui permet de la décrire, dans un processus dialectique où est corrigé à chaque étape le défaut de conception qui se manifeste à l'étape précédente.

A vrai dire, les deux approches précédentes, transcendantale et naturalisante, ne s'excluent pas autant qu'on le pense habituellement. Elles peuvent parfaitement se compléter. L'approche transcendantale permet à la théorie auto-organisationnelle de la cognition de justifier les catégories qu'elle hérite bon gré mal gré du sens commun ou de la science classique, sans recourir à l'idée (qu'elle refuse) d'un emprunt

de ces articulations catégoriales à un monde extérieur pré-structuré. Inversement, on est en droit de considérer que l'approche transcendantale permet d'effectuer un bilan après coup de l'accomplissement d'un processus auto-organisationnel; quelle fournit un inventaire du cadre formel qui organise un mode unique et stable de relation cognitive, établi du point de vue de quelqu'un qui participe de cette relation; qu'elle consiste en une auto-explicitation rétrospective des cadres catégoriaux propres à une certaine relation cognitive. On peut par conséquent admettre, dans le cadre d'une théorie auto-organisationnelle de la cognition, qu'il y a autant de démarches transcendantales possibles que de modes d'équilibre durable entre des populations de clôtures opérationnelles et leur *Umwelt* co-émergent.

Cette analyse nous conduit à ne plus nous focaliser sur les prétentions à la validité de l'approche naturalisante auto-organisationnelle et de l'approche transcendantale, mais à nous demander quels sont les *usages* respectifs qu'on est susceptible d'en faire. L'approche naturalisante auto-organisationnelle de la cognition, s'avère très utile, comme *méthode*, dans les situations mouvantes où l'on cherche à spécifier une nouvelle relation cognitive *comme de l'extérieur* en s'appuyant, fût-ce provisoirement, sur le cadre formel résultant d'une relation cognitive antérieure. L'approche transcendantale s'impose quant à elle, toujours à titre de *méthode*, lorsqu'on cherche à caractériser une certaine relation cognitive *de l'intérieur cette relation*, sans disposer d'aucun point de vue extérieur sur elle. L'application de cette répartition des rôles à la philosophie de la physique est immédiate. Au tout début de l'histoire de la mécanique quantique, vers la fin des années 1920, la priorité était de se familiariser avec le paysage conceptuel inédit qu'on commençait à découvrir. Le meilleur moyen pour cela était de se figurer les *relata* de la nouvelle relation cognitive formalisée par la mécanique quantique, sous les traits d'objets constitués par l'ancienne relation cognitive (celle que formalisent la mécanique et l'électrodynamique classique). C'est à cela qu'a servi la célèbre image de la "perturbation" de l'objet par l'appareil de mesure, popularisée par Heisenberg. En mettant en scène une sorte de corps matériel-objet et une sorte de corps matériel-agent de mesure qui, par sa collision, perturbe le premier de façon inanalysable, on rendait perceptible en termes semi-classiques la raison pour laquelle ni la physique classique ni ses catégories

constitutives ne pouvaient plus opérer. On traçait les contours de la nouvelle relation à partir du point de vue extérieur représentée par l'ancienne, pour mieux se convaincre de la pertinence limitée de cette dernière. Mais dans notre situation historique, où la mécanique quantique est devenu le paradigme dominant, pour ne pas dire unique (à travers ses extensions contemporaines allant de la théorie quantique des champs à la théorie des super-cordes), il est indispensable de dégager le cadre formel présupposé par la classe élargie de relations cognitives dont cette théorie vise à rendre compte, *sans* s'appuyer à titre de point de vue extérieur sur des formes antérieures (et restrictives) de relations cognitives. C'est ce que j'ai commencé à faire en montrant (par exemple dans le paragraphe 1 de cet article) comment quelques grands traits formels des théories quantiques pouvaient être retrouvés par une série d'arguments transcendants. Le programme de justification transcendantale des théories physiques est (à nouveau) ouvert.