HAL
open science

Vers une critique de la raison quantique: les approches transcendantales en mécanique quantique.

Patricia Kauark-Leite

To cite this version:

Patricia Kauark-Leite. Vers une critique de la raison quantique: les approches transcendantales en mécanique quantique.. Sciences de l'Homme et Société. Ecole Polytechnique X, 2004. Français. NNT : . pastel-00001163

HAL Id: pastel-00001163

https://pastel.hal.science/pastel-00001163

Submitted on 27 Jul 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Thèse présentée pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'ECOLE POLYTECHNIQUE

Domaine : Economie et Sciences Sociales

Spécialité : Epistémologie

par

Patrícia Kauark-Leite

Vers une critique de la raison quantique :

les approches transcendantales en mécanique quantique

Soutenue le 10 décembre 2004, devant le jury composé de :

M. Michel BITBOL	*Directeur de thèse*	Directeur de recherche au CNRS
M. Christian BONNET	*Examinateur*	Maître de Conférences à L'Université de Paris I
Mme. Brigitte FALKENBURG	*Rapporteur*	Professeur à l'Université de Dortmund (Allemagne)
M. Pierre KERSZBERG	*Rapporteur*	Professeur à l'Université de Toulouse-Le Mirail
M. Jean PETITOT	*Examinateur*	Directeur d'études à l'EHESS et au CREA

L'Ecole Polytechnique n'entend donner aucune approbation, ni improbation aux opinions émises dans les thèses. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur

A Tom, Ana, Eduardo et Marina

A la mémoire de ma mère

REMERCIEMENTS

Je tiens en tout premier lieu à remercier Michel Bitbol, pour avoir accepté « *a priori* » de diriger mon travail, pour son soutien souple et permanent, pour son esprit d'équipe, pour son attitude intellectuelle.

Jean Petitot m'a accueillie au sein du laboratoire CREA. Je lui suis très reconnaissante pour sa confiance et son appui indispensables.

Peter Mittelstaedt m'a offert généreusement son temps à l'occasion du *Spring School*, à Cologne, et m'a fait profiter de ses réflexions lumineuses. Je l'en remercie vivement.

Christian Bonnet m'a fait bénéficier de suggestions qui ont été très précieuses. Je lui témoigne toute ma gratitude.

La mise au point du manuscrit a été réalisée grâce à l'aide inestimable d'Elise de Lacerda. Je tiens aussi à en remercier Brigitte Vinçon Leite, Isabelle Peschard et Sarah de Lacerda.

Ce travail a profité des discussions amicales et fructueuses avec mes collèges Manuel Bachtold, Adrien Barton, Alexis Bienvenu, Alexei Grinbaum, Lydia Jaeger, Isabelle Peschard, Stephano Osnaghi et Rachel Zahn. Je leur en suis très reconnaissante.

Je remercie chaleureusement toute l'équipe du CREA, spécialement Marie-Jo Lécuyer, Damien Brémont, Yaminah Benfrid, Danièle Bascle et Nadège Brémont.

Je suis redevable à mes collègues du Département de Philosophie de l'Université Fédérale de Minas Gerais (Brésil) pour leurs encouragements.

Il m'est impossible de mentionner nommément tous ceux qui par leur aide et leur amitié ont contribué d'une façon ou d'une autre à la réussite de ce travail. Je pense à ma famille « de France », pour leur accueil et leur entourage, à ma nombreuse famille brésilienne, à tous mes amis du Brésil, de France et d'Angleterre et tout particulièrement à Ana, Eduardo, Marina et Tom, pour leur patience infinie, leur esprit d'aventure et sans lesquels rien n'aurait été possible.

Ce travail a bénéficié du support financier du Conseil National de Développement Scientifique et Technologique du Gouvernement brésilien (CNPq).

RESUME

Cette thèse explore les interprétations transcendantales de la mécanique quantique, se concentrant sur les différences entre la constitution de l'objectivité dans la mécanique classique et dans la mécanique quantique. En premier lieu, la condition de l'objectivité dans l'épistémologie de Kant est analysée du point du vue du problème de la constitution de la matière. Par la suite, les changements épistémologiques présentés par la physique quantique sont examinés dans le but de vérifier si la philosophie transcendantale reste toujours valide. Une vue des différentes approches transcendantales est présentée, montrant les modulations des principes *a priori* pour expliquer le problème d'objectivation de la mécanique quantique. En conclusion, on défend et adopte une interprétation pragmatique transcendantale. La tâche principale est de donner une justification philosophique à la dimension intersubjective de l'objectivité quantique. L'investigation sur les conditions transcendantales converge aux conditions pragmatiques de l'usage des concepts quantiques. Le rôle du langage ordinaire dans le contexte quantique, souligné par Bohr, est évalué dans le cadre du tournant linguistique de la philosophie post-wittgensteinienne. Cette thèse défend et implique un changement des conditions transcendantales de la connaissance : des conditions subjectives de l'entendement (dans le sens de Kant) aux conditions intersubjectives du langage. Le changement lui-même est basé sur l'interprétation complémentaire de Bohr.

ABSTRACT

The thesis explores the transcendental interpretations of quantum mechanics, focusing on the differences between the constitution of objects in classical mechanics and in quantum mechanics. Firstly, the requirement of objectivity in Kant's epistemology is analyzed considering the problem of constitution of matter. Secondly, the radical changes introduced by quantum physics are examined to understand whether Kant's transcendental philosophy is still viable. An overview of different transcendental approaches is presented showing the modulations of *a priori* principles to account for the quantum mechanics objectification problem. Finally, a transcendental pragmatic interpretation is supported. The main task is to give a philosophical justification for the intersubjective dimension of quantum objectivity. The inquiry into the transcendental conditions converges to the pragmatic conditions for the use of quantum concepts. The role of ordinary language in quantum context, emphasized by Bohr, is evaluated within the framework of the linguistic turn in the post-Wittgenstein philosophy. This thesis defends and motivates the shift of transcendental conditions of knowledge from subjective conditions of the understanding (in Kant's sense) to intersubjective conditions of language. The shift itself is based on Bohr's complementarity interpretation.

INTRODUCTION

Introduction

Après le rejet de la philosophie transcendantale comme outil indispensable à l'analyse de l'activité de la science contemporaine tant de la part de philosophes empiristes, profondément marqués par le mouvement du Cercle de Vienne[1], que de celle de philosophes réalistes, d'inspiration popperienne[2], un ensemble de publications a à nouveau mis en évidence ces dernières années les conditions transcendantales des théories physiques, et plus particulièrement de la mécanique quantique. Quelques tentatives d'étendre la fécondité de la philosophie transcendantale dans le domaine de la physique contemporaine avaient été déjà faites par des philosophes néo-kantiens comme Grete Hermann, Ernst Cassirer ou Carl Friedrich von Weizsäcker. Néanmoins des nouvelles approches sont ancrées de manière plus approfondie dans les débats récents relatifs à la philosophie de la mécanique quantique[3]. Par ailleurs, l'analyse transcendantale du principe de complémentarité de N. Bohr, qui a prétendu donner une solution au paradoxe suscité par l'usage des concepts classiques dans le domaine de la microphysique, s'avère, à notre avis, une voie fertile surtout pour mieux comprendre la place du langage ordinaire dans la structuration de la physique contemporaine.

Savoir si la mécanique quantique, et plus précisément l'interprétation de Copenhague de celle-ci, a établi de nouvelles conditions *a priori* de la connaissance de la physique quantique est une question controversée. Il n'y a pas de consensus entre les interprètes qui caractérisent la pensée de Bohr et de Heisenberg tantôt comme empiriste, parfois instrumentaliste ou opérationnaliste, tantôt comme transcendantaliste. Cette liste n'est pas du tout exhaustive. Pour P. Mittelstaedt, par exemple, Bohr est le premier représentant de l'empirisme de D. Hume dans la mécanique quantique:

---

[1] Cf., par exemple, Carnap (1966), Reichenbach (1959, 1978) et plus récemment Van Fraassen (1980, 1991).

[2] Cf. Popper (1992).

[3] Cf. Peter Mittelstaedt (1994), Michel Bitbol, (1998, 2000, 2001), Catherine Chevalley (1994), J. Faye (1991), Steen Brock (2003), Gordon G. Brittan, Jr. (1994), Jean Petitot (1991, 1992, 1997) et B. Falkenburg (1988, 1998).

> En principe il y a deux manières possibles de réagir à la discordance entre les arguments transcendantaux et la mécanique quantique. La première permettrait de restreindre l'aspect physique à la donnée observée et aux résultats de mesure afin d'éviter les inconsistances mentionnées. Cette approche correspond à l'empirisme de David Hume ou au positivisme d'Ernst Mach et c'est Niels Bohr le premier qui l'a appliquée à la mécanique quantique. Ce raisonnement, qui a été développée par la suite par G. Ludwig, conduit à une description consistante des résultats de mesure sans aucune référence aux objets et à leurs propriétés.
>
> La deuxième essayerait de résoudre les inconsistances d'une manière différente et d'interpréter aussi la mécanique quantique en termes d'objets et de leurs propriétés. Cette entreprise remonte à Heisenberg et a été discutée après par G. Hermann, C. F. v. Weizsäcker, E. Cassirer parmi d'autres.[4].

A l'inverse, on trouve chez Jeffrey Bub(1973: 47) l'affirmation suivante : « La version de Bohr de l'interprétation de Copenhague est une position kantienne »[5]. Cette position est soutenue, entre autres, par Clifford A. Hooker (1972), John Honner (1982), Catherine Chevalley (1994) et S. Brock (2003).

Face à des positions philosophiques indubitablement divergentes, le problème est d'abord de savoir ce que l'on entend par 'transcendantal'. Pour cela il faut distinguer, comme Cassirer le suggère, le transcendantal du kantisme strict. L'identification entre les conditions transcendantales en général et les formes kantiennes strictes de l'*a priori* a créé beaucoup de malentendus. Au risque de rendre nulle la signification du mot transcendantal, la première question qui se pose est alors de s'interroger si l'on peut même distinguer ces deux notions. Quels pourraient être les

---

[4] "In principle there are two possible ways to react to this discrepancy between transcendental arguments and quantum mechanics. First one could restrict the physical to the observed data and measuring results this avoiding the inconsistencies mentioned. This approach corresponds to the empiricism of David Hume or to the positivism of Ernst Mach and was first applied to quantum mechanics by Niels Bohr[4]. This way of reasoning, which was later elaborated in all detail by G. Ludwig, leads to a consistent description of the measuring results without any reference to objects and their properties.

Secondly one could try to resolve the inconsistencies in some way and to interpreted also quantum physics on terms of objects and their properties. This attempt goes back to Heisenberg and was further discussed by G. Hermann, C. F. v. Weizsäcker, E. Cassirer and others." (Peter Mittelstaedt, 1994: 120).

[5] "Bohr's version of the Copenhagen interpretation is a Kantian position" (Jeffrey Bub, 1973: 47).

nouveaux transcendantaux qui ne s'identifient ni avec les intuitions sensibles pures de l'espace et du temps, ni avec les catégories et les principes de l'entendement pur ? Même en admettant que le transcendantal, en tant que forme épistémique d'argumentation, parfaitement légitime, et les formes strictes kantiennes sont des choses absolument dissociables, et que ces dernières ont un domaine de validation extrêmement limité, c'est-à-dire, qu'elles ne sont appliquées qu'à la physique newtonienne, une deuxième question doit être considérée : dans quelle mesure l'universalité prétendue, intrinsèque aux principes transcendantaux, reste elle valable quand la science elle-même change ? Cette question du fixisme des formes *a priori* conduit à une alternative : soit on remplace les formes limitées kantiennes par des formes transcendantales plus universelles ; soit on renonce complètement à la prétention universelle en faveur des *a priori* historiques, conditionné à chaque système théorique spécifique. La dernière option, plus séduisante, paraît la plus acceptable pour les épistémologues qui veulent maintenir l'actualité de l'analyse transcendantale. Cette approche qui envisage l'*a priori* dans un sens relatif a été initialement proposée par le jeune Reichenbach en 1920, dans son livre sur la théorie de la relativité. En 1923 Clarence Irving Lewis publie un article en défense d'une conception pragmatique de l*'a priori,* développée en détail dans son œuvre de 1929 *Mind and the world-order,* où l'idée de l'*a priori* fonctionnel est considérée en termes purement analytiques en niant complètement le synthétique *a priori*. Dans le contexte de la mécanique quantique C. F. von Weizsäcker, J. Petitot et M. Bitbol sont sans doute les représentants les plus significatifs des *a priori* relatifs. Une troisième question qui se pose cependant est de savoir pourquoi on garde le label transcendantal pour nommer une approche tout à fait étrangère à l'approche kantienne, au lieu de parler de conventions à la façon de Poincaré, comme l'a proposé Schlick, sans avoir besoin d'utiliser un terme traditionnellement attaché à un programme fondationniste fort.

Une bonne partie de cette thèse est consacrée à tenter répondre à ces questions, qui ne sont pas évidentes. La mécanique quantique est davantage un milieu privilégié dans lequel ces questions peuvent être approfondies. D'une part, parce qu'on est face à l'un des changements les plus radicaux de la science physique contemporaine dont la réflexion transcendantale doit rendre compte. D'autre part, parce que la discussion sur le

maintien des structures *a priori* a été conduite par les pères fondateurs de l'interprétation de Copenhague eux-mêmes.

Parmi les interprètes de la mécanique quantique qui soutiennent une position transcendantale, différentes modulations du statut de l'*a priori* sont proposées. J'ai essayé de les regrouper dans le tableau ci-dessous :

Le statut de l'a priori	**Les interprètes**	**Les adaptations**
L'universel absolu : Les formes kantiennes restent valables pour la mécanique quantique si l'on restreint leur domaine d'application	[Bohr] et Heisenberg	Limitation fixée par le principe de complémentarité
	Grete Hermann	Causalité à rebours (non déterministe)
	Peter Mittelstaedt	1- On limite les formes *a priori* aux propriétés objectives de l'objet quantique. Il appelle ensemble de propriétés objectives des résultats de mesure d'observables compatibles. (années 60) ; 2- On change le concept d'objet en adoptant le concept d'*unsharp object* (indétermination objective) (à partir des années 80).
L'universel faible : les formes flexibles	Cassirer	Le principe de causalité comme conformité à des lois qui dépendent de l'état de développement de la science (*lawlikeness*).
La relativisation de *l'a priori*	Von Weizsäcker	Les conditions constitutives de l'expérience sont historiques : absence d'une limite rigide entre les concepts d'*a priori* et d'empirique. La symétrie comme principe transcendantal.
	Jean Petitot	La relativisation de l'esthétique transcendantale. La symétrie comme *a priori* constitutif de la physique.
La pragmatisation de *l'a priori*	Michel Bitbol	Relativité de l'*a priori* par rapport à un certain mode d'activité expérimentale (jeux de recherche particulière).

Nous proposons dans ce travail de situer l'ensemble de ces variations par rapport à une certaine lecture de la philosophie de Kant, afin de clarifier les différentes modulations de l'*a priori* et les changements qu'il a subis dans le processus de prise en compte les paradoxes de la théorie quantique. Nous allons prendre comme référence deux interprétations qui à notre avis nous permettront d'expliciter les enjeux principaux des approches qui essaient de comprendre la mécanique quantique sous le regard

kantien. Comme outils herméneutiques, ces deux interprétations ont des fonctions distinctes et complémentaires quand il s'agit de mettre en évidence soit la dimension constitutive soit la dimension régulatrice des principes transcendantaux.

Sur le plan constitutif, nous allons nous appuyer sur la lecture néokantienne proposée par H. Cohen qui manifeste la tâche méthodologique primordiale de la *Critique de la raison pure*. Nous voulons aussi faire ressortir, à côte des autres principes transcendantaux, le rôle du principe des anticipations de la perception. Nous allons l'étudier d'abord dans le contexte strict de la doctrine kantienne vis-à-vis de la mécanique classique afin de, dans un second moment, le situer par rapport aux changements radicaux introduits par la mécanique quantique.

Sur le plan régulateur, nous nous référons à une interprétation de Kant, qualifiée ici d'holiste et que l'on trouve, par exemple chez Gerd Buchdahl. Cette interprétation holiste contraste avec les interprétations 'atomistes' de Kant qui prennent soit l'intuition ou l'esthétique transcendantale soit le principe de causalité ou les analogies de l'expérience comme des éléments détachés de tout le réseau qui compose le système philosophique kantien. Nous aimerions montrer que, l'interprétation de Buchdahl, autorise une théorie de la science plus articulée que celle usuellement attribuée à Kant. C'est sur cette base que nous essayons de comprendre le principe de causalité comme un principe régulateur chez Cassirer, le principe de symétrie comme un principe transcendantal unificateur de la science chez von Weizsäcker et les arrière-plans traités comme inconditionnés à chaque état donné du développement des sciences comme l'a proposé Michel Bitbol.

Dans cette perspective, la succession des chapitres ne suit pas une ligne chronologique. On trouve par exemple P. Mittelstaedt placé avant E. Cassirer. La raison en est qu'on a donné priorité à l'ordre des conceptions de l'*a priori* sur l'ordre historique. Le chapitre sur Cassirer est central. On lui donne une importance spéciale car il a ouvert le chemin à une interprétation plus flexible des conditions transcendantales.

La structure de la thèse comporte ainsi trois parties.

La fonction de la première partie dans le plan général de la thèse est essentiellement propédeutique. Nous allons retourner à Kant en nous appuyant sur l'interprétation néokantienne de H. Cohen afin d'examiner l'articulation des principes

synthétiques *a priori* avec les premiers principes de la science de la nature. Nous ne voulons pas cependant faire une présentation systématique de la doctrine kantienne ni même un abrégé de sa philosophie de la science. Pour cela on a une littérature vaste à notre disposition. Mais, pour bien apprécier l'articulation entre les principes de l'entendement pur et les principes métaphysiques de la physique nous allons nous tourner vers une question spécifique de la philosophie kantienne de la nature concernant la constitution de la matière. Cela nous permettra d'analyser plus précisement dans la suite de notre travail la façon dont la mécanique quantique a mis en cause cette question et mieux évaluer les différentes perspectives qui malgré tous les changements apportés par la nouvelle physique insistent encore sur le point de vue transcendantal.

Dans les deux parties suivantes c'est bien l'impact de la réflexion transcendantale sur l'analyse épistémologique de la mécanique quantique qui sera objet de notre étude. Dans la deuxième, composée de trois chapitres, sont présentées et discutées les solutions qui maintiennent inchangées les formes *a priori* kantiennes en limitant leurs conditions d'application. Le premier chapitre concerne les limitation aux conditions *a priori* kantiennes imposées par l'interprétation de complémentaire. Le second chapitre discute l'interprétation de G. Hermann qui développe le concept de causalité rétroactive dissocié du principe de déterminisme comme *a priori* et universellement valable pour la mécanique quantique. Le troisième chapitre analyse les deux solutions proposées par P. Mittelstaedt : la première, basée sur le clivage entre des propriétés objectives et des propriétés non objectives, maintient la validité des principes kantiens mais les restreint aux propriétés objectives de l'objet quantique ; la deuxième propose le concept de '*unsharp object*' en supposant que dans une perspective d'indétermination objective les principes *a priori* kantiens restent absolument valables. En conclusion de cette première partie on analyse les difficultés liées à la limitation des conditions *a priori* telles que Kant les a définies.

La troisième et dernière partie de la thèse se compose de quatre chapitres où le programme de relativisation de l'*a priori* dans ses différentes modulations est analysé. Ainsi l'historicité des conditions constitutives de l'expérience et la fonction des principes régulateurs sont discutées dans le cadre du nouveau concept d'*a priori* relationnel. Dans les chapitres sept, huit et neuf à propos des interprétations d'E. Cassirer, C.F. von Weizsäcker et J. Petitot sont présentées les différentes façons de

considérer la relativité des principes *a priori* dans le contexte de la mécanique quantique: le principe de causalité comme conformité à des lois physiques historiquement variables ; le rôle de la symétrie comme principe transcendantal ; et les nouveaux principes mathématiques constitutifs de la physique quantique. Il ne s'agit plus de maintenir les *a priori* tels que Kant les avait définis, mais d'introduire des principes nouveaux afin de rendre compte de l'état actuel de la science. Dans cette partie, deux questions sont analysées à la lumière des réflexions apportées par Cassirer, von Weizsäcker et Petitot : premièrement, les rôles différents des principes constitutifs et régulateurs en mécanique quantique ; deuxièmement, la contradiction apparente entre l'idée de relativisation, qui met en valeur la dimension historique des principes scientifiques, et l'idée de l'*a priori,* qui dans sa conception originelle, affirme justement le caractère nécessaire et universel de la physique mathématique.

Sur le chemin ouvert par la relativisation des *a priori*, le dernier chapitre de la thèse considère le programme de pragmatisation, et plus spécifiquement la perspective du pragmatisme transcendantal, qui dans le contexte épistémologique de la mécanique quantique a comme son principal représentant Michel Bitbol. A la différence des approches antérieures, de Grete Hermann à Jean Petitot, l'accent est maintenant mis sur la dimension proprement intersubjective de l'objectivité quantique. La recherche des conditions transcendantales est alors orientée vers les conditions pragmatiques de l'usage des concepts. Dans ce cas le rôle du langage ordinaire en mécanique quantique ne peut pas être négligé. Cette perspective est ainsi analysée dans le cadre du tournant linguistique qui marque la philosophie du vingtième siècle, initié d'une part par le *Tractatus logico-philosophicus*, du premier Wittgenstein, et d'autre part par la sémantique logico-constructive de Carnap et Tarski. Devant la limitation de la sémantique analytique, la perspective pragmatique est alors explorée pour surmonter les apories du programme carnapien. Dans ce dernier chapitre conclusif de la thèse notre intention principale est de discuter le pragmatisme transcendantal par rapport au pragmatisme analytique et d'analyser la perspective de Michel Bitbol en défense d'une position pragmatico-transcendantale en mécanique quantique. Nous cherchons ensuite à montrer les divergences de cette perspective en termes doctrinaux par rapport au pragmatisme transcendantal de K.O. Apel et J. Habermas. Et pour conclure, nous discutons l'interprétation complémentaire dans le cadre de la perspective pragmatico-

transcendantale, en analysant surtout le rôle du langage ordinaire dans l'élucidation des paradoxes de la mécanique quantique.

En réalisant un bilan et une analyse des approches transcendantales de la mécanique quantique, cette thèse s'inscrit dans un programme méthodologique plus général d'une historiographie systématique dans le sens pris par Habermas (1976 : 334) dans la postface de *Connaissance et Intérêt* ; une historiographie qui sous-entend une attitude critique vis-à-vis du scientisme dominant dans la tradition philosophique analytique. Ce scientisme, qui dans sa version contemporaine, est représenté par l'empirisme logique, a exclu de sa méthodologie la dimension à la fois pragmatique et transcendantale de la connaissance scientifique. Ainsi il a fait abstraction du fait que l'usage naturel de la langue est nécessairement présent dans tous les contextes de la pratique scientifique. Et en plus il a essayé d'éliminer toute sorte de réflexion transcendantale sur les conditions de possibilité de l'expérience, en dissociant la dimension *a priori*, en tant qu'analytique, de la dimension empirique. Le fait de ne pas prendre en compte le rôle du langage ordinaire dans le contexte de la pratique scientifique nous empêche de voir une des grandes nouveautés épistémologiques apportée par Bohr dans le cadre de la mécanique quantique. Depuis son travail, nous sommes contraints d'admettre que les conditions de compréhension d'un phénomène physique sont en même temps les conditions de possibilité de sa communication. Par ailleurs, l'acte fondateur de l'empirisme logique qui consiste à séparer la dimension *a priori* de la dimension empirique nous prive de comprendre comment une physique à la fois empirique et mathématique, est possible.

En outre, dans l'historiographie systématique proposée dans cette thèse le but n'est pas de présenter et de discuter tout simplement les différentes approches transcendantales de la mécanique quantique, comme s'il agissait de choisir entre les options disponibles celle qui est la plus convenable. Notre tâche est de les articuler de façon à ce que chaque étape de la réflexion transcendantale succède à l'autre en vue d'établir une certaine unité systématique. Notre pari méthodologique présuppose que cette unité n'aboutit que sous le paradigme du pragmatisme transcendantal. A notre avis, nous ne pourrions jamais aboutir au dernier chapitre, sans passer nécessairement d'abord par le projet kantien et ensuite par les programmes de limitation et de relativisation de l'*a priori.* Ainsi dans la deuxième partie, nous cherchons à analyser

dans quelle mesure les structures transcendantales telles que Kant avait proposées ne rendent pas compte de la complexité des problèmes soulevés par la mécanique quantique. On a du mal à comprendre la mécanique quantique dans une structure *a priori* fixe peu adaptée à ses présupposés. Le programme de relativisation de l'*a priori*, initié par Cassirer et développé par von Weizsäcker et Jean Petitot, représente une étape importante consistant à rendre les principes *a priori* constitutifs et régulateurs de l'expérience adaptables au cadre théorique de la mécanique quantique. Cela nous a permis de comprendre l'état de développement de la physique contemporaine d'un point de vue transcendantal en prenant en même temps une certaine distance par rapport au kantisme strict.

Relativement à la deuxième partie, la troisième représente un dépassement des obstacles du fixisme des formes *a priori* en faveur de l'adoption des structures *a priori* flexibles capables de rendre compte de la nouvelle situation posée par la mécanique quantique. Néanmoins, nous considérons qu'un pas de plus vers la pragmatisation des *a priori* doit être fait. Cela implique de considérer que la dimension performative du langage doit être prise en compte si l'on veut comprendre les paradoxes de la mécanique quantique dans le cadre interprétatif proposé par Bohr. Le sens du 'performatif' a été introduit par J. Austin (1970) pour signifier que produire un énoncé est aussi exécuter une action. A notre avis, cette dimension performative, parfois oubliée des analyses épistémologiques, s'avère fructueuse pour interpréter le rôle complémentaire des concepts théoriques en mécanique quantique dans les contextes expérimentaux. Ainsi le dernier chapitre de la thèse ajoute aux programmes de relativisation l'hypothèse fondamentale, à savoir, l'idée que la signification d'un énoncé ne peut pas être comprise indépendamment de la valeur contextuelle de son énonciation. Le tournant pragmatique transcendantal de la philosophie contemporaine de Wittgenstein et Peirce à Habermas et Apel nous montre que pour comprendre certains énoncés, le cadre de leur énonciation est prioritaire. Wittgenstein surtout nous a appris qu'il ne suffit pas de considérer le langage comme un code, c'est-à-dire, un moyen de transmettre un message. En regardant le langage ordinaire comme un jeu, joué aussi par les scientifiques dans leur pratique de communication d'un résultat expérimental, nous sommes plus aptes à comprendre son rôle dans la définition même de l'objectivité physique. C'est une objectivité non plus subjectivement déterminée par une conscience universelle, mais

intersubjectivement limitée par les contextes expérimentaux, comme nous fait voire Bohr, qui doivent toujours être communiqués. Le concept théorique doit être subordonné à une parole et celle-ci doit être entendue en tant qu'acte. Nous croyons que cette perspective a des conséquences importantes tant pour une bonne interprétation de la mécanique quantique que pour une bonne théorie de la science.

PARTIE I :

Le problème de la constitution de la matière du point de vue de Kant

"La matière est divisible à l'infini et en parties dont chacune à son tour est matière."
(Kant, Théorème 4 de la Dynamique
des *Premiers Principes de la Science de la Nature*)

"We then come to recognize that the antinomy of the smallest dimension is solved in particle physics in a very subtle manner, of which neither Kant nor the ancient philosophers could have thought: the word 'dividing' loses its meaning."
(Heisenberg, 'The nature of elementary particles')

PARTIE I

Introduction

Pourquoi Kant ?

Le thème que nous nous proposons de discuter à partir de Kant se situe à la frontière délicate entre deux domaines particuliers : science et philosophie. Nous allons parler d'un lieu peu délimité d'où surgit le discours sur la science. Historiquement, la réflexion sur la science appartenait à la philosophie, et, paradoxalement, elle s'est établie en dehors des milieux scientifiques. La science, en revanche s'imposait non par ce qu'elle disait de sa pratique mais par ce qu'elle faisait, ses résultats et ses applications étant la garantie de sa légitimité.

La réflexion philosophique sur la science s'est de plus en plus déplacée face aux diversités et aux niveaux de spécialisation exigés par les connaissances scientifiques. A vrai dire, traiter la science sur le terrain de la philosophie est à l'origine d'un certain inconfort ainsi que d'une série de malentendus. Par conséquent, la philosophie de la science occupe aujourd'hui un territoire étranger tant aux philosophes qui ne le considèrent pas strictement philosophique, qu'aux scientifiques qui ne reconnaissent comme thèmes scientifiques que ceux sortis de leurs laboratoires de recherche. Lorsque ceux-ci, à leur tour, doivent véhiculer une image déterminée de leur propre activité, ils s'appuient sur des conceptions naïves, philosophiquement peu consistantes. En revanche, il est courant de voir des philosophes élaborer des visions générales de la science à partir de principes méthodologiques qui disent peu des pratiques effectives des divers champs scientifiques. Bref, il manque à la science l'instrument philosophique nécessaire pour penser sa pratique et à la philosophie sa propre recherche scientifique.

En cette région de frontières peu définies, la fécondité de la réflexion kantienne réside en grande partie dans le fait que Kant possède une solide formation aussi bien scientifique que philosophique. Ceci lui permet de promouvoir une parfaite intégration entre ces deux domaines.

Dans le domaine de la science ses contributions sont originales et comptent même comme une référence dans la littérature astrophysique. Sa théorie des « univers

îles » qui interprète les nébuleuses comme des systèmes stellaires analogues à notre galaxie reste réputée. Ce fut Kant qui pour la première fois imagina que la Voie Lactée devait être aplatie, en vertu du mouvement de rotation de son axe de symétrie, ce qui, plus tard a été constaté par les recherches astronomiques. Bien que son ouvrage sur ce sujet, *Histoire Générale de la Nature et Théorie du ciel* (1755), et d'autres, où Kant fait preuve de familiarité avec les sujets de la science, appartiennent à sa phase pré-critique, ils mettent en évidence la force de l'imagination philosophique dans la constitution des théories scientifiques.

En tant que philosophe, Kant s'affirme comme un grand lecteur de la science de son temps, spécialement de la physique de Newton, traitant les lois et les concepts scientifiques avec la désinvolture de qui les connaît profondément. Il ne construit pas seulement une théorie de la connaissance en parfaite harmonie avec les principes de la science, mais il s'investit dans l'élaboration d'une métaphysique de la science de la nature, en cherchant à clarifier les présupposés métaphysiques sous-jacents aux lois de la physique classique, dans une tentative de trouver les fondements philosophiques du discours scientifique newtonien.

Nous parlons donc d'un Kant épistémologue qui, attentif aux spécificités de la science, formule une théorie générale de la connaissance qui va au-delà des limites fixées par un savoir scientifique spécifique, et d'un Kant philosophe de la nature restreinte aux bases philosophiques qui structurent une théorie déterminée de la science. Ce que nous appelons ici épistémologie et philosophie de la nature, Kant les appelle respectivement métaphysique de la science en général élaborée dans la *Critique de la raison pure* (1781), et métaphysique de la science en particulier, construite sur les Principes Métaphysiques de la science de la nature (1786).

En s'interrogeant sur les conditions de possibilité du savoir scientifique, Kant doit affronter les impasses entraînées par le scepticisme de David Hume qui fait, à partir d'une perspective empiriste, une lecture inquiétante de la physique newtonienne et de tout le projet de la science moderne.

Hume montre que, si nous voulons rester sur le terrain de l'expérience, l'idée de causalité en tant que connexion nécessaire ne peut être maintenue. Aucune espèce de nécessité ne peut être inférée de la répétition d'une occurrence, quel que soit le nombre de cas examinés. La négation d'un énoncé empirique pour aussi fondé qu'il soit ne

constitue pas une contradiction. Ne résistant à une aucune analyse logique, l'idée de causalité reposerait alors sur l'habitude et la coutume. En réduisant la science à l'habitude, Hume conclut que la nécessité et l'universalité des propositions scientifiques ne sont que des illusions.

L'analyse kantienne en revanche se centre sur la recherche d'une théorie non sceptique de la connaissance à partir de la compréhension des bases qui structurent l'activité scientifique. La science existant déjà de fait comme un savoir véritable, il s'agit alors de rechercher les conditions qui légitiment ce savoir afin de déterminer d'autres champs pouvant être considérés comme scientifiques.

Si la physique de Newton se définit comme une explication entièrement satisfaisante des phénomènes naturels, comment, alors, justifier, contre Hume, l'idée d'une science nécessaire et universelle et en même temps empirique?

La réponse de Kant commence alors par l'argument que toute connaissance commence par l'expérience car notre pensée n'entre en action que lorsque les sens nous apportent matière à réflexion, cela ne signifiant pas que toute la connaissance provienne de l'expérience. Celle-ci ne nous offre que des faits contingents et particuliers et ne nous enseigne pas si une chose peut se manifester d'une autre façon. Par ailleurs, l'expérience nous met en contact avec un nombre très limité de cas mais pas avec la totalité exigée par les lois scientifiques.

Kant est tout à fait d'accord avec Hume sur le fait qu'un jugement nécessaire et universel ne peut être fondé sur l'expérience. Mais, pour lui, la nécessité et l'universalité ne sont pas des illusions, mais des caractéristiques essentielles du savoir scientifique. Si elles n'existent pas dans l'expérience elles doivent appartenir à la pensée et sont alors des caractéristiques absolument *a priori*. L'expérience confère le contenu réel à la pensée mais c'est l'esprit qui confère l'intelligibilité à ces données, réunissant la matière dispersée de la sensibilité selon les lois nécessaires fondées sur lui-même.

Kant réalise ainsi une profonde transformation dans le domaine de la philosophie que lui-même appelle 'révolution copernicienne', apportant une solution entièrement originale au problème de la connaissance. Le référent d'un savoir véritable n'est plus la réalité en elle-même des choses et devient le sujet. C'est seulement à partir de l'idéalisme critique créé par Kant que l'on peut défendre que la raison confère de l'objectivité aux choses et non plus que les choses soient en elles-mêmes objectives.

Paradoxalement, la réalité nous apparaît objective par les conditions que le sujet lui impose.

« Que puis-je savoir ?» (A805 - B833)- la question fondamentale de la *Critique de la raison pure* doit trouver une réponse à partir d'une science de la nature qui se fonde sur des jugements synthétiques *a priori*. Après s'être interrogé sur les conditions de possibilité de ces jugements, Kant a construit une méthode qui permet de juger la validité des prétendues connaissances, en fixant des limites bien déterminées entre le savoir scientifique et la spéculation métaphysique. La méthode de Kant cependant ne prétend pas orienter l'activité scientifique en direction de ses lois universelles, mais amener la philosophie elle-même en quête d'un espace propre pour sa recherche. C'est alors une méthode normative non pas vis-à-vis de la science mais vis-à-vis de la philosophie. Son but ne s'accomplit pas dans la réponse à la première question spéculative, mais doit poursuivre vers les domaines pratiques où les questions « Que dois-je faire ? » et « Que m'est-il permis d'espérer ? » sont posées.

Le problème de savoir si l'on peut ou si l'on ne peut pas avoir de connaissance scientifique en ce qui concerne la constitution de la matière a été traité par Kant dans le cadre de sa réflexion sur la division infinie de la matière. Ce problème nous offre l'opportunité de croiser les deux textes de Kant, la *Critique de la raison pure* et les *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature.* La solution que Kant donne au problème de la division infinie de la matière dans les *Premiers principes* nous permet d'expliciter et d'avoir un avis plus nuancé des limites imposées par la *Critique*.

En effet, une contradiction paraît surgir lorsque nous passons de la seconde antinomie dialectique, exposée dans la *Critique de la raison pure*, au quatrième théorème dynamique des *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*. Kant défend dans le quatrième théorème de la « Dynamique » la thèse de la divisibilité infinie de la matière. Cette thèse paraît, à première vue, contradictoire avec la seconde antinomie de la dialectique transcendantale, où Kant discute de l'impossibilité de soutenir en même temps la thèse de ce que « toute la substance composée consiste en parties simples », que son antithèse, selon laquelle « aucune chose composée n'est faite de parties simples ». Ainsi dans la *Critique*, Kant semble interdire la connaissance dans le champ de la constitution élémentaire de la matière. En revanche, dans les *Premiers*

principes, il défend la thèse en faveur de la divisibilité infinie de la matière. Alors, comment peut-on concilier ces deux positions ?

Nous essaierons dans cette partie de notre travail de rechercher ce qui se cache derrière cette apparente contradiction. A travers ce problème spécifique, nous aborderons, en réalité, les questions d'ordre beaucoup plus général, qui traitent de la compréhension de la *Critique de la raison pure* comme un instrument méthodologique, des critères établis par la philosophie critique qui permettent de distinguer une affirmation scientifique d'une affirmation métaphysique en limitant donc l'extension des théories scientifiques et aussi des critères qui nous permettent d'opter pour la véracité entre deux théories scientifiques rivales.

Face aux diverses interprétations de la première *Critique*, nous avons pris comme référence la thèse de la *Critique de la raison pure* en tant que traité de la méthode, développée par Hermann Cohen (2001), l'un des fondateurs de l'école néo-kantienne de Marburg. En effet, cette perspective nous permettra de trouver dans cette méthode les règles pour affronter un problème tracé par la théorie kantienne elle-même et qui émerge dans le passage de la dialectique transcendantale à la métaphysique de la nature. Notre travail, cependant n'a pas comme objectif d'étudier et de discuter l'interprétation cohenienne. En effet, nous l'utiliserons selon son propre principe : en tant qu'outil méthodologique afin d'affronter notre problème spécifique. Ainsi elle se présente à nous comme point de départ du développement de notre recherche et non comme finalité.

Cette interprétation met en évidence deux moments fondamentaux de la méthode développés dans la *Critique* : la dialectique, moment négatif de la méthode, qui montre que toutes les propositions métaphysiques ne peuvent jamais être considérées comme objet de la connaissance; et l'analytique, moment positif, où sont présentées les conditions essentielles qui rendent possible une connaissance scientifique nécessaire et universelle sur la nature. La méthode dialectique, quand elle est en exercice, fait émerger les inévitables contradictions de la raison quand elle juge sans respecter les limites de l'intuition pure, traçant des contours bien définis entre la connaissance scientifique et la spéculation philosophique. Dans le domaine de la possibilité de la connaissance scientifique, la méthode analytique, en livrant les règles d'application des catégories à la diversité de l'intuition, dépasse l'abîme qui depuis Platon sépare le

sensible de l'intelligible. Plus précisément, dialectique et analytique ne sont pas deux méthodes distinctes, mais deux moments d'une même méthode.

Le premier chapitre de cette partie étudie la branche positive de la méthode transcendantale dans le domaine de la *Critique de la raison pure*. Nous privilégions, dans cet exposé la théorie du schématisme, en tant que moment crucial qui légitime l'application des catégories aux diverses données de la sensibilité, de même que le « système des principes de l'entendement pur », faisant ressortir le principe de la grandeur intensive. Ceci parce que, selon l'interprétation cohenienne, non seulement le schématisme, mais toute la méthode, n'acquiert sa pleine signification que dans le « système des principes de l'entendement pur », englobant les jugements synthétiques *a priori* qui structurent la connaissance scientifique. Depuis H Cohen, l'argumentation sur la méthode transcendantale est fondée sur le principe de la grandeur intensive, le second principe du système, appelé par Kant « anticipations de la perception » et développé à partir de l'idée clé du calcul infinitésimal.

Ceci posé, il s'agit de suivre le chemin qui mène du système des principes de l'entendement pur aux principes métaphysiques des sciences de la nature.

Dans le second chapitre, nous analysons la fécondité de la méthode dans le champ particulier d'une science de la nature, en nous appuyant sur l'analyse détaillée de J. Vuillemin (1955) sur les *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*. Dans ce chapitre, sont présentés les principes philosophiques sous-jacents aux quatre domaines distincts de la physique : la phoronomie, la dynamique, la mécanique et la phénoménologie. En accord avec le système général établi par Kant, ces quatre divisions sont en parfaite correspondance avec les quatre groupes des principes de l'entendement : les axiomes de l'intuition, les anticipations de la perception, les analogies de l'expérience et les postulats de la pensée empirique en général. Ainsi, nous pouvons apprécier, dans la sphère de la métaphysique de la nature, l'application effective de la théorie du schématisme et le rôle fondamental que le principe de la grandeur intensive joue dans le développement de la philosophie transcendantale.

La question centrale de cette partie est envisagée dans le troisième chapitre. Après avoir analysé le moment négatif de la méthode transcendantale, la dialectique, nous abordons les différents niveaux de l'affirmation sur la nature de la division de la substance matérielle, rencontrés dans les antinomies dialectiques de la *Critique de la*

raison pure et dans le théorème dynamique des *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*. Nous réalisons, ainsi, une confrontation entre ces deux ouvrages, afin de contourner les équivoques qui peuvent surgir d'une analyse superficielle des conséquences des antinomies dialectiques et spécialement des antinomies mathématiques.

En effet, à première vue, on pourrait penser que pour Kant, il serait interdit à la physique d'étendre ses domaines vers le champ de la constitution élémentaire de la matière, sous peine de provoquer un conflit d'idées sans issue et purement spéculatif. Il se trouve que, dans les « Principes Métaphysiques de la Dynamique », Kant construit justement le concept de matière selon ses propriétés constitutives. Contre la thèse mathématico-mécanique qui considère que la matière est composée d'atomes et que toutes ses différences spécifiques s'expliquent par l'existence du vide, Kant prend la défense de l'antithèse dynamique qui affirme le principe de la continuité de la matière.

En effet, il s'agit de deux ordres distincts qui se confrontent. Le premier explicité antérieurement, se situe entre les domaines métaphysique et scientifique, absolument hétérogènes, à partir de la contre position entre une assertion dialectique et une thèse de la métaphysique de la science de la nature. Le deuxième ordre de confrontation appartient au champ scientifique lui-même, dans le cadre des limites établies par la sensibilité, lorsque Kant oppose les théories dynamiques et mécanicistes sur la constitution de la matière. C'est pourquoi il est nécessaire de chercher les critères développés par la méthode transcendantale qui ont amené Kant à opter pour la première et à repousser la seconde.

Plusieurs critiques adressées à Kant se rapportent au fait que tant sa théorie générale de la connaissance que sa philosophie de la nature se fondent sur la mécanique newtonienne, argumentant que sa réflexion aurait été invalidée par les théories scientifiques modernes. Cependant, bien que la mécanique newtonienne ait été dépassée, du point de vue des théories de la relativité et de la mécanique quantique, elle reste toujours valide, lorsque ses limites sont bien définies. Analogiquement, on peut défendre que la philosophie kantienne de la science également se soutient dès que ses limites sont bien fixées et qu'on explicite sa relation à un savoir déterminé, en l'occurrence, la mécanique newtonienne.

D'un autre côté, malgré la limite imposée par la mécanique classique, les problèmes épistémologiques évoqués par Kant survivent, extrapolant ces limites et restant pertinents dans tous les domaines scientifiques. Il est difficile de rencontrer un autre penseur ayant autant développé la question de l'objectivité et des conditions de la connaissance scientifique, établissant le rôle déterminant du sujet dans l'élaboration des théories. Ceci fait de Kant une référence obligatoire dans n'importe quel courant contemporain de la philosophie des sciences. Cette thèse prétend défendre la force de l'argumentation transcendantale au-delà de la physique classique pour la compréhension des problèmes épistémologiques soulevés par la mécanique quantique. Je ne peux mieux conclure cette introduction qu'en faisant miennes les paroles de M. Friedman (1992 : xii) : « une meilleure compréhension de la pensée de Kant dans son contexte du dix-huitième siècle est donc très pertinent pour nos problèmes du vingtième siècle »[6].

[6] "A better understanding of Kant's thought within its eighteenth-century context is therefore most relevant to our twentieth-century problems". (M. Friedman, 1992 : xii)

Chapitre 1
La question de la méthode dans la *Critique de la raison pure*

1.1 La *Critique* comme méthode

Ce chapitre consiste en une brève étude sur la *Critique de la raison pure* à partir du référentiel méthodologique posé par la thèse du néokantien Hermann Cohen (1842-1918)[7]. Cette étude nous permet un double propos. Premièrement, dans le cadre strict de la doctrine kantienne, nous essayerons, dans les chapitres qui composent cette première partie, d'éprouver la fécondité de cette interprétation en dehors des domaines de la *Critique*, spécifiquement dans le champ de la métaphysique kantienne de la nature afin d'expliciter la contradiction que nous rencontrons. Pour comprendre ainsi pourquoi, dans les *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, Kant considère comme vrai le jugement sur l'infinie divisibilité de la matière et, dans la *Critique de la raison pure*, comme une illusion dialectique, nous chercherons dans la méthode transcendantale elle-même, les règles d'une solution possible à cette question. En prenant comme point de départ la thèse, mise en lumière par H. Cohen, de la *Critique* comme un traité de méthode, nous envisageons de mesurer la pertinence d'une contradiction, dont nous ne savons pas au départ si elle est à peine apparente ou si réellement elle constitue un problème dans la philosophie kantienne. Deuxièmement, dans le cadre de la réflexion épistémologique sur la mécanique quantique nous nous servirons de cette interprétation afin de résoudre quelques malentendus concernant le rôle des principes *a priori*, notamment du principe de causalité, dans la physique contemporaine.

Mais de quelle méthode s'agit-il ?

Tout l'effort de refondation de la doctrine kantienne et du véritable « retour à Kant », entrepris par le père de l'école de Marburg, s'est fait dans le sens de la libérer de tout résidu psychologique, en se tournant vers les « faits de la science ». Le sens de

l'*a priori* kantien doit être cherché dans la critique de la connaissance scientifique, afin de trouver les principes synthétiques sur lesquels la science se construit et qui délimitent son champ de validité. Ainsi, ce n'est pas dans le cadre d'une psychologie transcendantale que cette tâche doit être accomplie. En effet, ce biais psychologique avait déjà instauré une série de malentendus en nous présentant les conditions *a priori* comme des attributs originaires et innés de la pensée. Néanmoins, les conditions *a priori*, selon Cohen, doivent être présentées dans le cadre de la logique transcendantale, en tant que logique de la connaissance scientifique.

Dans son œuvre, *Kants Theorie der Erfahrung* (Berlin, 1871), Cohen (2001) débute son projet de refondre la doctrine kantienne de l'*a priori* pour essayer de la sauver des « mésinterprétations » psychologiques de ses contemporaines[8]. Il essaie de montrer que la critique de la raison est à la fois et avant tout une critique de l'expérience. Mais il ne s'agit pas d'une expérience en tant qu'ensemble de données subjectives qui se présentent à la conscience pure. Le nouveau concept d'expérience introduit par Kant dans la *Critique de la raison pure* est selon Cohen identifié au « fait » même de la science (*Faktum der Wissenschaft*). En se rapportant à l'interprétation de H. Cohen, Massimo Ferrari souligne :

> On devait accentuer la signification méthodologique du criticisme contre toute contamination psychologique, et ancrer la scientificité de la philosophie transcendantale dans la nature particulière de la méthode transcendantale : laquelle pouvait être résumée dans l'affirmation selon laquelle son sujet n'est pas constitué par les astres du ciel mais plutôt par les calculs astronomiques qui donnent aux astres la dignité de réalité scientifique[9]. (Ferrari, 2001 : 32)

Cependant, cette facticité de la science ne doit pas être naïvement interprétée comme des produits finis se rapportant à des doctrines cristallisées de l'époque. Les

---

[7] Pour des études critiques en français sur l'interprétation de H. Cohen : Cf. J. Vuillemin (1954), A. Philonenko (1986), E. Cassirer, H. Cohen & P. Natorp (1998) ; J. Seidengart (1990) ; E. Dufour (2001); M. Ferrari (2001) et A. Münster (2004).

[8] Cohen se rapporte à la controverse entre Trendelenburg et Kuno Fischer sur l'esthétique transcendantale qui a conféré un statut subjectif à l'espace et au temps.

[9] « Ce n'est pas dans le ciel que les étoiles sont données (…) mais dans *les raisons de l'astronomie* ». (Cohen, 1999 : 150).

théories scientifiques doivent être considérées comme points de départ de nouvelles problématiques pour la réflexion transcendantale.

En suivant l'interprétation de H. Cohen, A. Philonenko (1975) attribue à la *Critique de la raison pure* la fonction méthodologique primordiale d'élucider les conditions dans lesquelles une connaissance peut être ou non vraie. Contre les lectures psychologiques de la *Critique,* Philonenko (1969 :121) souligne : « la philosophie transcendantale s'applique uniquement à la question de savoir comment les jugements peuvent être dits vrais, à délimiter leur valeur de connaissance ». Or, comme nous le savons, la réflexion transcendantale de la connaissance pour Kant est celle qui se rapporte à une expérience possible, qui suppose toujours l'intuition sensible. En raison de ce rapport à la possibilité et non pas à l'effectivité de l'expérience, il ne s'agit pas d'une méthode scientifique, qui a une dimension nécessairement empirique, mais d'une méthode philosophique, qui a un caractère essentiellement *a priori*.

Néanmoins, son caractère *a priori* se distingue de celui propre à la méthode mathématique. C'est dans sa « Doctrine Transcendantale de la Méthode » (B741-54), quand Kant caractérise les divers procédés méthodologiques, qu'on trouve la meilleure définition de la méthode critique. En contraste avec la méthode déductive de la mathématique, dont la connaissance se développe à partir de la construction de concepts, Kant définit la méthode philosophique comme descriptive. Cela parce que la connaissance philosophique est, pour lui, une description rationnelle à partir de concepts. Ainsi, ni le temps ni l'espace, uniques formes pures de l'intuition, ni les catégories de l'entendement, qui sont en nombre et en espèce bien déterminées, n'ont été déduits dans le sens mathématique de déduction à partir d'un postulat fondamental. Ces structures peuvent à peine être décrites rationnellement par des concepts mais jamais démontrées comme le sont les axiomes mathématiques.

Cependant, en accord avec l'analyse proposée par H. Cohen, le corps des connaissances philosophiques constitué dans la *Critique de la raison pure* doit être entendu comme une pure description des principes méthodologiques. Les structures *a priori* ne se trouvent pas en nous comme des substances de l'esprit, mais comme des règles nécessaires à la connaissance. L'esprit ne contient rien, il suit un chemin. Dans cette façon d'interpréter la *Critique de la raison pure,* Kant, en aucune façon, n'écrit un traité sur la nature de la raison humaine. Il décrit les modes par lesquels la raison

humaine connaît. Dans ce sens, la *Critique de la raison pure* est un traité de méthode. Il expose donc le chemin que l'esprit suit afin d'atteindre la connaissance. Une méthode appelée transcendantale, parce que, dans la description des structures *a priori*, il traite de l'expérience dans sa possibilité.

Le transcendantal concerne l'essence de l'expérience. Il ne s'agit pas d'une expérience totalement extérieure à l'esprit, qui arrive à être connue, mais d'une expérience construite et objectivée par le sujet lui-même. Son existence est donnée par la connaissance scientifique, exprimée dans la physique de Newton. Celle-ci est la seule qui, pour Kant, peut être proprement dénommée science, parce qu'elle compte des jugements apodictiques de stricte nécessité et objectivité. Parfois, expérience et connaissance expérimentale vont acquérir les mêmes significations.

En prenant la science comme un fait, la *Critique* s'interroge, alors, sur l'essence de cette science, c'est-à-dire, sur les conditions qui la rendent vraie. L'essence est, pour Kant, tout ce qui concerne la possibilité d'un objet[10], le moyen par lequel la raison le connaît. Ce qui importe du point de vue critique n'est pas l'objet lui-même mais la manière de le connaître. En ce sens, l'essence n'a aucune valeur ontologique.

Ainsi, la question principale de la *Critique de la raison pure*, « que puis-je savoir ?», n'a pas en vue la constitution d'un corps doctrinaire de vérités philosophiques. Kant oriente sa réflexion dans le sens de répondre à la question « comment peut-on savoir ? ». Répondre à cette question signifie décrire l'essence de la connaissance, ses conditions de possibilité. Dans cette perspective, Philonenko (1969 : 121) affirme que « l'idéalisme critique consiste dans *la description pure de l'essence de la connaissance en tant qu'elle rend l'expérience possible* ».

Selon l'interprétation cohenienne, les trois divisions de la *Critique de la raison pure,* à savoir, l'« Esthétique », l'« Analytique » et la « Dialectique » sont des moments transcendantaux d'une seule structure méthodologique. Néanmoins, cette structure ne cherche pas à décrire les règles *a priori* de la constitution de n'importe quel objet, mais de celui propre à la science mathématique de la nature. C'est d'abord l'expérience *scientifique* et non pas l'expérience empirique en général qui concerne la question centrale de la *Critique de la raison pure* sur la possibilité des jugements synthétiques *a*

---

[10] Cf. Kant, 1985b : 363 (note) ; Ak IV, 467.

priori. L'« Esthétique Transcendantale » traite des formes pures de l'intuition - espace et temps – en tant que méthodes qui rendent possible la représentation de l'objet dans la sensibilité. L'« Analytique » est subdivisée en «Analytique des concepts», sur la déduction des catégories de l'entendement pur, qui rendent possible la pensée de l'objet de l'intuition, et « Analytique des Principes » qui fournit les lois d'application de ces catégories au monde empirique. La troisième division de la méthode kantienne, la « Dialectique Transcendantale », concerne l'usage de la raison au delà de toute expérience possible.

Une des thèses majeures de la lecture méthodologique de H. Cohen (1999) consiste à fonder la racine de la méthode transcendantale sur le principe de grandeur intensive, second principe du « système de tous les principes de l'entendement pur ». Son ouvrage de 1883, *Principes de la méthode infinitésimale et son histoire*, propose une reformulation de la notion de transcendantal mettant en avant la méthode infinitésimale en tant qu'instrument de la constitution de l'objectivité en physique mathématique. C'est donc la notion de réalité en tant que grandeur intensive mise en lumière par l'analyse infinitésimale qui interdit une possible autonomie de l'esthétique transcendantale.

L'« Analytique des principes » gagne, ainsi, selon l'interprétation de Cohen, une suprématie face à la méthode transcendantale, car, en elle, se concentre toute la problématique de la *Critique de la raison pure*. Tous les autres moments de la méthode, bien que ne constituant pas des divisions indépendantes, se trouvent inévitablement subordonnés au système des principes, dont l'expression est synthétisée dans « le principe suprême de l'expérience possible ». L'« Esthétique Transcendantale » n'acquiert sa véritable signification qu'intégrée aux principes de l'entendement pur. De la même manière, l'Analytique des Concepts se trouve nécessairement enchaînée à «l'Analytique des Principes», dans la mesure où les catégories n'auront de validité objective que lorsque schématisées, elles deviennent des prédicats des jugements synthétiques qui forment le système des principes. Et la « Dialectique » est un développement négatif de ces principes, qui, en outrepassant les limites de l'expérience possible, tombent inévitablement dans le domaine de l'illusion.

Nommée par Kant « doctrine transcendantale de la faculté de juger », « l'Analytique des principes » comporte deux chapitres : 1) « Du schématisme des

concepts purs de l'entendement », qui étudie « la condition sensible nécessaire à l'utilisation des concepts purs de l'entendement » ; 2) « Système de tous les principes de l'entendement pur », qui traite « des jugements synthétiques qui émanent, sous ces conditions *a priori*, de concepts purs de l'entendement et sont sous-jacents à toutes les autres connaissances *a priori* ». Le schématisme transcendantal, qui a comme problème l'applicabilité des catégories, assume, dans cette perspective, un rôle prépondérant dans cette interprétation de la théorie kantienne, parce qu'il débouche sur la théorie de la grandeur intensive[11]. C'est pour cela que dans ce chapitre, nous privilégierons donc l'« Analytique des principes », parce qu'elle englobe les jugements synthétiques *a priori* – appelés, dans les *Prolégomènes*, « principes généraux de la science naturelle » - qui rendent possible la connaissance scientifique de la réalité empirique. Mais il sera nécessaire d'analyser auparavant les éléments méthodologiques de « l'Esthétique » et de « l'Analytique des Concepts », essentiels à ces jugements.

1.2. Les règles méthodologiques de la sensibilité

L'Esthétique Transcendantale est la théorie transcendantale de la sensibilité. C'est par la sensibilité que les objets nous sont donnés. Mais il n'agit pas d'une donation subjective, où un objet comme une chose extérieure se présente à l'esprit. L'objet qui va intéresser Kant est celui de l'expérience scientifique qui se présente à l'intérieur de la connaissance physique. Dès lors que, pour Kant, une science proprement dite doit être nécessairement mathématique, la question centrale de l'Esthétique Transcendantale concerne l'essence de la connaissance mathématique. C'est justement ce caractère mathématique qui fait de la théorie de la nature une science apodictiquement nécessaire et universelle.

En tant que premier moment de la méthode kantienne, l'« Esthétique Transcendantale », selon l'interprétation de l'école de Marburg, ne doit pas être comprise de façon isolée et comme si elle avait une validité définitive et autonome. La solution au problème de la possibilité de l'application des mathématiques aux

[11] Cf. Philonenko, 1982 :14.

phénomènes est complétée seulement dans la deuxième division de « l'Analytique », où Kant expose le premier principe du système – les « Axiomes de l'Intuition » :

> La compréhension de l'Esthétique transcendantale semble donc être conditionnée par celle de la Logique transcendantale, en ce qui concerne non seulement les conséquences idéalistes du système, mais aussi le contenu de la théorie elle-même. (Cohen, 2001 : 215)

L' «esthétique Transcendantale » n'apporte que les éléments initiaux permettant d'expliciter la possibilité des jugements synthétiques *a priori*. Ces éléments appartiennent à la sensibilité, condition première de toute connaissance, à travers laquelle les objets scientifiques nous sont donnés.

> Depuis l'Esthétique transcendantale de Kant, on a pris l'habitude de considérer l'espace et le temps comme les moyens et les fondements indépendants, inévitables, qui revendiquent la première place dans la hiérarchie des conditions de la connaissance. Je suis bien loin de vouloir aller contre cette conception ; cependant, s'il faut éviter qu'avec ses avantages elle ne crée quelques inconvénients, elle a besoin d'être restreinte et complétée. L'inconvénient serait, en effet, inéluctable si l'on entendait accorder à la sensibilité une *validité définitive,* de même, d'autre part, que l'échafaudage de la pensée subirait une tension trop forte si la donnée sensible était négligée. (Cohen, 1999, 147-148)

Les objets scientifiques se laissent représenter sensiblement au moyen des deux formes *a priori* : l'espace et le temps. La première appartient au sens externe et la seconde, au sens interne, dans la mesure où les objets sensibles sont, respectivement, représentés en dehors de nous dans l'espace et en nous dans le temps. Dans son commentaire méthodologique de l'esthétique transcendantale, Cohen (2000 : 65) nous présente la définition suivante : « l'opération méthodologique par laquelle la sensibilité s'accomplit dans la mathématique s'appelle ' *intuition*' ».

L'intuition sensible se réfère immédiatement aux objets, car, si c'est en elle qu'ils se présentent les premiers, il n'existe aucune médiation entre l'intuition et les objets. D'un côté, cette intuition est pure, en tant que condition *a priori* de la possibilité des objets à nous être donnés, et de l'autre, empirique, étant le contenu même de la sensation qui seule peut nous être donnée *a posteriori*. L'intuition pure, contenant

l'espace et le temps, conditionne toute la matière de la sensation. Le contenu empirique est, donc, capté selon l'extension spatiale et la succession temporelle.

Kant appelle phénomène l'objet conditionné par les formes pures de l'intuition en opposition à un objet inconditionné, une chose en soi, qui ne peut jamais être connue, parce qu'elle ne peut jamais être donnée à l'intuition sensible.

Espace et temps sont, alors, les premières conditions transcendantales qui rendent possible l'intuition des phénomènes, sans se confondre ni avec les objets ni avec les concepts. Pour Cohen, ils constituent des méthodes essentielles, grâce auxquelles les phénomènes scientifiques sont déterminés. En suivant Cohen[12], Philonenko (1969: 123) affirme : « espace et temps ne sont plus compris comme cadres en lesquels viennent se loger les sensations, mais comme *méthodes* fondamentales de la mathématique ». Cette approche exclut tout type d'analyse substantialiste et psychologiste de l'espace et du temps. De telles structures *a priori* de la sensibilité conçues comme méthodes cessent d'être considérées comme des formes innées de l'esprit. En fait, plus que les conditions qui rendent possible la connaissance mathématique, elles sont les premières méthodes qui rendent possible la mathématisation de la nature de même que la synthèse *a priori* de la connaissance scientifique. Comme le souligne E.Dufour (2000 : 12) :

> *Kants Theorie der Erfahrung* ne cesse de critiquer la lecture métaphysique de la Critique. Les formes de la sensibilité ne sont pas des facultés psychologiques, c'est-à-dire des formes qui seraient tels des récipients dans lesquels l'expérience déverserait une matière. Toute la spécificité et la nouveauté de la *Critique* reposent sur ce qui distingue, dans l'Esthétique transcendantale, l'exposition métaphysique de l'exposition transcendantale.

En ce qui concerne ce travail, ce n'est pas notre but ici d'entrer dans le détail des expositions métaphysiques et transcendantales de l'espace et du temps. Nous souhaitons seulement situer les deux formes *a priori* de l'intuition par rapport au choix méthodologique qui sera utilisé comme référence tout au long de la thèse. L'idée selon laquelle l'amplitude transcendantale de la méthode kantienne outrepasse l'esthétique transcendantale aura aussi une importance spéciale dans les discussions qui auront lieu

autour de l'actualité de la doctrine kantienne face à la mécanique quantique. Nous verrons ensuite que, sous la présupposition du principe suprême de l'expérience possible, ces deux formes pures de la sensibilité doivent être intégrées aux formes pures de la pensée. La signification transcendantale acquise par « l'Esthétique » à l'intérieur de « l'Analyse des Principes » sera examinée dans la quatrième section de ce chapitre.

1.3. Les règles méthodologiques de l'entendement

1.3.1. Les catégories

Si les intuitions pures de la sensibilité sont des modes à travers lesquels les objets nous sont donnés, les catégories de l'entendement pur sont des modes à travers lesquels ces objets sont pensés[13]. L'intuition, par elle seule, ne garantit pas l'objectivité de la connaissance; étant une condition nécessaire, mais non suffisante. Les catégories deviennent également indispensables pour fonder la possibilité de l'expérience. Dans l'intuition, le phénomène reste encore indéterminé : une multiplicité d'impressions à peine connectées en continu, en juxtaposition, dans l'espace, et en succession, dans le temps. Pour que cette multiplicité se constitue en tant qu'objet proprement dit, son unification dans la conscience est nécessaire. Cette activité, propre à la pensée, se donne au moyen des catégories qui selon Kant sont les conditions indispensables pour que le divers, donné dans l'intuition, puisse se réunir dans une conscience[14].

Cependant, cette unification doit être, nécessairement, synthétique, parce que, chez Kant, toute la connaissance suppose une synthèse nécessaire entre matière et forme, entre sensibilité et entendement[15]. L'expérience, celle-ci comprise comme

---

[12] Sur la signification méthodologique du caractère subjectif de l'espace et du temps : cf. Cohen (2001 : 195-220).

[13] Cf. Kant, 1980d : 811-812, A50/B74 ; Ak III, 74.

[14] Cf. Kant, 1980d : 860-861, B143-144; Ak 115.

[15] Il faut bien noter que la relation entre forme et matière n'est pas absolue. Elle se transforme tout au long de l'exposition de la méthode transcendantale. Dans l'Esthétique, par exemple, dans le niveau de la sensibilité, la matière se rapporte au contenu de l'intuition empirique et la forme à l'intuition pure. Dans l'Analytique, la matière est identifiée à l'intuition sensible dans son entièreté, qui inclut l'intuition empirique et l'intuition pure, et la forme aux catégories de l'entendement.

synthèse objective ou connaissance de la réalité empirique, est ainsi possible par l'unité des formes *a priori* de l'intuition sensible (espace et temps) et des formes catégoriques de la raison. Ainsi, comme l'espace et le temps sont des structures méthodologiques appartenant à la sensibilité, les catégories sont aussi des méthodes de l'entendement pur, qui rendent possible l'unité des représentations de la diversité de l'intuition dans une seule conscience.

Les catégories sont au nombre de douze, divisées en quatre groupes : quantité, qualité, relation et modalité. Celles de la quantité sont : totalité, pluralité, et unité; celles de la qualité : réalité, négation et limitation; celles de la relation : substance, causalité et action réciproque ; et celles de la modalité : possibilité, existence et nécessité.

Ce n'est pas l'objectif de ce travail que d'exposer la déduction réalisée par Kant de ces concepts purs de l'entendement à partir de la table des jugements de la logique formelle. Nous nous proposons d'analyser la fonction méthodologique qu'ils exercent dans le corps de la théorie kantienne de la connaissance.

1.3.2. L'aperception originaire

L'unité synthétique du divers se présente à travers ce que Kant appelle « aperception originaire », entendue comme l'unité transcendantale de la conscience du sujet – le « **je pense** »-, sans lequel il ne pourrait y avoir une représentation quelconque[16]. Cette conscience du sujet est cependant une conscience de soi qui se réalise dans la conscience de l'objet. Tout objet possible se rapporte, nécessairement et *a priori*, à l'unité de la pure aperception, devenant ainsi une condition suprême de toute pensée. Le «je pense» n'est, en aucune sorte, la conscience d'une unité, mais l'unité objective elle-même d'une conscience – unité qui est, avant tout, synthétique.

Mais il convient d'affirmer que, selon « l'Analytique des Principes », toute synthèse n'est possible qu'au moyen de jugements. C'est à travers eux que la pensée unifie les impressions des sens, en tant qu'objet relié à l'aperception pure. Les

[16] Cf. Kant, 1980d : 853; B131-2; Ak 108.

jugements synthétiques *a priori*, contenant les formes pures de la sensibilité et de l'entendement, comme éléments constitutifs, rendent les catégories applicables à l'intuition sensible. En réalisant cette synthèse, les jugements remplissent l'unité nécessaire à l'aperception originaire.

Le «je pense», selon Kant, a non seulement un pouvoir de synthèse, mais doit avoir une présence permanente. Dans le cas contraire, une chose quelconque serait représentée en moi sans être pensée par moi. «L'unité synthétique» garantit que le «je» se reconnaît lui-même, sans se disperser dans le temps, réalisant la condition nécessaire à la synthèse des représentations. Si durée et permanence s'identifient avec le temps, en réalité le «je pense» synthétise le temps lui-même. A ce propos Philonenko (1969:162-3) affirme :

> D'une part *la méthode de détermination du sens interne est en même temps la méthode de détermination des phénomènes* (…) d'autre part *la méthode de détermination du sens interne est l'aperception transcendantale comme constitution catégorielle du temps*.

De ce point de vue, l'essence de l'expérience se trouve dans l'acte même de la constitution du temps, en tant qu'unité synthétique originaire de l'aperception, qui permet d'unifier tous les *a priori* méthodologiques qui rendent possible la connaissance de la réalité objective.

De cette façon, le « je pense » ne se confond pas avec le principe cartésien de la *res cogitans* – le « je » comme une substance. Dans la philosophie kantienne, ce principe assume la fonction de règle, bien caractérisée par Philonenko (1969:163-4) dans son analyse sur l'aperception transcendantale :

> Il ne s'agit pas d'une conscience *réelle et existante*, comme peut l'être en un sens la conscience empirique – qui est un phénomène déterminable -, mais d'une essence, c'est-à-dire d'une condition transcendantale et logique, qui forme la *méthode* de la connaissance, laquelle ne consiste qu'à exiger au sein du temps constitué l'unification synthétique de tout le divers de la sensibilité ou des phénomènes.

Ceci étant, reste à savoir comment le « je pense » opère la synthèse entre les catégories de l'entendement et la diversité de l'intuition sensible. Cette explication

apparaît dans la théorie kantienne du schématisme, culminant dans le système des principes de l'entendement pur.

1.3.3. Le schématisme

Dans le chapitre du schématisme, Kant traite, de manière extrêmement originale, le délicat et si discuté problème de l'hétérogénéité entre le concept général et l'intuition empirique singulière, entre le nécessaire et le contingent, entre l'intelligible et le sensible. De par sa difficulté, il est source d'interprétations divergentes[17]. Kant lui-même affirmait, en 1797 : « le schématisme est au fond un des points les plus difficiles. Même M. Beck n'arrive pas à le pénétrer entièrement. Je tiens ce chapitre pour un des plus importants »[18].

Kant présente le schématisme comme un système de règles capables de transformer les concepts purs en lois qui gouvernent la multiplicité des images sensibles. Selon l'interprétation de H. Cohen, « ce n'est que par la schématisation que les catégories parviennent à leur signification scientifique » (Cohen, 2001 :399) Uniquement en tant que méthodes, règles universelles, les schèmes de l'entendement permettent de résoudre le problème de l'applicabilité des catégories à la sensibilité. « En effet », affirme Philonenko (1982 : 19), «l'idée de méthode renverse en bloc toutes les difficultés relatives à l'universalité du concept et à la particularité de l'image. »

Les catégories de l'entendement ont, en principe, un usage illimité. N'étant pas en elles-mêmes limitées à notre intuition sensible, elles peuvent être utilisées au service de toute pensée, véritable ou non. Pour qu'elles deviennent objectivement valides et constituent des connaissances véritables, il est nécessaire qu'elles soient soumises à la sensibilité. C'est là exactement le rôle des schèmes, que réalisent les catégories en les restreignant à l'usage empirique. Du point de vue de la connaissance scientifique, les catégories, sans les schèmes, manquent de toute signification. « Telle est par conséquent

---

[17] Cela est l'un des points du conflit sur l'interprétation de Kant qui opposa Heidegger à Cassirer, dans le débat de Davos, en 1929. (Cf. Cassirer & Heidegger, 1972)

[18] Kant, *Œuvres posthumes manuscrites de Kant* (*Kant's handschriftlicher Nachlaß*, Band V, n°6359 (Ak XVIII, 686) cité par Heidegger, 1953 : 171.

la signification du schème : il élève le concept à ce qu'il doit être conformément à sa tâche scientifique : une règle »(Cohen, 2001 : 397-398 ; *KTE,* 492).

En rapprochant deux entités qui sont, au départ, hétérogènes – l'intelligible (concepts) et le sensible (intuition) – les schèmes accomplissent pour Kant une fonction médiatrice :

> Or, il est clair qu'il doit y avoir un troisième terme, qui doit être homogène d'un côté à la catégorie, de l'autre au phénomène, et qui rend possible l'application de la première au second. Cette représentation médiatrice doit être pure (sans rien d'empirique) et cependant d'un côté *intellectuelle*, de l'autre *sensible*. Une telle représentation est le *schème transcendantal.* (Kant, 1980d : 885, A138/B177; Ak III, 134).

Selon Philonenko (1982) l'enjeu de la théorie du schématisme se trouve davantage dans la réponse de Kant au conflit qui oppose Berkeley à Locke à propos de la question de la représentation des idées générales.

Pour résumer ce conflit : Reprenant le fameux exemple de Locke[19] concernant la représentation de l'idée générale d'un triangle, Berkeley met en évidence l'impossibilité de former dans la pensée une idée qui corresponde à un concept général et abstrait[20]. Il n'existe pas d'image adéquate au concept général de triangle. Lorsque nous pensons un

---

[19] "For abstract ideas are not so obvious or easy to children, or the yet unexercised mind, as particular ones. If they seem so to grown men, it is only because by constant and familiar use they are made so. For, when we nicely reflect upon them, we shall find that general ideas are fictions and contrivances of the mind, that carry difficulty with them, and do not so easily offer themselves as we are apt to imagine. For example, does it not require some pains and skill to form the general idea of a triangle, (which is yet none of the most abstract, comprehensive, and difficult,) for it must be neither oblique nor rectangle, neither equilateral, equicrural, nor scalenon; but all and none of these at once. In effect, it is something imperfect, that cannot exist; an idea wherein some parts of several different and inconsistent ideas are put together. It is true, the mind, in this imperfect state, has need of such ideas, and makes all the haste to them it can, for the conveniency of communication and enlargement of knowledge; to both which it is naturally very much inclined. But yet one has reason to suspect such ideas are marks of our imperfection; at least, this is enough to show that the most abstract and general ideas are not those that the mind is first and most easily acquainted with, nor such as its earliest knowledge is conversant about". (Locke, 1959:274-5; B. IV, ch; VII, 9)

[20] "If any Man has the Faculty of framing in his Mind such an Idea of a Triangle as is here described, it is in vain to pretend to dispute him out of it, nor would I go about it. All I desire is, that the Reader would fully and certainly inform himself whether he has such an Idea or no. And this, methinks, can be no hard Task for anyone to perform. What more easy than for anyone to look a little into his own Thoughts, and there try whether he has, or can attain to have, an Idea that shall correspond with the description that is here given of the general Idea of a Triangle, which is, *neither Oblique, nor Rectangle, Equilateral, Equicrural, nor Scalenon, but all and none of these at once?*" (Berkeley, 1962: 53-4; Int, § 13)

triangle, nous pensons à un triangle déterminé qui doit être nécessairement scalène, isocèle ou équilatéral. L'abstrait est, pour Berkeley, une illusion.

Kant est d'accord avec Berkeley : l'image est toujours singulière. La grande nouveauté introduite par Kant réside dans la proposition : «De fait, nos concepts sensibles purs n'ont pour fondement des images des objets, mais des schèmes» (Kant, 1980d : 886, A140/B180; Ak III, 136). Ces schèmes sont capables de prescrire des règles, au moyen desquelles nous construisons des triangles. Ces règles, à leur tour, sont toujours générales et capables d'interpréter correctement l'image sensible et reconnaître en elle le concept. Kant ouvre la voie à la solution du problème soulevé par les empiristes en montrant que l'idée de construction d'un triangle ne nécessite pas et ne peut être elle-même un triangle, car une telle idée ne représente pas une image singulière, mais un schème, qui porte les marques de nécessité et d'universalité qui appartiennent à la connaissance *a priori* des objets. En réponse à Berkeley, Kant affirme :

> Il n'est pas d'image du triangle qui serait adéquate au concept d'un triangle en général. En effet, elle n'atteindrait pas l'universalité du concept, qui le rend valable pour tous les triangles, rectangles, à angles obliques, etc., mais elle serait toujours restreinte à une partie seulement de cette sphère. Le schème du triangle ne peut jamais exister ailleurs que dans la pensée, et il signifie une règle de la synthèse de l'imagination en vue de figures pures dans l'espace. Un objet de l'expérience, ou une image de cet objet, atteint bien moins encore le concept empirique, mais celui-ci se rapporte toujours immédiatement au schème de l'imagination, comme à une règle de la détermination de notre intuition, conformément à un certain concept général. Le concept de chien signifie une règle d'après laquelle mon imagination peut tracer de manière générale la figure d'un quadrupède, sans être restreinte à quelque figure particulière que m'offre l'expérience, ou encore à quelque image possible que je peux présenter *in concreto*. (Kant, 1980d : 886-7, A141/B180; Ak III, 136)

Les schèmes sont, ainsi, des produits de l'imagination. Celle-ci, dans la réalité, doit être comprise comme le mouvement intrinsèque de l'entendement, dans l'exercice de pouvoir juger synthétiquement et *a priori* les objets. L'entendement est donc selon la caractérisation de Kant dans « l'Analytique des Principes », la faculté des règles, qui dans leur signification transcendantale, ne sont que l'usage *in concreto* des catégories.

Pour Philonenko (1982 :20), le manque de compréhension de la théorie de l'imagination en tant que théorie de la méthode enlève à Kant « le précieux bénéfice de sa courageuse réflexion ». Car ce que l'interprétation cohénienne propose est de comprendre la signification du schème non pas comme un fait psychologique mais en tant que condition transcendantale de la connaissance scientifique. Par rapport à l'objection entre Berkeley et Locke, la solution donnée par Kant remplace l'exigence psychologique par l'exigence transcendantale en faisant du schème la condition médiatrice de l'imagination en sa forme productrice capable de lier deux autres espèces de conditions formelles pour produire la connaissance (Cohen, 2001 : 397-398).

Contrairement à Hume, par exemple, qui concevait la géométrie comme résultat de la capacité de l'imagination à reproduire la figure, pour Kant, elle est le résultat de l'action de l'imagination qui, à travers les schèmes, produit la figure. Comme nous le savons, l'imagination transcendantale possède, pour Kant, deux fonctions : la première, de reproduire des images dans la mémoire, et la seconde, de produire des schèmes dans l'entendement. L'imagination, dans sa fonction reproductive, retient dans la mémoire des images d'intuitions empiriques singulières. Cela est sans doute le fait psychologique auquel Cohen fait référence. Toutefois, c'est elle qui, dans sa fonction de produire des règles universelles (les schèmes), permet de rencontrer des images qui correspondent à des concepts. Cela est une condition transcendantale de la connaissance. Le passage qui suit éclaire bien ce que nous sommes en train d'exposer :

> Le schème n'est toujours en lui-même qu'un produit de l'imagination ; mais comme la synthèse de l'imagination n'a pour visée aucune intuition singulière, mais seulement l'unité dans la détermination de la sensibilité, il faut bien distinguer le schème de l'image. Ainsi, quand je place cinq points l'un après l'autre · · · · · , c'est là une image du nombre cinq. Au contraire, quand je ne fait que penser un nombre en général, qui peut être cinq ou cent, cette pensée est plus la représentation d'une méthode pour représenter, conformément à un certain concept, un ensemble (par exemple mille), que cette image même, que dans le dernier cas il me serait difficile de parcourir des yeux et de comparer au concept. Or c'est cette représentation d'un procédé général de l'imagination pour procurer à un concept son image que j'appelle le schème pour ce concept. (Kant, 1980d : 886, A140/B179; Ak III, 135)

Par conséquent c'est en référence au temps que l'imagination transcendantale réalise le schématisme des catégories en les rendant objectives. En retenant dans la mémoire les images, l'imagination reproductrice permet la reconstitution du passé. Et, dans son activité à produire des règles générales, capables de prédire une expérience non encore advenue, l'imagination productrice constitue l'avenir. Ainsi, l'imagination produit son propre temps en élaborant des schèmes. Les catégories ne peuvent être appliquées *a priori* à l'intuition sensible sans être en relation avec la forme pure du sens interne. C'est pourquoi Kant fait coïncider ses schèmes avec les déterminations du temps.

> On voit par tout cela ce que contient et représente le schème de chaque catégorie : celui de la grandeur, la production (synthèse) du temps lui-même dans l'appréhension successive d'un objet ; le schème de la qualité, la synthèse de la sensation (perception) avec la représentation du temps, ou le remplissage du temps ; celui de la relation, le rapport des perception entre elles en tout temps (c'est-à-dire d'après une règle de la détermination du temps) ; enfin le schème de la modalité et de ses catégories, le temps lui-même comme corrélat de la détermination d'un objet, si et comment il appartient au temps. Les schèmes ne sont donc autre chose que des *déterminations du temps a priori*, d'après des règles, et ces déterminations, suivant l'ordre des catégories, concernent la *série du temps*, le *contenu du temps*, l'*ordre du temps*, enfin l'*ensemble du temps* par rapport à tous les objets possibles. (Kant, 1980d : 889-890, A145/B185; Ak III, 138)

La constitution catégorique du temps permet donc d'identifier l'imagination et l'aperception. en tant que méthodes. Car, comme nous l'avons vu, le «je pense» synthétise le temps dans l'acte de reconnaissance de lui-même, son activité étant expliquée ici par les schèmes de l'imagination transcendantale. En fait, ces schèmes sont la synthèse pure moyennant des règles, que se donne l'unité suprême de l'aperception qui unifie sensibilité et entendement. En transformant les catégories en règles applicables au multiple de l'intuition sensible, les schèmes permettent de déterminer ce qui est arrivé dans le passé et de prévoir un évènement futur. Dans ce sens, la constitution catégorique du temps, la schématisation des catégories et les déterminations du «je pense» se fondent sur l'unité synthétique de l'aperception originaire, constituant l'essence propre à toute expérience.

C'est face à cela que Philonenko (1975) proclame le temps comme le biais qui traverse toute la Critique, fournissant la structure de la méthode transcendantale, vu sa prépondérance tant dans l'Esthétique que dans les analyses du principe de l'aperception transcendantale et du schématisme.

C'est ainsi que nous comprenons la thèse de Cohen sur la suprématie de « l'Analytique des Principes » dans la méthode transcendantale. C'est seulement dans cette partie de la *Critique* que Kant répond effectivement à sa question initiale « comment sont possibles les jugements synthétiques *a priori* », ou, plus précisément, « comment est possible l'application des jugements synthétiques *a priori* à l'expérience ? ». C'est dans «Analytique» que sont décrites les conditions sur lesquelles l'objet peut être donné en concordance avec le concept pur, indiquant *a priori* la règle donnée du concept pur et le cas auquel il doit être appliqué. La règle et le schème, une méthode qui rend possible, simultanément, la détermination de l'image de l'objet et la représentation du concept. Nous nous trouvons ainsi face à une des questions fondamentales de l'idéalisme critique : l'applicabilité des jugements synthétiques *a priori* à toute expérience possible.

Le principe suprême de la possibilité de l'expérience, que nous allons ensuite analyser traduit cette symbiose entre imagination et aperception, dont nous avons parlé, expliquant comment le jugement rend possible la synthèse *a priori* des objets de l'expérience.

1.3.4 Système des principes de l'entendement pur

La schématisation des catégories produit les principes de l'entendement pur. Ces principes sont des instruments de la pensée, c'est-à-dire, des lois transcendantales que l'entendement prescrit *a priori* à la nature, afin de l'élaborer objectivement comme connaissance. Définis comme « règles de l'usage objectif des catégories » (A161/B200 ; Ak147), ils permettent de déterminer le phénomène, qui d'emblée se présente à la sensibilité comme une diversité indéterminée, réalisant la synthèse du multiple de l'intuition requise par l'unité de l'aperception transcendantale. Selon Philonenko (1969 : 184) :

> Les déterminations transcendantales du temps sont donc la schématisation des catégories, qui devenant concrètement des règles pensables et susceptibles de déterminer le divers ou les images, s'imposent désormais comme les principes de la construction de la connaissance.

Dans le système des principes de l'entendement pur, Kant donne la solution définitive à la possibilité de la connaissance *a priori* des objets. Cette question, qui est traitée dans toute la *Critique* par une suite d'approximations, trouve son issue dans la théorie des principes. Nous rencontrons ici tant la genèse transcendantale de l'objet comme connaissance et non comme simple pensée, que la véritable signification de la table des catégories. Celles-ci se réalisent non en référence aux jugements formels de la logique, qui n'ajoute rien au contenu de la connaissance, mais dans la structuration *a priori* de l'expérience objective, rendue possible par le système des principes de l'entendement pur. Sans ceux-ci, les catégories seraient de simples formes logiques, vides de contenu[21].

Les principes fournissent *a priori* la règle d'application des catégories aux phénomènes, les limitant à l'intuition sensible par l'intermédiaire des schèmes. Les catégories peuvent réaliser leur fonction de connaissance objective par l'intermédiaire des principes. Dans cette fonction, elles forment le prédicat des jugements synthétiques *a priori*, représentant conceptuellement ce qui est donné comme sujet de ces jugements, à savoir, l'objet perçu sensiblement. Ainsi, espace, temps et catégories sont les conditions de notre connaissance véritable uniquement lorsqu'ils sont intégrés aux jugements synthétiques *a priori*.

Ces jugements correspondent, donc, aux principes de l'entendement pur, qui fondent tous les autres jugements synthétiques, n'étant eux-mêmes fondés par aucun autre. Ils constituent le système des premiers principes de la totalité des déterminations *a priori*. Toutes les autres déterminations doivent résulter *a posteriori* de l'expérience. Ce sont les principes qui apportent universalité, nécessité, objectivité et vérité à ce que les autres jugements affirment empiriquement. Ainsi, un jugement empirique ne sera objectivement valide que si le phénomène est soumis à l'un de ces principes. Tout jugement empirique doit être fondé sur l'un des principes de l'entendement pur.

---

[21] Cf. Kant, 1980d : 883, A135/B175; Ak III, 133.

D'autre part, le principe suprême qui fonde tous les jugements synthétiques affirme que :

> Les conditions de la *possibilité de l'expérience* en général sont en même temps conditions de la *possibilité des objets de l'expérience*, et ont de ce fait une validité objective dans un jugement synthétique *a priori*. (Kant, 1980d : 898-899, A158/B197; Ak III, 145)

Ceci signifie, premièrement, que la synthèse des jugements n'est vraie que si elle est fondée sur un troisième terme – l'objet de l'expérience, donné dans l'intuition sensible; deuxièmement, que les jugements synthétiques *a priori* fournissent les circonstances de la possibilité de toute l'expérience en général, indiquant que tout objet doit nécessairement être conforme aux conditions de notre connaissance; troisièmement, que chaque principe exprime une condition que l'objet doit remplir pour être objet de l'expérience.

Le principe suprême de tous les jugements synthétiques contient, en réalité, la réponse critique à l'ancien problème de la vérité, de l'adéquation de notre connaissance à l'objet. Selon lui, une connaissance est véritable si elle est conforme aux conditions de possibilité de l'expérience. Ces conditions sont donc, les lois *a priori* du sujet qui déterminent les phénomènes en tant qu'objets de notre connaissance, en adaptant les catégories de l'entendement à ce qui est donné à notre intuition dans le temps. Ainsi, le système des principes de l'entendement pur constitue, par lui-même, la nature dans sa possibilité, comme un ordre général soumis aux lois.

Dans cette perspective, l'objet de l'expérience, déterminé *a priori* par les jugements synthétiques, coïncide exactement avec l'objet de la science de la nature. Les principes expliquent la physique dans sa possibilité *a priori*. Comme l'affirme Kant dans les *Prolégomènes* « les principes de l'expérience possible sont en même temps des lois universelles de la nature qui peuvent être connues *a priori* ». (Kant, 1985a :79, § 23 ; Ak IV, 306).

En accord avec les quatre classes des catégories, les principes de l'entendement pur, dérivés de la schématisation de ces catégories, sont, à leur tour, divisés dans les principes de quantité, qualité, relation et modalité, recevant respectivement la désignation : axiomes de l'intuition, anticipations de la perception, analogies de l'expérience et postulats de la pensée empirique en général. Le principe des axiomes de

l'intuition est appelé aussi principe de la grandeur extensive et celui des anticipations de la perception est appelé principe de la grandeur intensive. Ces deux derniers constituent les principes mathématiques de l'entendement pur, tandis que les analogies de l'expérience, qui se dédoublent en principes de substance, causalité et communauté (ou action réciproque), et les postulats de la pensée empirique, qui se dédoublent en principes de possibilité, d'existence et de nécessité, constituent les principes dynamiques.

Kant considère les principes mathématiques comme constitutifs de l'intuition, en opposition aux principes régulateurs, exprimés par les principes dynamiques. Ceci parce que, en tant que règles de synthèse d'une composition homogène, les principes mathématiques se rapportent à la constitution même de l'objet de l'expérience, considéré en lui-même indépendamment de tout autre. Le principe des axiomes de l'intuition élabore le phénomène par rapport à sa forme de même que le principe des anticipations de la perception, par rapport à la matière.

Le second groupe de principes, les dynamiques, sont des règles de connexion et expriment la « synthèse du multiple, dans la mesure où chaque élément appartient nécessairement à l'autre. » Ils sont donc pour Kant, régulateurs, dans le sens où ils se réfèrent à peine à la relation et au mode d'existence des objets de l'intuition. Cependant, il convient d'ajouter que, en relation à l'expérience en général, et non seulement à l'intuition, les principes dynamiques sont constitutifs, en opposition aux idées de la raison pure, car ils rendent possible l'application des catégories aux phénomènes. Cette question sera reprise plus loin, lorsque nous traiterons des principes de la dialectique transcendantale.

1.4 L'essence de la méthode transcendantale : le principe de la grandeur intensive

Selon l'interprétation de H. Cohen, de tous les principes qui forment le système de l'entendement pur, c'est plutôt celui des anticipations de la perception qui conclurait l'authentique révolution copernicienne réalisée par Kant. Ce principe serait non seulement le coeur, mais aussi le fil conducteur de la méthode transcendantale. Au

coeur de la méthode, il sert de révélateur à la signification même du principe suprême de l'expérience possible pour les objets qui sont constitués dans le cadre d'une science mathématique de la nature. En tant que fil conducteur de la méthode critique, le présupposé de la continuité intensive sert de base à tous les autres principes. Sur cette importance du principe des anticipations H.Cohen (2001) affirme :

> L'articulation des principes pouvait, elle aussi, acquérir davantage de transparence, après qu'on a réussi à dévoiler, comme centre des principes, le principe des grandeurs intensives. Car c'est sur le rapport aux grandeurs intensives que reposent les grandeurs extensives, donc également le premier principe mathématique et, avec lui, le problème de l'espace et du temps – mais c'est aussi sur lui que repose le principe de causalité, laquelle produit ses fruits dans les grandeurs intensives, et enfin le principe modal de l'effectivité, car celle-ci doit légitimer ce qui est annoncé par la sensation. Par conséquent, toutes les espèces de principes semblaient trouver leur centre dans ce rapport, et même les éléments des principes, l'espace et le temps ainsi que les catégories, pouvaient recevoir à partir de ce rapport un nouvel éclairage. (H.Cohen, 2001 : 40 ; *KTE*, XVI)

Nous allons donc situer la place singulière de ce principe face au système des principes synthétiques *a priori* proposé par Kant.

1.4.1 La grandeur extensive

Le premier principe, ou principe des axiomes de l'intuition, se rapporte seulement à la forme pure du phénomène, c'est-à-dire à l'espace et au temps, et non à la matière empirique de la sensation. Kant lui donne la formulation suivante, dans la deuxième édition : « toutes les intuitions sont des grandeurs extensives » (Kant, 1980d : 902 ; B202; Ak III, 148). Mais qu'est-ce qu'une grandeur extensive ? Elle est définie par Kant comme « celle dans laquelle la représentation des parties rend possible la représentation du tout (et par conséquent la précède nécessairement)» (Kant, 1980d : 903, A162/B203; Ak III, 149). Ainsi par rapport à la forme de l'intuition, le phénomène, constitué de manière extensive, « ne peut être connu dans l'appréhension que par synthèse successive (de partie à partie)»(B204). A travers ce principe, le

phénomène pour être objet, non pas d'une expérience quelconque, mais d'une expérience mathématique, doit être appréhendé comme composé de parts homogènes dans l'espace et dans le temps.

On sait que c'est la schématisation de la catégorie de quantité qui a conduit Kant à établir le principe des axiomes de l'intuition dans lequel le phénomène est conçu en tant que grandeur ou quantité extensive. C'est sous ce concept, que devient possible la représentation de l'objet par la conscience de l'unité du multiple qui se présente en général à l'intuition pure. Mais de quelle façon Kant envisage-t-il cela ? Par l'intermédiaire du schème du nombre. Comme nous le savons, il contient la série du temps «dans l'addition successive de l'unité à l'unité» (B182). Pour que les catégories de la quantité, celle d'unité, de pluralité et de totalité, soient appliquées au divers de l'intuition, espace et temps doivent être d'abord quantifiés. Ceci permettra que les phénomènes soient mesurés spatio-temporellement, autrement dit saisis dans un espace et un temps déterminés par le nombre et par la mesure. Le divers qui se présente à l'intuition devient alors proprement phénomène d'une science mathématique de la nature par la synthèse successive de ses parties.

C'est pour cela que le principe de grandeur extensive est défini par Kant comme « le principe transcendantal de la mathématique des phénomènes» (B206). Il traite non seulement de la genèse de l'objet mathématique, construit à travers la synthèse successive des parties, mais de la genèse de l'objet physique. Celui-ci, constitué par l'application de la mathématique pure à la matière de l'expérience, doit se conformer nécessairement aux règles de construction de l'espace et du temps. Sous le présupposé extensif, autant la figure de la géométrie que le nombre de l'arithmétique doivent nécessairement être saisis en tant qu'agrégats de parties données antérieurement. Ainsi comme l'espace, le temps est également produit selon la succession d'instants. Kant présuppose toujours une genèse contenue dans la production de l'extension, du nombre et du temps .

Ce que la grandeur extensive assure à l'intuition pure doit par conséquence être appliqué à l'intuition empirique. C'est ainsi que les propositions des mathématiques pures sont validées objectivement dans l'expérience. Ce principe synthétique *a priori* des axiomes de l'intuition permet donc la constitution de l'essence des phénomènes,

dans la mesure où l'appréhension et la connaissance des objets des intuitions empiriques ne sont possibles que par la synthèse des espaces et des temps.

La réponse à la question « comment les jugements synthétiques en mathématique sont-ils possibles?» n'est pas donnée avant les axiomes de l'intuition. L'objet mathématique n'est donc pas connu sous une forme possible dans l'Esthétique transcendantale, car nous n'avions pas encore les éléments permettant de le penser. La possibilité de la géométrie et de l'arithmétique n'est expliquée que dans le premier principe de l'entendement pur, qui démontre aussi l'application des mathématiques pures aux objets de l'expérience.

Deux points importants de la thèse de Cohen peuvent maintenant être discernés plus clairement. Premièrement, l'Esthétique transcendantale n'est véritablement explicitée que dans l'Analytique des principes. L'unité synthétique, requise pour la conscience du multiple de l'intuition en général, a besoin des éléments de l'entendement. Sans la synthèse de la capacité de l'imagination, en conformité avec les catégories, aucune conscience de l'unité de l'intuition n'est possible.

Deuxièmement, l'idée centrale de l'interprétation cohennienne conduit à considérer le principe de la grandeur intensive comme le fondement ou même la condition préalable du premier principe. La continuité dans l'appréhension du multiple, présupposée par les axiomes de l'intuition, est en effet basée sur le second principe des anticipations de la perception. L'argument pour cela est donné par Cohen :

> Par conséquent, dans la mesure où ils présentent des *quanta continua*, l'espace et le temps eux-mêmes, les conditions sensibles de l'unité de la conscience, sont produits par la grandeur intensive, à titre de continua, grâce à la pensée qui conditionne la réalité.
>
> D'après cela, la grandeur intensive apparaît tout d'abord comme la condition préalable de la grandeur extensive ; en effet, si l'unité d'une pluralité doit être pensée, il faut au préalable que l'unité elle-même soit pensée. Cette unité est celle qui n'est « appréhendée » que comme unité. (Cohen, 2001 : 434-5)

Cette affirmation de Cohen, plus lisible après l'exposé qui suit, démontre le rôle prépondérant du principe de la grandeur intensive.

1.4.2. La grandeur intensive

Le principe de grandeur intensive, ou des anticipations de la perception, a la formulation suivante dans la deuxième édition : «Dans tous les phénomènes, le réel, qui est un objet de la sensation**,** a une grandeur intensive, c'est-à-dire un degré » (Kant, 1980d : 906 ; B207; Ak III, 151). Ce principe Kant l'établit à partir de l'application des catégories de qualité au multiple de l'intuition, sous la médiation des schèmes relatifs à ces catégories.

On sait que les catégories de qualité se décomposent en réalité, négation et limitation. Ainsi, le schème de la catégorie de la réalité, qui correspond à une sensation en général, indique « une existence dans le temps », une « quantité de quelque chose en tant que ce quelque chose remplit le temps » (A 143/B183 ; Ak III, 137). La schématisation de la catégorie de la négation désigne un vide ou une non-existence dans le temps et le schème de limitation « se donne donc dans la différence du même temps, comme temps rempli ou vide » (A143/B182 ; Ak III, 137). Le schème de qualité, en général, correspond au contenu du temps, dans la mesure où il contient et fait représenter « la synthèse de la sensation (perception) avec la représentation du temps, ou le remplissage du temps» (A145/B184 ; Ak III, 138).

La grandeur intensive se rapporte, donc, à cette production continue et uniforme de la réalité dans le temps. Une réalité perçue selon une intensité déterminée, c'est-à-dire, un degré qui indique le remplissage plus ou moins intense de la représentation de l'objet dans le temps.

Kant définit la grandeur intensive comme «une grandeur, qui n'est appréhendée que comme unité, et dans laquelle la pluralité ne peut être représentée que par l'approche de la négation = 0» (Kant, 1980d : 908 ; A168/B210; Ak III, 153). La quantité extensive se distingue de l'intensive parce que, dans la première, on obtient l'unité à travers la représentation des parties, qui sont extérieures les unes aux autres – nous formons alors l'idée du tout justement parce que nous avons l'idée des parties séparées- alors que dans la seconde, l'unité est donnée en entier, le degré de la réalité étant appréhendé instantanément, et non successivement. L'appréhension de la réalité ne

se donne pas par la succession de sensations, mais par l'appréhension simultanée du réel dans la sensation.

Selon la définition, nous trouvons dans le degré même de la réalité la représentation de la pluralité de la quantité intensive. Ce degré peut être diminué continuellement et, pour aussi petit qu'il soit, jamais il ne sera le plus petit. Le réel, donc, possède une quantité qui n'est pas extensive, mais intensive.

Parmi toutes les qualités de la sensation, Kant considère que la continuité seule peut être connue *a priori*. Elle est ainsi une caractéristique non empirique, appartenant à l''apriorisation' du contenu. En effet, la continuité, en tant qu'unique caractéristique *a priori* de la qualité, et la grandeur intensive, en tant que détermination *a priori* de la qualité du réel, s'identifient. Nous ne percevons pas le continu à travers la sensation. Nous ne captons pas, par exemple, la transmission de la quantité du mouvement, c'est-à-dire, le passage de l'état de repos à l'état de mouvement. Nous percevons le repos et le mouvement, mais la transition de l'un à l'autre échappe aux sens. Les sens, par conséquent, ne sont pas suffisants pour rendre compte du contenu même de l'expérience. Il revient à la grandeur intensive de jouer ce rôle de constitution de l'intuition.

Le principe des anticipations de la perception a comme repères non seulement la forme de l'intuition du phénomène, mais aussi la matière qui est donnée dans la sensation. Pourtant, comme jugement synthétique *a priori*, il ne peut anticiper ce qui nécessairement est donné *a posteriori*, autrement dit, la matière même de la sensation. Toutefois, il anticipe la matière des phénomènes dans leur aspect formel. Dans ce sens, on peut distinguer la forme pure de l'intuition des phénomènes, dont traite le premier principe, de la forme de la matière des phénomènes, qui peut être prévue par ce second principe. Il concerne la possibilité d'anticiper les caractéristiques nécessaires que l'objet de l'expérience doit avoir. L'anticipation est ainsi, définie par Kant comme «toute connaissance par laquelle je puis connaître et déterminer *a priori* ce qui appartient à la connaissance empirique» (Kant, 1980d : 907 ; A166/B208; Ak III, 152). Ceci signifie que la qualité formelle de l'expérience, considérée à travers la sensation en général, peut être connue *a priori*.

La schématisation de la catégorie de la qualité, qui amène directement au principe des anticipations de la perception, permet, par conséquent, d'appréhender la

réalité, pas encore dans son existence mais dans son essence. L'essence ici doit être destituée de toute signification ontologique et considérée dans sa fonction strictement épistémologique. Elle concerne la possibilité et non pas l'existence effective de l'objet. Cette essence, donnée par la grandeur intensive, détermine cependant la possibilité de l'existence du phénomène. La réalité doit avoir un degré. C'est ce que dit la grandeur intensive et c'est ce qu'il est possible d'anticiper.

La caractéristique fondamentale de la grandeur intensive est, donc, la continuité. Elle concerne non seulement les grandeurs intensives, mais aussi, comme nous l'avons vu, les grandeurs extensives, à partir du présupposé « que aucune partie n'est en elle la plus petite possible (aucune partie n'est simple)» (Kant, 1980d : 909 ; A169/B211; Ak III, 154). A ce propos H. Cohen (2001) affirme :

> La continuité est la caractéristique apriorique exclusive de la qualité. Que, par conséquent, on ne puisse connaître dans la qualité du réel, à titre de détermination *a priori*, que la quantité intensive, cela rejoint absolument le sens de la continuité.
>
> Par là même, le miracle disparaît ; en effet, la continuité n'appartient pas à la sensation, mais elle se laisse seulement rapporter à l'apriorisation du contenu de cette sensation, et ce rapport se trouve dans la quantité intensive. Celle-ci est l'espèce nouvelle et particulière de grandeur établie par le principe qui, même s'il ne légitime pas des axiomes comme le principe de la grandeur extensive, légitime pourtant des « anticipations », qui n'en sont pas moins nécessaires et qui ne présupposent rien de moins dans la grandeur intensive que l'élément pur des qualités de la sensation. Par suite, tous nos besoins relatifs aux grandeurs sont comblés et satisfaits. L'objet de l'expérience est désormais fondé comme grandeur, et certes comme grandeur extensive qui s'enracine dans la grandeur intensive. (H. Cohen, 2001 : 442 ; *KTE*, 557)

Ainsi, face au principe de la continuité intensive, l'espace et le temps sont redéfinis : en effet, ils ne peuvent être composés ni de points ni d'instants. Espace et temps sont conçus comme des quantités fluides, dont la synthèse, résultat de la capacité productive de l'imagination, est donnée par la progression continue du temps. Tous les phénomènes peuvent être pensés, donc, comme *quantum continuum*, tant par rapport à l'intuition que par rapport à la perception.

Dans « Les concepts kantiens selon Cohen », Vuillemin (1954) se prononce par rapport à cette redéfinition du temps et de l'espace à partir du principe de grandeur intensive. Ainsi il note que dans les « axiomes de l'intuition », temps et espace sont décrits au niveau de la sensation et exprimés par des quantités discrètes, malgré la supposition d'une succession continue des diverses parties. Les parties de la figure, comme les instants du temps, étaient des moments extensifs, c'est-à-dire, extérieurs les uns aux autres, qui se séparaient et s'excluaient. De manière extensive, le temps signifie les instants d'avant et d'après, comme condition pour penser l'événement qui se produit avant ou après. Mais, la connexion continue entre l'avant et l'après échappe à la grandeur extensive. Pour penser le temps ou l'instant lui-même, la continuité est nécessaire, c'est-à-dire la grandeur intensive. Le temps et l'espace ne sont jamais discrets, mais continus. C'est pourquoi Kant affirme que l'espace consiste seulement en espaces et le temps seulement en temps. ¨Points et instants doivent être considérés comme des concepts limites. Les concepts de limite et de continuité jouent un rôle tout fait particulier dans le second principe eu égard à la détermination des conditions mathématiques constitutives de la connaissance objective. Ce sont des concepts dérivés du calcul infinitésimal, qui affirment le calcul comme règle, ou mieux, comme méthode de la constitution de la réalité dans son essence. Et à nouveau, nous observons l*a priori*té de l'«Analytique» sur « l'Esthétique », car « la nature même du temps, c'est le principe des grandeurs intensives qui la révèle » (Vuillemin, 1954 : 198 ; note) .

De même que le nombre est le schème qui permet l'application de la catégorie de la quantité aux phénomènes, le calcul infinitésimal est le schème qui permet l'application de la catégorie de la qualité au monde empirique. Par cette règle se réalise le passage graduel de la conscience empirique à la conscience pure, ou alors, de la perception, dans laquelle il y a un certain degré de réalité donné par la sensation, à la conscience simplement formelle, dans laquelle ce degré est égal à zéro, les intuitions pures de l'espace et du temps seules restant. « Entre la réalité et la négation il y a un enchaînement continu de réalités possibles et de perceptions possibles plus petites» (B211). Ceci veut dire que, entre la réalité et sa négation, une approximation infinie peut être faite, à travers une séquence graduelle infinie de degrés toujours moindres.

A l'inverse, le calcul infinitésimal nous montre que l'approximation de 0 à 1 est infinie. Ainsi, se réalise, selon Kant, la « synthèse de la production de la grandeur d'une

sensation, de son commencement, l'intuition pure = 0, jusqu'à une grandeur quelconque de cette sensation» (B208).

Ainsi, selon Cohen, nous rencontrons, dans la preuve du principe des anticipations de la perception, l'un des textes les plus fondamentaux de la *Critique de la raison pure*. Dans le passage de la conscience pure à la conscience empirique du progrès continu depuis le zéro jusqu'à la réalité, nous assistons à la production du réel dans la sensation et, donc, la double genèse de la chose et de la sensation, ou de l'objet et du sujet. Ceci parce que, si le réel est celui qui possède un degré dans la sensation et la négation signifie la complète absence de sensation, la perception, qui pour Kant est la conscience empirique elle-même, est seule possible grâce à cette capacité que nous avons d'attribuer un certain degré à la sensation. Sans ce degré, il n'existe ni sensation, ni réalité. La sensation, en général, ne peut être prise en compte que dans la mesure où elle est sensation d'un objet. Le principe des anticipations met en lumière justement la détermination de l'objet. C'est dans ce sens que nous comprenons, à travers le calcul infinitésimal, la genèse tant du sujet que celui de l'objet. Ici selon Cohen s'accomplit le véritable sens de la révolution copernicienne de Kant, ce n'est pas notre connaissance qui se régule par les objets, mais ce sont les objets qui se régulent par notre connaissance.

Dans ce passage de la *Critique*, s'opère aussi la transition de la mathématique pure à la physique. Dans le principe des axiomes de l'intuition, nous assistons véritablement à la genèse de l'objet mathématique. Dans la grandeur intensive, l'authentique genèse de l'objet physique s'annonce. Il s'agit précisément de la possibilité, non d'une science quelconque, mais d'une science mathématique de la nature.

Le principe de grandeur intensive constitue, donc, la règle qui conduit à l'origine de l'objectivité et par conséquent, à la possibilité d'une science nécessaire et universelle de l'expérience. La légitimité de ce principe est déterminée par la connaissance effective que la physique nous offre de la réalité, en total accord avec Newton, qui mena à bien la mathématisation de la nature grâce au développement du calcul infinitésimal, concrétisant la véracité des propositions mathématiques. L'interprétation cohénienne de Kant fait résider dans le principe de la grandeur intensive le noyau de la méthode développée dans la *Critique de la raison pure*. La question centrale de la logique

transcendantale, comment l'unité de la synthèse d'une expérience possible peut se constituer comme réalité physique, est dès lors répondue à partir de ce second principe, qui révèle la signification transcendantale du principe suprême de la possibilité de l'expérience. Nous verrons par la suite que, malgré son importance, les positions dans le débat qui aura lieu dans le cadre de la mécanique quantique sur la pertinence du point de vue kantien seront aveugles en ce qui a trait à ce principe.

1.4.3 Les analogies de l'expérience et le principe de la grandeur intensive

Nous allons examiner maintenant un autre aspect important de la thèse de Cohen, celui du rapport entre les analogies de l'expérience et le principe de la grandeur intensive. C'est justement ce lien qui confère aux principes dynamiques le statut de méthodes de constitution de la connaissance mathématique de la nature.

Nous ne nous consacrerons pas, toutefois, aux postulats de la pensée empirique en général, étant donné qu'ils n'apportent rien de nouveau par rapport aux autres principes, mais les légitiment seulement, les restreignant exclusivement à l'usage empirique. Les postulats concernent seulement le mode d'existence des phénomènes, affirmant dans quelles conditions un phénomène est rendu possible, effectif et nécessaire. Nous soulignerons juste que ces postulats, dénommés principes de modalité, ont également un lien fondamental avec la grandeur intensive, dès lors qu'ils sont les conditions qui modulent l'objectivité de la connaissance empirique.

Les analogies de l'expérience, à leur tour, concernent l'existence des phénomènes en général, déjà constitués dans leur possibilité ; intensivement par rapport à la perception et extensivement par rapport à l'intuition. Dans quelles conditions les phénomènes physiques existent-ils? La réponse est énoncée dans le principe général des analogies de l'expérience, dont la formulation de la deuxième édition est la suivante : « *L'expérience n'est possible que par la représentation d'une liaison nécessaire des perceptions* » (Kant, 1980d : 914 ; B218; Ak III, 158). Ceci signifie que l'expérience se constitue, pour nous, comme un ensemble de lois nécessaires et non comme une simple

représentation empirique de perceptions. La nécessité de la nature est présupposée *a priori* par les principes des analogies.

Les schématisations des trois catégories de relation, à savoir, substance, causalité et communauté, permettent d'établir les trois principes des analogies de l'expérience comme règles qui fixent les relations des phénomènes dans le temps. Ces principes sont : celui de la permanence de la substance ; celui de la succession temporelle selon la loi de la causalité et celui de la simultanéité selon la loi de l'action réciproque.

Les trois analogies inscrivent nécessairement les phénomènes dans l'ordre du temps. Ce sont elles qui rendent vraiment possible l'existence objective des phénomènes en les déterminant temporellement. En tant que principes *a priori* fondamentaux de la connaissance empirique, elles confèrent nécessité aux phénomènes en les conformant aux lois. C'est sur elles que se constituent toutes les autres lois empiriques de la science.

La première analogie, de la substance, concerne le substrat permanent dans le temps. La substance n'indique ici aucune entité métaphysique puisqu'elle n'a aucune valeur ontologique. Le principe de la substance est une règle de la pensée, un simple principe de la détermination des phénomènes. Selon Philonenko (1969: 207), la véritable substance transcendantale est le temps par laquelle tout changement survient. La forme pure du sentiment interne, reste immuable dans toutes les variations des phénomènes – comme substrat par lequel, exclusivement, peuvent être représentés la simultanéité et la succession. Il ne change pas, ce sont les choses qui changent dans le temps.

La seconde analogie concerne la succession objective des phénomènes dans le temps. Sa formulation dans la deuxième édition est la suivante : « *Tous les changements arrivent suivant la loi de liaison de la cause et d'effet* » (Kant, 1980d : 925 ; B232; Ak III, 166). Ce principe ordonne le multiple du phénomène à travers des connexions causales. Ainsi, l'appréhension d'un phénomène (effet) succède, dans le temps, à l'appréhension d'un autre (cause), selon une règle nécessaire et irréversible. Cette liaison nécessaire à toutes les représentations dans un ordre cohérent fonde le phénomène, l'élevant à la dignité de l'objet scientifique.

La troisième analogie, Kant l'énonce dans la deuxième édition de la façon suivante : « *Toutes les substances, en tant qu'elles peuvent être perçues comme*

simultanées dans l'espace, sont dans une action réciproque universelle » (Kant, 1980d : 942 ; B256; Ak III, 180). Ce principe exprime la coexistence des substances phénoménales, dans l'espace, comme parties d'une expérience unique. Au moyen seulement de la règle de l'action réciproque la simultanéité peut être connue objectivement.

Ce qui régule la relation d'existence successive des phénomènes et, par conséquent, nous autorise à reconstruire la transformation, est le principe de causalité, qui nous offre ainsi, l'objectivité même du temps et l'appréhension de l'existence de l'objet. Appréhender la substance ou la simultanéité des substances (action réciproque) équivaut, surtout, à construire sa variation. C'est justement dans cette tâche de construction que ici aussi, dans les analogies de l'expérience, le principe de grandeur intensive joue un rôle fondamental. En tant que règle de la reconstruction de la transformation dans le temps, le principe de la grandeur intensive rend possible la constitution de l'existence du phénomène. La thèse de Cohen est que le principe de l'anticipation de la perception permet la compréhension profonde de la doctrine de causalité. Cette thèse est basée sur la proposition de Kant de ce que « tout changement n'est donc possible que par une action continue de causalité » (Kant, 1980d : 940, A208/ B254; Ak III, 179).

En conséquence, un changement d'un état à un autre qui soit le plus petit possible ne pourra jamais exister. A travers des degrés infiniment petits, un état nouveau émerge, à partir d'un précédent. L'action continue de la causalité n'est pas toujours perçue par la conscience empirique, qui, insuffisante, nécessite la médiation de l'entendement pour être corrigée et élevée au niveau de la conscience scientifique. La perception de l'action continue d'une cause déterminée, tout comme de l'ordre de l'apparition successive des phénomènes, est fondamentalement déterminée par le principe de la grandeur intensive. Kant exprime clairement cette idée dans le passage suivant :

> Tout passage dans la perception à quelque chose qui suit dans le temps est une détermination du temps par la production de cette perception, et comme cette détermination est toujours et dans toutes ses parties une grandeur, il est la production d'une perception qui passe, comme grandeur, par tous les degrés, dont aucun n'est le plus petit, depuis zéro jusqu'à son degré déterminé. Or, de là

> ressort la possibilité de connaître *a priori* une loi des changements, quant à leur forme ». (Kant, 1980d : 941, A210/B255; Ak III, 180).

L'ordre causal, qui confère la signification transcendantale au temps, s'enracine, donc, dans le principe de la continuité intensive, et c'est par lui que nous suivons, dans tous les degrés, la liaison de cause à effet.

En effet, la relation entre le principe de grandeur intensive et le principe de causalité n'est autre chose que la traduction transcendantale de ce qui se passe au niveau de la physique newtonienne. De la même façon que le calcul infinitésimal a permis à Newton de fonder la causalité mécanique, le principe de la grandeur intensive, qui a comme base le schème de ce calcul, permet à Kant de fonder le principe de la causalité transcendantale. Newton dut inventer, tout d'abord, le calcul des fluxions, pour pouvoir énoncer, de manière apoditiquement nécessaire, ses lois causales du mouvement. De même le principe de causalité transcendantale – jugement synthétique *a priori* fondamental par rapport à l'existence des phénomènes du temps – ne permet pas de constituer l'objet de la science mathématique de la nature s'il n'est pas basé sur le principe de la grandeur intensive. Nous reviendrons sur cette question lors qu'il s'agira d'examiner le rôle transcendantal du principe de causalité dans le cadre de la mécanique quantique. Ici nous soulignerons seulement que l'oubli de ce lien entre la causalité et le principe des anticipations de la perception dans les débats qui ont suivi a entraîné beaucoup de malentendus. Nous traiterons de ce problème dans la partie suivante de ce travail.

Nous rencontrons dans ce parallèle, un argument assez favorable à l'interprétation de ce que la table des catégories n'est pas dérivée de la logique formelle, mais des principes de la science de la nature. Cohen (2001 : 274) a bien noté que Kant a déterminé autant de catégories que la physique Newtonienne l'exigeait. L'exposition systématique, entreprise par Kant dans la *Critique de la raison pure*, dans laquelle les catégories apparaissent dérivées des jugements de la logique formelle, ne coïncide pas avec l'ordre méthodologique de développement de son système de pensée. D'où l'erreur de nombre de philosophes et de critiques. Le point de départ de Kant fut toujours la science de la nature. La logique transcendantale est le fruit de la réflexion sur cette science, dans le sens de rechercher les conditions de possibilité qui font de la physique

la connaissance objective de la réalité empirique. Philonenko (1969 : 113) à ce propos souligne :

> Kant est parti de la réflexion sur les sciences et ne s'est servi de la logique générale que comme principe d'ordre et cela est à tel point vrai qu'il fut obligé, étant donné les résultats obtenus dans la réflexion sur les science de corriger les affirmations de la logique formelle. Voilà pourquoi il nous dit qu'il disposait du travail des logiciens, mais que celui-ci n'était pas impeccable. *Loin de dépendre de la logique formelle, la logique transcendantale la conditionne.*

Nous reviendrons sur cette thèse dans le chapitre suivant où nous vérifierons une complète adéquation entre les *principes métaphysiques de la science de la nature* et la table des catégories. Nous serons alors en meilleure condition pour comprendre l'affirmation de Philonenko (1969 :113) pour qui la table des catégories « est à la fois une *logique des sciences* et une *histoire des sciences* ».

1.5. La Dialectique comme méthode

Nous avons exposé jusqu'ici la méthode transcendantale dans son aspect constitutif, en présentant les conditions de possibilité de la connaissance mathématique de l'expérience. Nous présenterons, maintenant, la Dialectique Transcendantale, dans son rôle méthodologique limitatif. Nous vérifierons que le travail de l'Analytique n'est pas complet sans la fonction régulatrice des idées de la raison. C'est bien dans la Dialectique que Kant accomplit sa réflexion sur les limites de la connaissance empirique.

Les deux divisions de la « Logique Transcendantale » correspondent respectivement, à l'« Analytique », comme logique de vérité, et à la « Dialectique », comme logique de l'apparence illusoire. La première tente justement d'affronter le problème de la vérité, qui se traduit par la concordance entre les lois de l'entendement et les objets des sens. La seconde cherche à découvrir l'illusion de ces jugements qui outrepassent les limites de l'expérience possible. De tels jugements sont appelés par Kant idées transcendantales, elles sont les catégories mêmes, amplifiées jusqu'à l'inconditionné.

Dans le système des idées cosmologiques, Kant critique la prétention de faire, des idées transcendantales, l'unité inconditionnelle des conditions objectives des phénomènes. Cette prétention conduit au conflit des antinomies cosmologiques, c'est-à-dire au conflit des idées de la raison pure dans sa relation avec le monde. Le texte des antinomies consiste à dénoncer l'inévitable illusion de la raison en prenant ces idées comme principes constitutifs des phénomènes en leur attribuant une réalité objective. Pour Kant, les idées transcendantales ne sont pas données à l'intuition sensible et, de ce fait, elles ne se présentent pas aux formes *a priori* de l'espace et du temps.

L'interprétation de Cohen voit le conflit des antinomies comme un conflit de méthodes. Elle s'oppose à toute sorte d'interprétation qui essaie de comprendre ce conflit en ne se référant qu'aux contenus exprimés par la thèse et par l'antithèse sans aucun rapport avec leur caractère méthodologique. Dans la perspective de l'analyse cohénienne, la «Dialectique » est une réflexion sur les méthodes, et la thèse et l'antithèse des antinomies doivent être considérées comme des « *méthodes dogmatiques dans leur relation au monde* » (Cf. Philonenko, 1969 : 299). Les méthodes deviennent dogmatiques dans les antinomies justement dans la disjonction entre les catégories et les intuitions. L'illusion émerge quand l'idée de totalité inconditionnelle, qui n'est pas du tout donnée à l'intuition sensible, est prise comme si elle était une idée objective. Cette façon de procéder donne toujours naissance à un confit entre deux positions métaphysiques contradictoires, que la raison, suivant ses propres critères, ne réussit pas résoudre. «Encore une fois nous voyons que tous les malentendus qui affectent la doctrine kantienne – et qu'excusent en partie les difficultés d'expression propres à Kant - viennent de la tendance presqu'invincible à penser en termes de *choses* plutôt qu'en termes de méthodes» (Philonenko, 1969: 281).

Selon Philonenko, si le schématisme et le principe de la grandeur intensive sont le sommet de la logique de la vérité, le sommet de la logique de l'apparence se trouve dans la seconde antinomie de la Dialectique Transcendantale. Dans le conflit entre le continu et le discret, l'idée d'infini sérial, supposée par Kant dans toutes les antinomies, est considéré de manière plus systématique.

Le conflit des idées de la raison surgit quand on prend cet infini comme chose en soi, qui possède une réalité existante, et non comme règle. L'idée de l'infini sérial, qui est à la base de tout principe cosmologique, admet comme donnée en soi-même tant le

monde que la totalité inconditionnelle de la série de ses conditions. Un tel principe évidemment ne peut cependant pas fonctionner comme principe constitutif de la nature, dans le sens d'amplifier la connaissance du monde des sentiments au-delà de toute expérience. Cependant il peut marcher comme une règle qui, selon Kant, « fait poursuivre et étendre l'expérience le plus loin possible, et d'après lequel aucune limite empirique ne doit avoir la valeur d'une limite absolue». Kant l'appelle le principe régulateur de la raison, qui « postule *comme règle*, ce qui doit arriver de notre fait *dans la régression* et *n'anticipe* pas ce qui est donné en *soi dans l'objet* antérieurement à toute régression» (A509/B537 ; Ak III, 349). Dans l'usage régulateur, les idées de la raison, auparavant apparences illusoires, se convertissent en règles que la raison prescrit au champ des phénomènes fonctionnant comme des principes propres de la science de la nature. Dans ce sens, les idées de la raison pure cessent d'être des méthodes dogmatiques et, donc, illégitimes, et se transforment en méthodes transcendantales qui rendent possible la connaissance de la réalité empirique.

Cependant, la « Dialectique », qui, en principe, se présente comme méthode purement négative, pour interdire la connaissance des idées métaphysiques, acquiert, en définitive, une signification positive. Malgré le fait que ces idées ne possèdent pas une réalité objective, elles ne cessent de posséder une légitimité. Dans l'usage méthodologique seulement, les idées de la raison pure acquièrent le statut de lois suprêmes de la connaissance de la réalité objective, dans la mesure où elles donnent à l'expérience une unité systématique que nulle connaissance empirique n'est capable de donner. Dans ce sens, Philonenko affirme que la chose en soi ne peut être extirpée du criticisme, puisque, comme une idée transcendantale, elle se transforme en un principe régulateur qui limite et oriente l'activité de la connaissance.

Cette compréhension méthodologique de la Dialectique est fondamentale pour évaluer les conditions qui limitent la connaissance des inobservables, comme c'est le cas de la constitution microphysique de la matière. Mais avant d'approfondir cette question, il est nécessaire de suivre le chemin qui nous mène des principes de l'entendement pur aux principes métaphysiques de la science de la nature.

Chapitre 2
De la méthode à la métaphysique de la nature

L'œuvre *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature* a été publiée par Kant en 1786 et a servi de point de départ aux philosophies de la nature mises en œuvre au dix-neuvième siècle, notamment celles de Schelling, Hegel et Engels. Ce texte ainsi que les tentatives postérieures pour édifier une philosophie de la nature a fait l'objet de nombreuses critiques, principalement par ses désaccords avec les nouvelles connaissances produites par la science. Au regard de l'état actuel de la science, Kant semble avoir produit un système dépassé dont les principes restent entièrement dépendants des principes de la science newtonienne.

Bien que le développement de la physique ait invalidé plusieurs propositions défendues par Kant dans les *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, notre intérêt pour cette œuvre se justifie en fonction de son importance pour la compréhension du projet même d'une philosophie transcendantale. Nous essayerons d'expliciter la correspondance entre les principes méthodologiques de l'entendement pur, qui traitent de la possibilité de constitution d'une science de la nature, et les principes métaphysiques qui effectivement structurent l'existence de cette science, afin d'apprécier l'application de la méthode transcendantale, développée dans la *Critique de la raison pure*, dans la construction des théories scientifiques.

2.1 Métaphysique et Méthode

Reprenant, dans la préface des Principes Métaphysiques, ce qui fut traité dans la *Critique*, dans le chapitre «l'Architecture de la raison pure » (A832-51 / B860-79 ; Ak III, 538-49), où une synthèse de tout son système philosophique est offerte, Kant explique la place occupée par la métaphysique de la nature dans sa philosophie.

Pour éviter des malentendus autour de la notion de métaphysique, nous devons, avant tout, considérer le sens spécifique que cette notion acquiert après être soumise à la critique de la raison, lorsque Kant lui attribue une signification totalement nouvelle.

Dotée d'un caractère scientifique et, donc, positive, la métaphysique de la nature nous offre les bases d'un savoir qui modalement peut être conçu soit comme possible, soit comme réel, soit comme nécessaire. Nous devons, à partir de maintenant, abandonner l'acception dogmatique du terme qui, pour Kant, n'indiquerait plus qu'une illusion de la raison, comme il le démontra dans la « Dialectique transcendantale ».

Dans « l'Architecture de la raison pure », Kant distingue la métaphysique de la nature, qui « contient tous les principes purs de la raison qui, par de simples concepts (à l'exclusion par conséquent de la mathématique), portent sur la connaissance *théorique* de toutes choses », de la métaphysique des mœurs, qui « contient les principes qui déterminent *a priori* et rendent nécessaire*s le faire et le ne pas faire »* (A841/B869 ; Ak III, 544). La première – celle qui nous intéresse le plus – concerne l'usage théorique de la raison et la seconde son usage pratique. En relation à la raison théorique, Kant précise que la philosophie de la raison pure est, d'une part, une *critique* de la raison en tant qu'elle est une *propédeutique*, « qui examine le pouvoir de la raison par rapport à toute connaissance pure *a priori* », et d'autre part, une *métaphysique*, en tant qu'elle est « le système de la raison pure (la science), toute la connaissance philosophique (vraie aussi bien qu'apparente) venant de la raison pure dans un enchaînement systématique» (Kant 1980d : 1391, A841/B869 ; Ak III, 544).

Face aux *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, quelles différences y aurait-il entre cette métaphysique de la nature formulée dans la *Critique* et celle, constituée dans les *Premiers Principes* ? Il reste indéterminé dans les définitions citées ci-dessus, si les « principes purs », contenus dans la métaphysique de la nature, coïncident avec les principes de l'entendement pur, ou avec les *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, ou, alors, s'ils englobent les deux. Confirmant cette non-distinction, dans les *Prolégomènes*, les principes transcendantaux de l'entendement pur sont présentés sous le titre « table physiologique pure des principes universels de la science de la nature » (Kant 1985a : 75 ; §21 ; Ak. IV, 303). Enfin, quelle serait la différence entre les principes de l'entendement et les *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature* ?

Cette indétermination est cependant éclaircie dans la Préface des *Premiers principes*. Mais, auparavant, de nouvelles définitions méritent d'être établies.

Kant commence ainsi la préface en distinguant l'acception formelle de la nature, comme « le principe premier et intérieur de tout ce qui appartient à l'existence d'une chose », et l'acception matérielle, qui prend la nature comme « la totalité des choses pour autant qu'elles peuvent être *objets de nos sens* et, donc aussi objets d'expérience » (Kant, 1985b : 363 ; Ak. IV, 467). De même qu'il y a un sens externe et un sens interne, il y a tantôt une théorie des corps, portant sur des objets donnés au sens externe, tantôt une théorie de l'âme, qui considère la nature pensante à partir des objets donnés au sens interne.

Toutefois, aucune théorie de la nature, qu'elle soit théorie des corps ou théorie de l'âme, ne mérite d'être appelée science. Pour cela, elle doit former un système ordonné selon des principes, qui fondent l'enchaînement rationnel des connaissances qui constituent un tout. Ainsi, il est préférable, selon Kant, de diviser la théorie de la nature en *doctrine historique de la nature* qui contient simplement un enchaînement systématiquement ordonné de faits naturels, et en *science de la nature*. Celle-ci, à son tour, « serait science de la nature au sens propre ou au sens impropre; la première traitant son objet entièrement d'après des principes *a priori*, la seconde le traitant d'après des lois de l'expérience » (Kant, 1985b : 364 ; Ak. IV, 468).

Donc, une connaissance dont la certitude n'est qu'empirique est improprement appelée science. Pour Kant la chimie, par exemple, ne devrait pas avoir l'appellation de science, mais d'art systématique, car ses principes sont des lois de l'expérience qui reposent uniquement sur des donnés empiriques. Pour être appelée science, une connaissance doit contenir une certitude apodictique et, pour cela, ses lois fondamentales doivent être connues *a priori*.

Le concept de nature est, dans la conception de Kant, indissociablement lié au concept de loi et lui-même, à celui de nécessité. Si la science de la nature contient une partie empirique et une autre pure, c'est seulement en vertu de cette dernière qu'elle est vraiment dénommée science. Ce sont les principes purs qui doivent fonder toutes les autres explications de la nature. L'expérience fournit seulement des lois contingentes, la nécessité des lois de la nature est établie par l'entendement. Pour ceci, la part pure, qui contient les principes *a priori* qui confèrent à la science une certitude apodictique, mérite d'être séparée de la partie empirique.

Kant veut, ainsi, déterminer exactement ce que la raison peut connaître par elle-même et le point où elle commence à avoir besoin de l'aide de la matière de l'expérience. Une connaissance rationnelle pure peut être ou bien métaphysique ou bien mathématique. En tant que métaphysique ou philosophique, la connaissance rationnelle s'établit par la pure description des concepts. En revanche, en tant que mathématique, la connaissance pure est mise en oeuvre par la construction des concepts, où l'objet se présente en une intuition *a priori*[22]. Une science de la nature proprement dite doit, selon Kant, présupposer autant une métaphysique qu'une mathématique. Mais pourquoi la science physique devrait-elle contenir ces deux types de connaissance, ne pouvant se priver de l'un d'entre eux ? Nous analyserons, tout d'abord, le rôle de la métaphysique dans la constitution des théories scientifiques, afin de séparer aussi la métaphysique des principes de celle relatée dans la Critique et de confronter nos principes de l'entendement pur aux métaphysiques de la science de la nature. Un peu plus loin nous examinerons le rôle des mathématiques dans le champ d'une science pure.

Une science de la nature concerne les principes *a priori* qui font partie de l'existence d'une chose. Or, le concept même de l'existence ne peut jamais être construit, c'est-à-dire présenté dans une intuition *a priori*. Il peut, uniquement, être décrit rationnellement. D'où s'impose la nécessité de la métaphysique de la nature, dès que le domaine de l'existence échappe aux mathématiques, qui se penchent sur l'essence des choses. Ceci parce que, pour Kant, on peut attribuer aux figures géométriques une essence, mais jamais une existence, car celles-ci ne possèdent rien dans leur concept qui exprime un être. Le concept de la nature doit être situé dans le domaine de la métaphysique, contrairement au concept du triangle, qui peut être construit *a priori* dans une intuition pure.

Contre les physiciens et les mathématiciens qui affirment que leurs lois naturelles n'admettent que des principes purement empiriques, protestant contre une certaine prétention de la métaphysique sur la science, Kant argumente qu'ils ne peuvent jamais exister sans les principes métaphysiques et que, dans la majorité des cas, ils se servent d'eux inconsciemment. Selon Kant :

---

[22] Selon Kant « *construire* un concept, c'est présenter *a priori* l'intuition qui lui correspond » (A713/B741 ; Ak III, 469).

> Toute vraie métaphysique est tirée de l'essence de la faculté de penser elle-même, et, si elle n'emprunte rien à l'expérience, elle n'est pas pour autant une invention, mais elle contient les concepts et les principes *a priori* qui transforment le divers des *représentations empiriques* en une liaison conforme à des lois, de manière que ce divers puisse devenir *connaissance empirique*, c'est-à-dire, expérience (Kant, 1985b : 370; Ak. IV, 472).

C'est seulement ainsi, par les principes *a priori* de l'entendement pur, qu'une telle diversité peut se transformer en connaissance empirique. Les physiciens mathématiciens ne peuvent, ainsi, nier l'affirmation de l'existence d'une métaphysique sous-jacente à toute connaissance scientifique.

La métaphysique de la nature, cependant, se divise en deux parties : transcendantale et appliquée.

La première, constituée dans la *Critique de la raison pure*, reçoit le nom de métaphysique de la nature générale et traite « des lois qui rendent possible le concept d'une nature en général» (Kant, 1985b : 366 ; Ak. IV, 469), ne s'occupant de façon déterminée d'aucun concept empirique. Elle établit donc les conditions *a priori* de toute connaissance sensible, examinant la nature dans sa possibilité sans considérer effectivement la matière de l'intuition sensible.

Il semble contradictoire d'avoir défendu dans le premier chapitre la *Critique de la raison pure* comme un traité de la méthode et ici, comme une métaphysique de la nature générale. Mais cette contradiction disparaît si nous prenons en compte le sens attribué par Kant à cette métaphysique. Elle traite des lois *a priori* qui rendent possible la connaissance de la nature. Et que sont ces lois, sinon des méthodes qui permettent l'objectivité de la réalité empirique ? Les principes transcendantaux de l'entendement pur sont, comme nous l'avons vu, des règles d'usage objectif des catégories. Cela a permis à Kant de constituer une métaphysique particulière, prenant comme référence un seul concept empirique, le plus fondamental, à partir duquel sont obtenues, par la raison, des connaissances d'une manière entièrement *a priori*.

La seconde métaphysique, dénommée métaphysique de la nature particulière, applique les principes transcendantaux aux deux genres d'objets de nos sens; la matière, objet de la physique, et l'être pensant (âme), objet de la psychologie. Sans encore prendre en compte les déterminations empiriques des objets, il rejette ce qu'il reste de

sensible dans ces concepts, la métaphysique particulière n'emploie pas quelque autre concept empirique. Ce champ spécifique de la métaphysique ne prend en compte que ce que la raison est capable de connaître par elle-même à partir du concept de matière ou du concept de l'âme, ne cherchant pas à emprunter d'autres principes de l'expérience. C'est cette métaphysique appliquée qui est traitée dans les *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*. Sur la spécificité de ces principes, on trouve dans « L'Architectonique de la raison pure » le commentaire suivant :

> Nous ne prenons de l'expérience rien de plus que ce qui est nécessaire pour nous donner un objet, soit du sens extérieur, soit du sens interne, et cela se fait, dans le premier cas, au moyen du simple concept de matière (étendue impénétrable et sans vie), dans le second, au moyen du concept d'un être pensant (dans la représentation empirique interne : je pense). Nous devrions d'ailleurs nous abstenir entièrement, dans toute la métaphysique de ces objets, de tous les principes empiriques qui pourraient ajouter encore au concept quelque expérience, servant à porter un jugement sur ces objets. (A848/B876 ; Ak III, 548).

Ce passage contient bien la réponse au caractère problématique d'admettre une métaphysique particulière, qui établisse les principes *a priori* à partir d'un concept empirique, donné *a posteriori*. La question est de savoir comment nous demeurons dans les domaines de la métaphysique, définie comme une connaissance rationnelle pure, prenant comme référence un concept empirique ? Ou, au contraire, comment justifier que les propositions fondamentales de la science physique, considérée maintenant non dans sa possibilité, mais dans son existence, sont possibles de manière *a priori* ?

Le caractère *a priori* de ces principes métaphysiques particuliers en tant que contre-proposition aux principes purs de l'entendement ont été bien analysés par Philip Kitcher (1983) et Gernot Böhme (1981). Dans son article intitulé *Kant's philosophy of science*, Kitcher introduit la notion de *quasi-a priori* pour expliquer la différence entre les principes *a priori* de la nature en général, exposés dans la *Critique de la raison pure*, et les principes métaphysiques de la science de la nature. Selon l'auteur, ceux-ci, qui feraient partie du corps de la science newtonienne, ne seraient ni complètement *a priori*, ni empiriques. L'ouvrage *Premiers principes* serait, pour Kitcher (1983 : 393) «l'effort

d'exposer comment une science *quasi-a-priori*, est possible dans un sens plus ambitieux»[23].

Pour caractériser cette science *quasi-a–priori*, Kitcher s'appuie sur deux autres idées : celle de procédure *a priori* et celle de concept empiriquement légitimé. Ainsi, la science de la nature fait usage des procédures *a priori* pour construire une hiérarchie de concepts, qui formeront une théorie scientifique, à partir d'un concept empiriquement légitimé. Cette hiérarchie serait justifiée par l'évidence empirique du concept autant que par les procédures *a priori* utilisées. Les idées développées par Kitcher nous donnent la possibilité de comprendre la propriété en même temps pure et empirique de ces principes métaphysiques particuliers, fournissant des critères qui permettent une différenciation claire entre les principes de la métaphysique transcendantale et ceux de la métaphysique appliquée.

Böhme (1981), de son côté, dans son article *Towards a reconstruction of Kant's epistemology and theory of science*, préfère appeler méta-lois, les propositions *a priori* des *Premiers principes*, en opposition aux lois *a priori* de l'entendement pur, dénommées par Kant, dans les *Prolégomènes*, principes de la science naturelle. Böhme est contre l'interprétation qui voit les propositions des *Premiers principes* en tant qu'application des principes de l'entendement pur à une sphère spécifique des objets, car, dans ce cas, une telle sphère d'objets pré-existerait déjà. Selon lui, la véritable signification des *Premiers Principes* est qu'« une sphère particulière d'objets est constituée sur les bases des principes de l'entendement pur »[24]. Cette considération est importante pour ne pas perdre la signification transcendantale de la méthode critique, qui n'admet jamais l'existence en soi des objets.

Pourtant, si la connaissance sensible ne peut renoncer à la métaphysique, par elle-même, elle ne garantit pas l'universalité et la nécessité des théories scientifiques. Il nous reste, encore, à montrer comment l'autre partie pure de la connaissance rationnelle, à savoir, les mathématiques, est absolument indispensable pour la constitution d'une science de la nature.

---

[23] "The *Metaphysical Foundations* is his attempt to display how quasi- a priori science, in the more ambitious sense, is possible" (P. Kitcher, 1983: 393).

[24] "The very meaning of the MA is that a particular realm of objets is constituted on the basis of the principles of pure understanding"(G. Böhme, 1981: 84).

Selon Kant, connaître les choses de la nature d'une façon *a priori* signifie qu'elles doivent être connues selon leur simple possibilité. Néanmoins si nous considérons l'objet, non d'une nature en général, mais celui qui est un objet déterminé de cette nature, d'une façon telle qu'il puisse être connu *a priori*, il est nécessaire que « soit donnée l'intuition *a priori* correspondant au concept, c'est-à-dire il faut que le concept soit construit » (Kant, 1985b : 367 ; Ak. IV, 470). Ce procédé est, cependant, propre à la connaissance mathématique. Si une philosophie pure de la nature en général peut se priver des mathématiques, une théorie pure des choses déterminées de la nature ne le peut pas. Car, dans ce cas, il ne s'agit pas de déterminer un objet à partir de la représentation *a priori* de l'intuition. Et en plus, une théorie sur les objets de l'expérience dont les principes n'admettent pas une telle représentation mathématique ne peut être proprement considérée comme une science. Si ses principes sont purement empiriques et ne permettent pas l'emploi des mathématiques, elle doit être appelée art systématique ou théorie expérimentale.

Devant cette exigence mathématique, la psychologie (théorie de l'âme) n'appartient plus au champ de la science, car il n'y a pas véritablement une mathématique de l'âme. Il serait possible toutefois de penser dans un calcul des successions des modifications internes, car le temps est déjà la forme du sentiment interne. Kant argumente, alors, que, comme l'âme n'est pas extensible et que le temps ne possède qu'une dimension, une théorie mathématique des phénomènes du sentiment interne serait tellement appauvrie, qu'elle se comparerait à une physique basée seulement sur la géométrie de la ligne droite. C'est parce que les corps sont extensibles dans l'espace que l'on peut les connaître mathématiquement.

D'autre part, la psychologie n'est pas proche de la chimie comme art systématique de l'analyse ou de la théorie expérimentale, car, au delà de tout état d'âme il peut être isolé à des fins de recherche. « Il est encore moins possible, dit Kant, de soumettre un autre sujet pensant à des expériences appropriées à notre but, et même l'observation à elle seule altère et transforme déjà l'état de l'objet observé » (Kant, 1985b : 369; Ak. IV, 471). De cette manière, la psychologie serait pour Kant, une théorie naturelle historique du sens interne ou une description naturelle de l'âme, autant systématique que possible, mais jamais une science de l'âme ou même une théorie psychologique expérimentale. On verra dans les parties suivantes de ce travail que c'est

justement cet idéal même d'observation qui va être mis en échec par la mécanique quantique et si l'on veut garder le sens même de la réflexion transcendantale quelques modifications fondamentales doivent être introduites au cœur de la doctrine kantienne.

Pour l'instant, dans le sens que Kant lui a donné, quand nous parlons des principes de la science de la nature c'est à la théorie des corps que nous nous référons. Car, pour Kant, la physique satisfait pleinement les exigences d'une science, au sens propre du terme.

2.2 Des principes de l'entendement aux principes premiers de la science

En examinant la possibilité d'application des mathématiques à la théorie des corps, Kant présente les principes de construction des concepts « qui se rapportent d'une manière général à la possibilité de la matière» (Kant, 1985b : 369; Ak. IV, 472). Pour accomplir la recherche des fondements mathématiques de la science de la nature, il fera usage de la philosophie pure, qui est en train d'acquérir le statut d'une véritable *métaphysique de la nature corporelle*.

Il est nécessaire, avant tout, de choisir une propriété des corps qui doit être nécessairement fournie par les sens et qui puisse être successivement soumise aux lois de l'entendement. Sans une donnée sensible, nous n'aurions pas une métaphysique particulière, et si elle n'était pas unique, nous serions alors dans le champ d'une science empirique. Le concept empirique de matière, dès qu'il est pris isolément en référence aux intuitions pures dans le temps et dans l'espace, se trouve à la base de la constitution de la métaphysique de la nature particulière.

Kant juge nécessaire de séparer les constructions métaphysiques des mathématiques, afin que chacun de ces systèmes particuliers constitue son propre champ spécifique[25]. Cette détermination des limites est importante pour l'établissement de l'unité même de la connaissance, quoique Kant présente les principes du système métaphysique particulier de la nature corporelle comme « principes de la possibilité

d'une théorie mathématique de la nature » (Kant, 1985b : 371 ; Ak. IV, 473). Ces principes seront alors caractérisés comme des principes de la construction des concepts de la science naturelle.

Bien que la physique ne puisse jamais atteindre l'idéal de complétude, un tel système, qui est en train de se constituer, devrait résulter en une science absolument complète, car la métaphysique, contrairement aux autres genres de connaissance, fournit nécessairement, pour Kant, un nombre déterminé de lois *a priori*. Tant en mathématique pure qu'en théorie empirique de la nature, l'objet se forme à partir d'une diversité infinie d'intuitions et, par conséquence, la connaissance de ces sciences peut être étendue à l'infini, sans être jamais complétée. Dans la métaphysique de la nature corporelle, cependant, l'objet se présente selon toutes les lois nécessaires à la pensée. Comme Kant l'a démontré dans la *Critique de la raison pure*, où il expose le système complet de la métaphysique de la nature générale, ces lois ne peuvent être ni augmentées ni diminuées en nombre. La table des catégories contient intégralement tous les concepts purs de l'entendement. Ainsi, les principes synthétiques *a priori*, qui résultent de la subordination de ces catégories à l'intuition sensible, sont aussi quantitativement déterminées. Nous allons voir dans les parties suivantes de ce travail que le déroulement de la physique contemporaine a brisé ce projet de complétude dans les limites de ce que Kant appelle métaphysique de la nature corporelle.

Dans les *Premiers Principes*, Kant tente d'éclaircir comment les lois de l'entendement pur rendent possible l'expérience en essayant de répondre aux critiques dirigées à l'encontre de son projet de constitution d'une philosophie transcendantale. Selon ce que lui même admet, cette question n'a jamais été expliquée de façon satisfaisante. En se référant à Newton, Kant affirme que, bien que le principe de gravitation universelle ait été solidement établi, la difficulté de justifier la possibilité même de l'attraction à distance demeure. De même, en ce qui concerne les principes synthétiques *a priori*, il est incontestablement certain que l'expérience seule est possible par leur médiation, et que, réciproquement, ces principes n'admettent aucune autre signification et aucun autre usage que ceux relatifs aux objets de l'expérience. Malgré cela, des difficultés existent pour expliquer convenablement comment, au moyen de tels

---

[25] Pour une étude approfondie de la méthode de construction métaphysique en jeu dans les *Premiers Principes Métaphysiques de la Science de la Nature* : Cf. P. Plaass (1994).

principes, et seulement grâce à eux l'expérience est possible. Ces difficultés, cependant, ne mettent pas en cause, l'existence d' une concordance entre les phénomènes et les lois de l'entendement, ou alors, entre les principes de la science newtonienne et les principes transcendantaux de l'entendement pur. Cette corrélation est le but même des *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, qui sont l'application effective des catégories aux phénomènes.

En vue de ceci, de nombreux interprètes de Kant, d'inspiration néo-kantienne, comme Vuillemin (1955 : 40) et Philonenko (1975 :113), ne cessent d'affirmer, malgré l'exposition didactique de la *Critique de la raison pure*, que la table des catégories a été déduite du système des principes de l'entendement pur - et non le contraire - et que ces principes transcendantaux, à leur tour, ont été dérivés des principes de la science newtonienne. C'est, pourtant, la physique, et non la logique, qui fournit le fondement même des catégories. Dans les *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, Kant fait correspondre à chacune des catégories de l'entendement un principe de science naturelle. Pour Vuillemin, ceci vient confirmer que la philosophie transcendantale ne se propose pas de déduire ses principes à partir d'un passage continu de la logique à la réalité, mais à partir de la constitution *a priori* de l'expérience elle-même, ou mieux, de sa possibilité.

Dans cette perspective, la table des catégories fournit le schéma nécessaire, tant pour un système métaphysique de la nature en général, développé dans la *Critique de la raison pure*, que pour un système métaphysique de la nature corporelle en particulier, formulée dans les *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*. Ces principes aussi sont subordonnés aux quatre classes de catégories : quantité, qualité, relation et modalité. Comme nous l'avons vu, ils doivent résulter de l'application des principes transcendantaux de l'entendement à un contenu *a posteriori*, le concept général de la matière, qui constitue le minimum qui doit nous être donné pour qu'une métaphysique de la nature particulière soit possible. De ce concept, on extrait une propriété, provenant des sens, sur laquelle toutes les lois de l'entendement pourront être successivement appliquées.

Pour Kant, le mouvement remplit ces exigences, dans la mesure où, par son intermédiaire, le monde matériel affecte nos organes des sens. La raison pour cela est que «la détermination fondamentale d'une chose qui doit être objet des sens externes, il

fallait que ce fût le mouvement ; car c'est par le mouvement seul que ces sens peuvent être affectés» (Kant, 1985b : 374-5 ; Ak. IV, 476). A partir de lui il est possible de rétablir *a priori* tous les autres prédicats de la matière qui appartiennent à sa nature. De cette façon, il se constitue comme propriété matérielle fondamentale, qui sert de base à toute la métaphysique des corps. Pour ceci, conclut Kant, « la science de la nature est de part en part une *théorie du mouvement,* soit pure, soit appliquée» (Kant, 1985b : 375; Ak. IV, 477).

Par un procédé de synthèse, les catégories sont jointes à l'idée empirique d'une matière mobile. Comme cela a été décrit dans le chapitre précédent, la synthèse se produit à travers la méthode transcendantale elle-même, dans son travail d'appliquer les catégories à une donnée de l'intuition sensible. Avec l'application des principes transcendantaux au donné du mouvement, surgissent de nouveaux principes fondamentaux du système métaphysique particulier de la nature matérielle. Ces principes se réfèrent au concept de la matière mobile, considérée, successivement comme une quantité pure, principes métaphysiques de la PHORONOMIE, une qualité, principes métaphysiques de la DYNAMIQUE, un système de relations, principes métaphysiques de la MECANIQUE, et en son mode d'existence, principes métaphysiques de la PHENOMENOLOGIE.

Si, d'une part, les principes métaphysiques de la science de la nature ne se confondent pas avec les principes transcendantaux de l'entendement pur, d'autre part, ils se distinguent aussi des principes de la physique mathématique. En attendant que ceux-ci forment uniquement des concepts construits mathématiquement, les principes de la métaphysique particulière veulent montrer justement les conditions dans lesquelles un concept peut être représenté par une construction mathématique, cherchant, dans les axiomes propres de la physique, une démonstration des principes *a priori* de l'entendement. La métaphysique de la nature particulière n'est pas une science, mais la théorie sur la science. Son importance s'étend tant à la physique générale, qui a besoin de la métaphysique pour que les mathématiques puissent lui être appliquée, qu'à la métaphysique générale, autrement dit, à la méthode transcendantale, fournissant des exemples *in concreto* qui donnent du sens et de la signification aux formes simples de la pensée.

Pour mieux comprendre les principes métaphysiques de la science, nous étudierons les quatre divisions de la métaphysique appliquée en essayant de les mettre toujours en relation avec les divisions de la métaphysique générale. En avançant davantage dans sa philosophie de la science, nous verrons l'importance des *Principes Métaphysiques de la Science de la Nature*, qui ont permis à Kant de fournir une véritable démonstration des principes de la *Critique de la raison pure*.

2.3 Les principes métaphysiques de la phoronomie

Les principes de la phoronomie considèrent le mouvement comme un quantum pur, exclusivement selon sa composition, laissant de côté toute la qualité du mobile. La phoronomie est ainsi la partie de la physique qui étudie le mouvement isolé de toutes les causes qui le produisent ou le modifient, le considérant simplement en relation au temps et à l'espace. Dans la terminologie actuelle, la phoronomie serait dénommée cinématique, mais l'acception de Kant serait alors bien plus restrictive, concevant seulement le mouvement rectiligne uniforme, comme celui par lequel le mobile se trouve abandonné à lui même, sans une quelconque influence externe. La métaphysique de la phoronomie recherche la matière mobile en relation à la quantité extensive de son mouvement, faisant abstraction de toutes ses propriétés intrinsèques et même de son extension géométrique, en la supposant réduite à un point. Dans la phoronomie, Kant définit la matière uniquement comme *mobile* dans l'espace (Définition 1 ; Kant, 1985b : 378 ; Ak. IV, 480). A partir de cette définition, un processus de quantification du mouvement se réalise en fonction exclusivement des positions du mobile dans l'espace et dans le temps, dont résultera un concept neuf : celui de vitesse.

Les deux proposions fondamentales la phoronomie sont : l'*axiome* de relativité du mouvement et le *théorème* de la composition de la vitesse. Dans le cadre de la philosophie kantienne de la science, les sens d'axiome et de théorème ont des connotations conceptuelles un peu spécifiques. Selon Vuillemin (1955 : 38), un axiome, « en effet est apodictiquement certain, bien que sa démonstration soit indirecte à partir de la possibilité de l'expérience, tandis qu'un théorème résulte toujours d'une démonstration directe et requiert par conséquent d'être construit dans l'intuition ».

Au niveau de *Critique de la raison pure*, la phoronomie est associée au principe des « axiomes de l'intuition », sauf, qu'ici, dans la métaphysique particulière de la nature, ce principe se trouve devant la présence empirique de la sensation, par médiation du concept de matière. Il va retenir ce qui est le plus nécessaire pour penser la matière: le mouvement. Etant donné que le principe des axiomes de l'intuition, sous le présupposé de la grandeur extensive, est le responsable de la construction des concepts dans l'intuition, quand il est appliqué à un élément empirique, comme c'est le cas du concept de matière, il rendra possible la mathématisation même de l'objet physique.

En considérant de façon extensible la mobilité, afin de rendre possible l'expérience du mouvement, Kant a besoin d'abord d'objectiver l'espace, le rendant mathématisable. Ne perdant pas sa condition formelle subjective, qui rend possible l'appréhension des objets, l'espace se transforme, ici, en un concept, construit dans l'intuition elle-même. Dans ce processus, il se dédouble alors en espace relatif, matériel et mobile, et en espace absolu, pur et immobile. Le premier est sensible et comprend tous les objets de l'expérience, étant lui-même un objet. Cependant, pour que le mouvement de l'espace relatif soit perçu il faut supposer, selon Kant, « un autre espace matériel plus étendu, dans lequel il est mobile ; ce nouvel espace en suppose de même un autre, et ainsi de suite à l'infini » (Kant, 1985b : 379 ; Ak. IV, 481).

La relativité du mouvement permet d'admettre toujours un espace amplifié où se meut un espace empirique déterminé : l'espace absolu, qui en lui-même ne signifie rien et, cependant, n'est pas un objet. En le représentant comme un espace de référence à un mouvement quelconque des espaces empiriques, l'espace absolu est seulement une idée qui naît dans l'esprit et s'impose de manière nécessaire, n'ayant aucune sorte de réalité. Pour comprendre le mouvement de l'espace empirique, en accord avec la définition, toujours matérielle et, cependant, mobile en relation à un autre espace qui le contient, nous sommes amenés à revenir à travers la pensée aux limites de l'espace mobile et à concevoir un espace en repos, dans lequel les mouvements pourraient être réduits. L'espace absolu ne se présente pas, ainsi, comme une chose réelle, mais, selon Kant lui-même, comme une généralité logique.

Bien que, dans la phoronomie, on examine uniquement le déplacement dans l'espace et la durée de temps du mouvement du corps, en s'abstrayant de toute sorte d'interaction ou de force entre ce corps et un autre, l'unique grandeur qui peut être

connue est la vitesse, qui exprime justement la relation entre l'espace parcouru et l'intervalle de temps du mouvement. Cette grandeur n'est considérée que dans le cadre du mouvement rectiligne uniforme qui est, parmi tous les types de mouvement, le seul qui satisfait la condition de la quantité extensive, se produisant sans intervention de forces et considérant le mobile abandonné à lui-même. Dans ces limites, la vitesse peut être exprimée par la relation : $v = e / t$.

Le concept mathématique de vecteur n'était pas encore utilisé par Kant, mais il décrit déjà l'espace parcouru et la vitesse comme des quantités diverses, distinguant, au-delà de la valeur numérique de ces grandeurs, un nombre infini de directions. Ainsi, deux vitesses ne peuvent être additionnées comme si elles étaient simplement des parties similaires, sans considérer la direction et le sens du mouvement. C'est ceci que Kant développe dans le théorème de la composition des vitesses à partir de l'instrument géométrique.

Avant d'énoncer l'axiome fondamental de la phoronomie, Kant établit quatre définitions. Dans la première, déjà traitée, il définit la matière, l'espace relatif et absolu; dans la seconde, le mouvement, dans la troisième, le repos, et, dans la quatrième, il explique comment construire le concept de mouvement composé.

Dans les définitions de mouvement et de repos, les conceptions scientifiques modernes de ces termes sont explicitées, elles vont permettre d'exprimer l'axiome de la relativité du mouvement, un des piliers de la physique de Galilée et de Newton. Le mouvement d'une chose est, cependant, « le *changement des rapports extérieurs* de cette chose à un espace donné » (Définition 2 ; Kant, 1985b : 380 ; Ak. IV, 482). Le repos, à son tour, n'est pas défini par rapport à l'absence de mouvement mais, affirme Kant, par « la présence permanente (*praesentia perdurabilis*) en un même lieu » (Définition 3 ; Kant, 1985b : 384 ; Ak. IV, 485). Ce qui est présupposé dans cette définition 3 est le principe transcendantal de la substance. Cela se justifie parce que la représentation de l'absence, du =0, ne peut être construite. Ainsi, cette construction est rendue possible, selon Kant, « grâce à la représentation d'un mouvement à vitesse infiniment petite pendant un temps fini [et] dès lors, ce concept peut être mis à profit pour l'application ultérieure des mathématiques à la science de la nature » (Kant, 1985b : 387 ; Ak. IV, 486). Ainsi nous avons, dans la sphère de la métaphysique appliquée à la nature, un exemple de la prépondérance du principe des anticipations de

la perception, étant déjà la représentation d'une grandeur intensive infiniment petite qui permet de penser d'une façon extensive le mouvement et le repos, afin de rendre possible la mathématisation de la nature.

L'axiome de la relativité du mouvement n'oppose pas mouvement et repos, car il les conçoit comme des états relatifs au système spatial dont il fait partie, et non comme des propriétés des corps physiques. L'axiome de la phoronomie nous permet de substituer le mouvement d'un point dans l'espace par un mouvement en sens contraire de l'espace qui contient ce point et l'équivalence entre ces deux mouvements place aussi l'équivalence entre mouvement et repos. Ainsi Kant énonce l'axiome :

> Tout mouvement, en tant qu'il est l'objet d'une expérience possible, peut à volonté être considéré soit comme le mouvement d'un corps dans un espace en repos, soit au contraire, le corps étant au repos, comme le mouvement de l'espace en sens opposé avec une vitesse égale. (Kant, 1985b : 388 ; Ak. IV, 487).

Kant veut montrer par cet axiome que tout mouvement est purement relatif, parce que l'espace qu'il parcourt est relatif. Un mouvement absolu à un espace non matériel ne peut être perçu, ni, même, être objet d'expérience.

Une dernière définition est établie avant le théorème fondamental de la composition des vitesses – celle de la composition des mouvements : « la *composition du mouvement* est la représentation du mouvement d'un point comme équivalent à deux ou plusieurs mouvements de ce point, réunis en un seul» (Définition 5 ; Kant, 1985b : 390 ; Ak. IV, 489). Le but même de la phoronomie, qui vise à traiter le mouvement seulement selon sa quantité, est exprimé ici dans cette définition. Le concept extensif d'une quantité est qu'elle produit la représentation d'un objet comme un tout homogène à partir de la combinaison de parties homogènes. Comme homogène au mouvement est le mouvement lui-même, la phoronomie configure une théorie de la combinaison des mouvements, qui cherche à représenter un mouvement unique à partir de deux ou de plusieurs.

Dans la remarque relative à cette définition, Kant déclare que le mouvement, sous le point de vue de la phoronomie, est comme « *le fait de décrire un espace* » (Kant, 1985b : 391 ; Ak. IV, 489). Il faut, cependant, distinguer l'opération géométrique de la description de l'espace, qui se donne au niveau de l'intuition pure, et l'opération de la

phoronomie, qui, au delà de la description de l'espace géométrique, porte en considération le temps nécessaire pour décrire l'espace et, en conséquence, la vitesse. Quand, traçant une ligne droite, on considère la vitesse et le temps, on passe de la géométrie à la physique mathématique. La phoronomie serait, alors, une géométrie appliquée et, pour cela, Kant la définit comme « la théorie purement quantitative (*mathesis*) des mouvements » (Kant, 1985b : 391 ; Ak. IV, 489).

Kant doit, maintenant, considérer les conditions dans lesquelles il est possible de faire la composition des mouvements pour que deux mouvements se superposent. Il est nécessaire qu'ils soient reliés à des espaces différents, car dans le même espace il ne peut exister qu'un mouvement. A partir de l'axiome de la phoronomie, qui établit l'équivalence entre le mouvement d'un point dans l'espace absolu et le mouvement contraire, de même vitesse, de l'espace relatif qui contient ce point, le théorème fondamental de la phoronomie est énoncé :

> La composition de deux mouvement d'un seul et même point ne peut être pensé que si l'un d'eux est représenté dans l'espace absolu, et si, à la place de l'autre, on représente, comme lui équivalent, un mouvement de l'espace relatif de même vitesse et de direction contraire. (Kant, 1985b : 392 ; Ak. IV, 490).

La démonstration de ce théorème est réalisée pour les trois cas suivants, correspondants aux trois catégories de quantité, unité, pluralité et totalité : 1) « deux mouvements suivant *la même ligne et la même direction* appartiennent simultanément à un seul et même point » (Kant, 1985b : 392 ; Ak. IV, 490) ; 2) « deux mouvements de *directions opposées en ligne droite* doivent être liés à un seul et même point » (Kant, 1985b : 393 ; Ak. IV, 491) ; et 3) « on se représente comme unis deux mouvements du même point, *dont les directions enferment un angle*» (Kant, 1985b : 394 ; Ak. IV, 492). Dans l'examen du troisième cas, qui correspond au cas plus général de composition, le mouvement résultant est obtenu par la diagonale du parallélogramme construit selon les mouvements composants. Selon Ch. Andler (1891), ce fut Kant qui, pour la première fois, donna la démonstration géométrique du théorème du parallélogramme des mouvements, que ses prédécesseurs admettaient sans preuves.

Kant attire notre attention sur le fait que la construction réalisée dans le théorème de la phoronomie est de caractère géométrique et non mécanique. Pour la construction géométrique, on exige que deux grandeurs composées ensemble soient

congruentes à une troisième. Selon Kant, la congruence est la base de ce type de construction. En revanche, pour la construction mécanique, la troisième grandeur est produite comme cause des deux autres. Dans ce cas, on admet des causes motrices, grâce auxquelles un mouvement donné s'unit à un autre, en produisant un troisième. Il ne démontre pas, cependant, l'identité entre les deux phénomènes composés et le troisième et, pour cela, de tels mouvements ne peuvent être représentés *a priori* dans l'intuition pure. La congruence n'a pas de place dans la construction mécanique, parce qu'elle considère un seul et même espace pour les deux mouvements. Justement, c'est le dédoublement de l'espace qui permet la congruence dans la phoronomie, ou alors, la représentation d'un unique mouvement à partir de deux ou de plusieurs autres. Dans la philosophie kantienne de la nature, ce dédoublement garantit le passage de la géométrie pure à la phoronomie.

Sans faire appel à aucun concept purement mécanique, toutes les preuves du théorème de la composition des vitesses, développées pour chacun des trois cas, ont fondamentalement comme base le dédoublement de l'espace. Celui-ci va permettre de connaître le mouvement dans le cadre de la construction géométrique et de la congruence. La composition de deux mouvements en un même corps ne serait pas possible si l'espace était unique, mais seulement si l'espace se dédouble et si les deux mouvements se conçoivent comme étant le premier équivalent au mouvement du point matériel en relation à l'espace absolu et le second équivalent au mouvement de l'espace relatif en direction opposée. La présupposition même considérée au début du point matériel sans interaction avec un autre recule alors la construction mécanique de l'analyse phoronomique du mouvement.

Quelques conclusions de caractère métaphysiques peuvent être déduites du théorème de la composition des vitesses. Alors que les questions liées à ce théorème sont très spécifiques, nous sommes devant un thème d'une importance fondamentale dans la philosophie kantienne de la nature : la constitution de l'expérience elle-même en fonction de la synthèse *a priori* de la connaissance. Quand nous prenons le mouvement comme objet d'étude, tel que la phoronomie le considère, même du seul point du vue de la quantité extensive, ou alors, de la composition de l'homogène, nous faisons un saut de la simple essence mathématique vers l'existence physique. Ce saut, bien qu'encore petit, car ce n'est que la construction géométrique qui a été considérée,

nous fait traiter non d'une connaissance mathématique, qui se donne dans l'intuition pure, mais d'une construction mathématique de la réalité physique. La ligne de démarcation entre ces deux niveaux de connaissance est le résultat de l'intervention du temps. En fonction de lui, l'espace se dédouble en deux, l'un réel et relatif et l'autre idéal et absolu. Tout l'espace donné est dit relatif et l'espace absolu n'est qu'une possibilité idéale, qui nous permet de concevoir toujours un espace plus extensible qui englobe l'espace donné. L'espace absolu ne possède aucune réalité extérieure à nous, n'étant qu'une idée régulatrice, qui nous permet d'étendre progressivement nos connaissances, afin de pouvoir concevoir la totalité.

Un concept existentiel donc physique, d'une valeur originelle, surgit comme résultat de ce dédoublement de l'espace: la vitesse. Ce concept central de la phoronomie permet un nouveau type de synthèse *a priori*, radicalement différent et irréductible à la synthèse qui résulte d'opérations géométriques et arithmétiques. C'est ainsi une synthèse existentielle et non simplement essentielle. La présence empirique, dont la perception a occasionné la pensée du mouvement, est ce qui permet de distinguer les Principes Métaphysiques des Sciences de la Nature des Principes de l'entendement de la *Critique de la raison pure*. Nous traitons maintenant d'une synthèse mathématique *a priori*, qui a nécessairement une réalité empirique.

Toutefois, ce qui est derrière cette nouvelle synthèse et qui se trouve déjà contenu dans le concept même de vitesse, est une notion qui appartient plus à la catégorie de qualité qu'à celle de quantité : la notion d'intensité. Ici, nous pouvons reprendre de façon renouvelée le rôle fondamental de la grandeur intensive comme principe méthodologique structurant non seulement de la méthode transcendantale, mais de la connaissance scientifique elle-même. Ce que nous avons est une confirmation, au niveau de la science, de la thèse néo-kantienne, traitée dans le chapitre précédent.

Comme nous l'avons montré, il n'est pas possible de rester au niveau de la grandeur extensive sans considérer l'intensive. Même si le mouvement, sous le point de vue qualitatif, appartient à la dynamique, il se rencontre déjà, d'une certaine manière, inséré dans la phoronomie, à travers le concept de vitesse. La grandeur extensive nous aide, par le dédoublement de l'espace, à construire l'addition géométrique des vitesses. Mais lorsqu'on analyse le concept de vitesse en lui-même, on ne peut pas éviter de parler de grandeur intensive, qui conduit à une nouvelle relation, définie par le calcul

différentiel et intégral. C'est dans la mesure où la vitesse se définit par une relation au temps et à l'espace que cette nouvelle relation s'établit, ne pouvant plus être conçue sur les modèles d'une somme arithmétique ou d'une composition géométrique. Concevoir intensivement la vitesse signifie dire qu'elle possède un degré. Pour cela, la grandeur extensive ne rend pas compte du concept de vitesse. Comme l'affirme Vuillemin (1955 : 83)

> La vitesse est une intensité. Son rapport avec ses éléments n'a plus le sens d'une agglomération de parties extensives, comme c'était le cas pour l'addition de segments spatiaux. Ce rapport est défini par l'intégration et, par conséquent, requiert un nouveau type de synthèse *a priori*, de jugement de liaison à l'expérience possible, dont l'étude constitue l'objet de la Dynamique.

2.4 Les principes métaphysiques de la dynamique

Les principes de la dynamique prennent en compte la qualité de la matière mobile sous le nom d'une force matricielle primordiale. Nous devons d'abord prendre en compte que la dynamique kantienne, selon la division des *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, est la réalisation, dans le domaine de la science, d'un des principes de l'entendement pur : le principe des anticipations de la perception, appelé aussi principe de la grandeur intensive. Comme nous l'avons déjà vu dans le premier chapitre, l'importance de ce principe dans le cadre de l'interprétation kantienne de H. Cohen, s'étend de la *Critique de la raison pure*, en passant par les *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, jusqu'à la science de la nature proprement dite, en se posant comme un principe structurant de la méthode transcendantale. Il existe un accord complet entre le principe général de la dynamique et le principe des anticipations de la perception, à la différence que, dans la *Critique*, il s'agit du principe formel de la qualité appartenant à l'entendement pur et, dans les *Premiers principes*, d'un principe matériel de la qualité des phénomènes.

Le point de départ de la dynamique est la définition qualitative de la matière, d'où résulte une propriété matérielle nouvelle, celle de remplir un espace. Selon la définition, la matière est mobile justement dans la mesure où elle remplit un espace.

Etudier les causes qui permettent ce remplissage de l'espace constitue l'objectif principal de la dynamique. Kant énonce ainsi sa définition 1 :

> La *matière* est le *mobile* en tant qu'il *remplit un espace*. Remplir un espace signifie résister à tout mobile qui s'efforce par son mouvement de pénétrer dans un certain espace. Un espace qui n'est pas rempli est un *espace vide* (Kant, 1985b : 400 ; Ak. IV, 496).

De la même façon que, dans la *Critique de la raison pure*, le principe des anticipations de la perception présupposait comme substrat les axiomes de l'intuition, ici aussi, les principes dynamiques présupposent les principes phoronomiques. La dynamique préserve ainsi dans toutes ses démonstrations, premièrement, la présupposition sensible générale de ce que l'espace et le temps, formes pures de l'intuition, sont le substrat de toute déduction qui se rapporte aux objets d'une expérience possible et deuxièmement, la présupposition existentielle de la phoronomie selon laquelle les principes de l'entendement pur s'appliquent et se transforment en principes métaphysiques de la nature seulement lorsqu'ils prennent comme point de départ l'existence du mouvement.

Toutefois, les démonstrations dynamiques appliquent leurs concepts à un horizon nouveau, distinct de la phoronomie, l'horizon de qualité. En prenant la propriété de la matière de remplir l'espace, la dynamique se différencie de la phoronomie, dès que celle-ci s'occupe du mouvement d'un point matériel ne permettant pas de traiter de la matérialité elle-même. La dynamique, par contre, s'étend vers une physique, non seulement quantitative, mais qualitative des phénomènes. Ce déplacement est permis par le principe de grandeur intensive, sous-jacent à l'idée même du calcul infinitésimal et différentiel. Dans ce sens Vuillemin (1955 :89) affirme : «seule l'invention du calcul infinitésimal a permis de dépasser réellement l'étude abstraite de la Phoronomie ».

La définition dynamique de la matière présuppose aussi, selon Kant, une propriété causale : « le pouvoir de résister à un mouvement à l'intérieur d'un certain espace » (p.51). La résistance de la matière n'est pas ici considérée comme celle que la matière offre pour sortir de son état de repos ou mouvement rectiligne uniforme (résistance mécanique), mais, dynamiquement, elle est prise en relation à la réduction de l'espace de sa propre extension. La dynamique, comme le fait aussi la phoronomie, évite d'utiliser les démonstrations mécaniques. Selon Vuillemin, la raison de ceci se

trouve dans la *Critique de la raison pure*, dans la distinction entre la catégorie de qualité, catégorie mathématique, et la catégorie de la relation, catégorie dynamique. Les principes métaphysiques dynamiques ne se relient pas aux catégories dynamiques de la *Critique*, mais à la catégorie mathématique de la qualité.

La matière étant définie selon la catégorie de la qualité, elle rend nette la différence entre occuper et remplir un espace. Cette différence, selon Kant, présuppose la distinction entre extension et matière. Occuper un espace ne désigne que l'extension d'une chose dans l'espace, en se référant, ensuite, aux objets de la géométrie. Remplir un espace indique, plus précisément, la propriété des objets physiques de résistance à la pénétration.

Kant à partir de ces définitions énonce le Théorème 1 de la dynamique, où il qualifie la matière par rapport à sa propriété qualitative : « la matière remplit un espace non par sa simple existence, mais par une *force motrice particulière* » (Kant, 1985b : 401; Ak. IV, 497).

Dans la démonstration de ce théorème, la cause du mouvement d'une matière après le choc avec une autre est due à la résistance qu'elle offre à la pénétration des autres. Cette cause étant dénommée force motrice, on peut alors affirmer que la matière remplit l'espace en vertu de sa force motrice, et non pas par sa simple existence.

Kant introduit ainsi une rupture par rapport à la position assumée par le mathématicien Johann Heinrich Lambert (1728-1777), pour qui le principe de contradiction était suffisant pour ne pas permettre que deux matières occupent un même lieu dans l'espace. Cet argument repose sur la supposition que, le concept même de matière, contiendrait le concept de solidité, ce dernier étant, cependant, un prédicat inhérent à la matière. Alors que pour Kant, la solidité n'explique pas le fondamental : l'impénétrabilité de l'espace occupé par une matière. Kant n'est pas d'accord avec Lambert quand ce dernier considère comme un jugement analytique la proposition « tous les corps occupent un espace ». Pour Kant, la proposition analytique doit être restreinte à l'affirmation : « tous les corps sont extensibles ». Pour cela, il est nécessaire que la distinction entre extension spatiale, qui pour un corps consiste à occuper un espace, et le remplissage proprement dit de l'espace, soit claire. Affirmer qu'une figure géométrique occupe un espace est, dans la vision de Kant, une tautologie, un jugement analytique, qui explicite simplement les conditions données à une intuition pure.

Lorsqu'on affirme que « tous les corps physiques remplissent un espace », il s'établit une relation synthétique d'existence entre un concept et une intuition, et non une relation analytique entre une figure et elle même.

Ainsi, quand on attribue une force à la matière qui occupe un espace, cela explique la raison d'un corps d'empêcher la pénétration d'un mobile extérieur qui tente de s'approcher de lui. La force motrice particulière, qui justifie le remplissage de l'espace, est existentielle. Cependant, n'étant pas purement intuitive, elle ne peut résulter d'une construction mathématique ordinaire, à travers laquelle des règles se créent simplement dans l'intuition. Le mathématique n'a qu'à prendre comme donnée pour la construction du concept de matière quelque chose qui ne se peut construire. Dans ce sens, Kant affirme :

> [le mathématicien] peut commencer la construction d'un concept avec la donnée qu'il voudra, sans entreprendre de définir à nouveau cette donnée ; mais il n'est pas autorisé pour autant à déclarer que cette donnée n'est susceptible d'aucune construction mathématique, interdisant ainsi dans la science de la nature la remontée jusqu'aux principes premiers. (Kant, 1985b : 402 ; Ak. IV, 498).

Selon Vuillemin (1955), l'erreur de Lambert trouve son origine dans la méthode cartésienne elle-même, qui confond extension géométrique et matière physique. Ce qui est en jeu ici, dans la dynamique, c'est que Kant réfute la théorie mécaniciste de la nature, adoptée par Descartes, pour qui elle consiste en une explication purement mathématique de l'univers, totalement non sensible. Kant propose ainsi de tracer une ligne de démarcation nette entre la géométrie, qui s'occupe de figures, et la physique, qui traite de mouvements réels. Les propriétés de la matière, une fois données, peuvent et doivent être traitées de manière mathématique, mais les mathématiques ne peuvent les fournir par leur simple vertu. En ne distinguant pas extension et matière, la doctrine cartésienne, ne cherche à expliquer, selon Kant, ni la matière sensible ni l'origine du mouvement. Pour sortir de cet embarras, Descartes attribue au premier cas l'action d'une substance extensive sur l'esprit, qui est uni à la sensation et, au second, l'intervention de Dieu. Comme Kant n'admet pas une cause des phénomènes naturels, hors de l'expérience, ni ne croit que l'espace idéal créé par l'esprit, agit sur lui même de manière telle qu'il rend possible la matière sensible, il doit chercher autre chose, que le mécanisme géométrique n'est pas capable de fournir.

Au dix-huitième siècle, apparaît une vision plus modérée du mécanicisme, propagée par les leibniziens et adoptée aussi par Newton et Jean d'Alembert (1717-1783). Dans cette version mécaniciste, moins absolue, la matière n'est pas définie par l'extension pure, étant composée de corpuscules homogènes, différenciés par la forme et le volume géométriques, qui fluctuent dans l'espace vide et se distinguent de cet espace pour posséder une qualité propre, la solidité. Toutefois, comme nous l'avons vu, cette explication oublie, selon Kant, justement ce qui doit être pris en compte : l'impénétrabilité. Pour Kant, l'erreur des cartésiens et des mécanicistes du dix-huitième siècle est qu'ils voient dans les choses juste leur grandeur extensive: leur forme, et non leur grandeur intensive: leur qualité. Nous reprendrons cette polémique entre le dynamisme et le mécanicisme plus loin, quand nous analyserons les conséquences des affirmations contenues dans la dynamique.

Les impasses du mécanicisme amenèrent Kant à adopter une théorie d'explication totalement différente de la solution tracée par le développement de la science moderne. Mais, pour comprendre sa philosophie de la science, c'est précisément à ce point que nous consacrerons le chapitre suivant. Il sera fondamental d'éclaircir dans quelle mesure le théorème sur la divisibilité infinie de la matière ne contredit pas ses conclusions sur les antinomies cosmologiques discutées dans la « Dialectique Transcendantale » et les critères qui le font opter pour une théorie scientifique, dans ce cas, la dynamique, au détriment de la théorie atomiste ou mécaniciste.

Pour l'instant, nous allons examiner comment Kant réalise la construction du concept de matière. Il est nécessaire de supposer, comme donnée première, quelque chose qui ne peut être construit. La force motrice fondamentale se présente alors comme une donnée primordiale nécessaire au concept de matière. Le mouvement lui-même, qui ne peut être analysé que de façon extensive, possède une réalité plus fondamentale. Cette réalité est la force, cause du mouvement et aussi des objets qui nous apparaissent à travers la sensibilité.

L'existence de cette force motrice particulière explique la propriété de la matière de remplir un espace. Cette force cependant peut se présenter sous deux formes distinctes: la *force de répulsion*, qui est celle « par laquelle une matière peut être cause qu'une autre s'éloigne d'elle (ou, ce qui revient au même, par laquelle elle empêche une autre de s'approcher)», et la *force d'attraction*, « force motrice par laquelle une matière

peut être cause que d'une autre s'approche d'elle (ou, ce qui revient au même, par laquelle elle s'oppose à l'éloignement d'une autre) » (Définition 2 ; (Kant, 1985b : 403 ; Ak. IV, 498).

La force de répulsion provoque l'éloignement des autres matières, ne permettant pas que la matière soit totalement pénétrée, c'est-à-dire, qu'elle puisse être réduite à un espace infiniment petit. La notion d'un objet matériel comme un objet qui remplit un espace devient précise seulement quand on considère l'existence d'une force qui empêche un autre mobile de pénétrer dans son espace. Kant énonce, dans le Théorème 2, que c'est grâce à ces forces de répulsion entre toutes ses parties que la matière remplit un espace.

Premièrement, donc, la matière consiste en une force répulsive, dont l'intensité peut varier de zéro à l'infini, sans jamais atteindre de tels extrêmes. Si c'était zéro, la matière serait totalement pénétrable, si c'était l'infini, on ne pourrait exercer sur elle la moindre compression. La résultante des forces de répulsion entre les parties de la matière est une force d'extension ou expansive, qui s'oppose à l'invasion des autres matières. En vertu, justement, de cette force, également dénommée élasticité originelle, on peut expliquer l'impénétrabilité de la matière, qui, selon Kant, était une qualité occulte pour les mécanicistes. La matière peut être compressible à l'infini, mais jamais pénétrable absolument (Théorème 3).

Contre les atomistes, qui affirment que la matière est composée d'éléments simples, Kant argumente que, s'il en était ainsi, des lacunes existeraient, espaces vides, à l'intérieur de la matière. Comment pourrait-on expliquer, alors, que ces lacunes ne soient pas immédiatement remplies par la matière ambiante ? L'idée de l'atome est pour Kant en soi contradictoire, car, elle suppose que les atomes sont des éléments simples et en même temps extensifs. Comme pour Kant, tout espace physique est un espace matériel, la force répulsive se manifeste justement en chaque point matériel de cet espace. Si la matière existe dans tout l'espace, la divisibilité de la matière s'étend, alors, à l'infini (Théorème 4).

Dans l'explication Kantienne, la force de répulsion n'est toujours pas suffisante pour constituer l'existence de la matière. La raison nous oblige à considérer une autre force contraire qui la limite : la force d'attraction (Théorème 5). Sans cette limite, la force répulsive existant entre les parties matérielles ferait en sorte qu'elles s'éloignent à

l'infini, jusqu'à ce qu'il arrive un moment où aucune quantité considérable de matière n'existerait. Soumise à l'attraction, la matière se limite en un volume déterminé, empêchant qu'elle se disperse à l'infini par l'approximation de toutes ses parties.

La force attractive est, pour Kant, imperceptible, car nous n'avons pas la sensation d'attraction. Cependant, elle est la cause qui explique le fait que l'espace matériel ne soit pas vide (comme dans le cas contraire où on ne considère que les forces de répulsion) , en les transformant en un objet de la perception. D'un autre côté, s'il n'y avait que la force d'attraction, toutes les parties de la matière se rapprocheraient les unes des autres jusqu'à ce que tout soit réduit à un point et l'espace aussi serait vide, sans matière aucune. Ainsi, les deux forces sont absolument nécessaires pour la conformité de la matière, ne pouvant pas admettre l'une sans l'existence de l'autre (Théorème 6).

Pour Kant, l'attraction, qui a besoin du contact pour s'accomplir, agit à n'importe quelle distance et s'étend à l'infini, contrairement à la répulsion. Cela permet de caractériser la force répulsive comme superficielle et la force attractive comme pénétrante. La force répulsive est donnée immédiatement à notre sensibilité et perçue par le touché dans la résistance à la pénétration. Elle est ainsi considérée comme l'unique détermination positive de la matière. Cependant, la force d'attraction, n'étant pas immédiatement donnée, elle acquiert un caractère déductif, sans que pour cela elle ne cesse d'être aussi une force fondamentale.

Cette attraction universelle, que toute matière exerce immédiatement sur une autre, sans nécessité de contact, est appelée gravitation. La gravité, de même que l'élasticité, causée par l'action des forces répulsives, sont des exemples de caractéristiques de la matière susceptibles d'être distinguées de façon *quasi-a priori*, dans le sens proposé par Kitcher (1983) car le mouvement a été la seule propriété empirique considérée.

Ainsi, dans la dynamique, la qualité de la nature matérielle se fait présente selon les catégories de la réalité, négation et limitation. Le réel dans l'espace est représenté par la force de répulsion. Ce qui est en relation à cette réalité négatif c'est la force d'attraction. De la limitation de la première force par la seconde résulte le degré de plénitude de l'espace (Corollaire général à la dynamique). La matière n'est rien que cet équilibre entre les forces d'attraction et de répulsion.

Le principe général de la dynamique de la nature matérielle est ainsi exprimé : « toute réalité dans les objets des sens externes, tout ce qui n'est pas simple détermination de l'espace (lieu, étendue et figure), doit être considéré comme force motrice » (Kant, 1985b : 437 ; Ak. IV, 523). Le principe de continuité des grandeurs intensives se trouve dans cet énoncé. Ceci parce que, la force motrice étant le concept nécessaire même à la possibilité du concept de la matière, à la place de la solidité et de l'impénétrabilité, l'espace matériel est considéré comme complètement plein, mais remplis à des degrés différents.

D'un point de vue qualitatif, la matière est continue et infiniment divisible. Un espace qui ne serait pas rempli ne serait pas perçu et n'existerait donc pas pour nous. Dans sa conception idéaliste, le vide absolu pour Kant n'existe pas puisqu'il est imperceptible pour le sujet. Pour concevoir les forces répulsives, nous devons nous saisir de l'idée d'un espace infiniment petit, où les points contigus peuvent être considérés comme des points infiniment distants les uns des autres. Dans cet espace idéalisé, les forces répulsives peuvent alors être considérées plus ou moins intenses selon un degré. La notion d'infiniment petit est la base pour que nous comprenions à travers le degré de remplissage de l'espace l'action de ces forces. En tant que fondement du principe de la grandeur intensive, cette notion fait des mathématiques relatives au calcul infinitésimal une mathématique des qualités, alors que ni l'arithmétique ni la géométrie, qui rendent compréhensibles les grandeurs extensives, ne s'appliquent à l'étude de la matière analysée selon la catégorie de la qualité.

La densité de la matière n'est pas, cependant, expliquée en termes de considérations atomistes, où l'existence d'espaces vides déterminerait une plus grande ou une moindre densité. Pour Kant, la densité peut être expliquée par le degré de remplissage de l'espace sans faire usage de l'hypothèse du vide. Ainsi, Kant écarte du domaine des principes métaphysiques fondamentaux de la science de la nature l'idée d'espace vide, qui n'est plus une condition nécessaire pour expliquer les différences spécifiques de la matière. Dans la dynamique, le concept général de la matière est rétabli à partir d'un autre paramètre, selon lequel les explications doivent toujours remonter aux principes primordiaux.

En opposition au mécanicisme, doctrine qui essaye d'expliquer la constitution ultime de la matière, Kant nous offre son dynamisme. Même en réservant le nom de

« mécanique » à la troisième division des *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, la matière n'est plus considérée sous le point de vue mécaniciste. Nous reviendrons sur ce point dans le chapitre suivant.

2.5 Les principes métaphysiques de la mécanique

Les principes de la mécanique analysent le mouvement à partir de son mode de représentation, concevant le mouvement ou son absence comme un simple phénomène du sens externe. La mécanique se constitue dans l'étude des relations matérielles. Nous avons vu que la phoronomie traite de points mobiles dans l'espace et la dynamique, de causes immobiles du mouvement. La mécanique à son tour considère les quantités matérielles qui se meuvent par rapport à l'action d'autres matières mobiles qui leur sont extérieures.

La définition mécanique de la matière est la suivante : « la matière est le mobile, en tant qu'il a, comme mobile, une force motrice » (Définition 1 ; Kant, 1985b : 455 ; Ak. IV, 536). Sur cette base, nous pouvons dire que la matière mobile est dotée de force motrice dans la mesure où elle est capable de transmettre son mouvement à une autre matière. Cette définition contraste avec celle dynamique où la matière se trouvait caractérisée sans aucune relation avec d'autres matières. Malgré cette différence, les principes mécaniques supposent ceux de la dynamique, car la matière en mouvement est dotée de force motrice justement en fonction des forces fondamentales d'attraction et de répulsion.

La définition mécanique de la matière en impliquera une autre, entièrement nouvelle sous le point de vue de la métaphysique de la science de la nature et éminemment mécanique, celle de masse ou de quantité de matière. Comme Kant l'énonce : « la *quantité de matière* est la proportion de ce qu'il y a de mobile dans un espace déterminé » (Définition 2 ; Kant, 1985b : 456 ; Ak. IV, 537). Apparemment banale, cette définition instaure une rupture par rapport au mécanicisme atomiste et à la monadologie physique de sa phase pré-critique. On ne traite pas ici du nombre de parties matérielles enfermées dans un espace donné, mais du nombre de mobiles. Ainsi

définie, la matière est capable, en vertu du mouvement de toutes ses parties dans une même direction, d'exercer sa force motrice, en dehors d'elle, sur d'autres matières.

Pour arriver à cette définition mécanique de masse, il a fallu concilier les conceptions extensives et intensives de la matière. Dans le Théorème 1 de la mécanique, Kant définit la quantité de matière en fonction de la quantité de mouvement à une vitesse donnée. Ces deux concepts ont été déterminés antérieurement. La phoronomie, en traitant de la matière d'une façon extensive, nous a fourni celui de la vitesse. La dynamique, en prenant la matière sous le point de vue de la grandeur intensive, nous a permis de déterminer mécaniquement celui de la quantité de mouvement à partir de la notion de force. Cependant, comme Kant lui-même l'affirme, la définition de la quantité de matière à partir des concepts de quantité de mouvement et de vitesse est « une proposition notable et fondamentale de la mécanique générale ». Ce qui est derrière cela est le concept de masse, qui n'a été introduit que par la physique de Newton, comme mesure d'inertie du corps. Cette définition, on ne la trouve pas ni chez Descartes ni chez Leibniz. Kant se fait ici l'interprète fidèle de Newton.

La tâche que Kant doit maintenant développer dans sa métaphysique de la nature matérielle est d'appliquer, à cette définition mécanique de la matière, les catégories de la relation : substance, causalité et communauté. A partir des « Analogies de l'Expérience », il établit les trois lois de la métaphysique de la mécanique, énoncées dans les théorèmes 2, 3 et 4 du troisième chapitre : celle de la conservation de la masse, celle de l'inertie et celle de l'action et réaction. Ces lois, ensemble, sont à la base de toute modification que les substances matérielles viendraient à subir.

Kant souligne à nouveau que ces lois sont valables pour les objets des sens externes et en aucune façon pour les objets des sens internes, comme le « je pense » et la conscience. Le principe de permanence de la substance s'applique uniquement aux grandeurs qui se composent de parties extérieures les unes aux autres et dont l'augmentation et la diminution correspondent à l'augmentation et à la diminution de substances. La faculté même de l'âme peut être plus ou moins grande, sans que cela corresponde à une apparition ou à une disparition de la substance.

Ainsi, la première analogie de l'expérience s'applique exclusivement à ces substances qui sont seules possibles dans l'espace, ne pouvant dire, comme le fait Descartes, que l'extension soit substance. Ce qui caractérise la substance matérielle est

justement ce qui la rend distincte de son extension. Sans matière, l'extension n'a pas de réalité, n'ayant qu'une valeur d'hypothèse. La première loi de la mécanique, sur la permanence de la substance matérielle, a quelque chose à voir, cependant, avec la quantité de matière, qui, dans tout changement, reste toujours constante.

La seconde loi de la mécanique, celle de l'inertie, affirme que « tout changement dans la matière a une cause extérieure », même si elle concerne seulement les sens externes. Cette loi, qui à son tour repose sur l'analogie de causalité, impose que la matière puisse modifier son propre état seulement si une autre matière différente agit sur elle alors qu'elle n'en est pas capable, par elle seule. La matière abandonnée à elle-même resterait toujours inerte.

Pour cette raison, Kant associe cette loi à l'absence de vie de la matière en elle même. La vie, pour Kant, est nécessairement liée aux sentiments internes, car le désir est le seul principe intérieur capable de déterminer des changements et de transformer la condition de la substance. Ce que la science de la nature fait est de séparer la vie et la matière, afin de purifier l'intervention de toute cause efficiente. C'est seulement ainsi que lui est apparu possible de constituer proprement une science de la nature et de comprendre l'action spécifique des causes. Sur la loi de l'inertie, justement en ce qu'elle considère la vie comme une propriété séparable de la matière, repose entièrement, dit Kant, « la possibilité d'une science de la nature proprement dite » (Kant, 1985b : 466 ; Ak. IV, 544).

Comme conséquence de la loi de l'inertie et sous-jacente, une autre loi s'est constituée, celle de la continuité. Elle régule les changements de vitesse quand la matière se trouve assujettie à l'action d'une cause extérieure. L'action de cette cause fait que la matière abandonne son état d'inertie – de repos ou de mouvement rectiligne uniforme. L'effet de l'action continue d'une force motrice en un certain instant fait en sorte que la vitesse se modifie, passant par une série infinie d'états intermédiaires. L'indice de modification de la vitesse en fonction de l'instant d'application de la force s'appelle accélération.

Nous rencontrons ici à nouveau le principe de la grandeur intensive régulant les modifications qui se produisent dans le domaine de la mécanique, puisqu'il fonde légitimement le concept d'accélération. Son action est, ainsi, présente dans toute la

philosophie de la nature. Une fois encore est renforcée la thèse selon laquelle ce principe permet à Kant de structurer toute sa philosophie transcendantale de la science.

La troisième loi de la mécanique, la loi de l'action et de la réaction, se fonde sur le principe métaphysique général de simultanéité selon la loi de l'action réciproque, la troisième analogie de l'expérience. Cette loi établit que tout phénomène des sens externes est cause et effet en même temps et dans la même mesure. Une autre loi s'impose alors, à celle-ci pour que la condition de réciprocité soit entièrement satisfaite : la conservation de la quantité du mouvement. Comme résultat de l'égalité d'action et de réaction dans le choc entre deux matières, la quantité de mouvement du système constitué par les deux masses se conserve. Ainsi, après le choc, les vitesses se distribuent de manière inversement proportionnelle aux masses, de façon à maintenir constante la quantité de mouvement.

La majorité des théoriciens avant Kant, et même Newton, considérait la loi de quantité du mouvement comme le résultat direct de l'expérience, par le simple fait que l'expérience la confirme. Mais, avec Kant, nous sommes très loin d'une telle affirmation. Cette loi est plutôt une condition d'intelligibilité des phénomènes. C'est elle qui rend alors l'expérience possible. Au lieu d'emprunter la loi de l'expérience ou même, de conclure la loi à partir des phénomènes, Kant déduit l'ordre des phénomènes à partir de la loi. Avec les *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, il prétend réaliser la preuve que la science se fonde sur la raison pure, démontrant que les lois de la mécanique newtonienne ont leur fondement, non dans la matière de l'expérience mais dans les principes de l'entendement pur. Ainsi, il veut confirmer, par la théorie scientifique elle-même, ce qu'il avait antérieurement développé dans la *Critique de la raison pure* : si nous rencontrons des lois de la pensée dans la nature, c'est parce que la nature se trouve imprégnée de pensée. C'est dans cette perspective que se place l'importance des *Premiers principes* Métaphysiques, faisant en sorte que nous ne jugeons pas cette œuvre à partir de l'état de la science actuelle, mais à partir de l'effort de Kant de montrer que les axiomes de la science sont des relations nécessaires, qui trouvent leur justification au-delà des faits, dans la structure même de la pensée.

2.6 Les principes métaphysiques de la phénoménologie

Dans la dernière division des *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, intitulée « Principes Métaphysiques de la Phénoménologie », rien n'est ajouté par rapport aux connaissances déjà acquises, qui ne sont analysées qu'en accord avec les opérations intellectuelles qui conduisent à elles. En étroite correspondance avec les « Postulats de la Pensée Empirique en Général », la quatrième division des principes de l'entendement pur, qui concerne la relation des trois catégories de modalité avec la faculté de la connaissance, les principes de la phénoménologie classent les mouvements, déjà étudiés dans la phoronomie, dans la dynamique et dans la mécanique, selon leur possibilité, leur réalité effective et leur nécessité, essayant de spécifier leurs modes d'existence sous la forme où ils ont été produits par la raison.

Kant essaye ainsi, d'expliciter la métaphysique particulière des modes d'existence matérielle. Les principes de la phénoménologie partent de la définition de la matière non à partir d'elle-même, mais en relation avec l'esprit, spécifiant la forme dans laquelle elle s'est construite en un objet de connaissance. « La matière est le mobile, affirme Kant, en tant qu'il peut, comme tel, être objet de l'expérience » (Kant, 1985b : 478 ; Ak. IV, 554).

A partir de cette définition, il essaye de déterminer les modes d'existence de la matière conformément aux conditions formelles de l'intuition et des concepts, aux conditions générales de la perception et, finalement, à la relation des contenus de la perception avec les conditions formelles.

Le théorème 1 de la phénoménologie détermine, ensuite, la modalité de mouvement en relation à la phoronomie. Dans cette première division des principes métaphysiques, seules les conditions formelles du mouvement sont établies. Comme le principe de la relativité du mouvement ne nous permet pas de décider s'il est apparent ou réel, le mouvement mérite la classification du possible.

Dans la dynamique qui traite le mouvement à partir de l'action de forces, on peut décider de sa réalité effective, et le qualifier ainsi, de réel. C'est ce que Kant nous démontre dans le théorème 2.

Dans la mécanique, comme le mouvement est analysé à partir de la relation d'un mobile avec un autre mobile, et non à partir du mouvement d'un mobile en relation avec

l'espace extérieur, l'esprit relie le mouvement des deux mobiles en un seul, ne réussissant pas à savoir lequel des deux se meut. La loi de l'action et de la réaction, par exemple, rend nécessaire le mouvement égal et contraire du second corps. De cette manière, le troisième théorème établit la modalité nécessaire du mouvement de la mécanique.

2.7 De la métaphysique de la nature à la méthode transcendantale

L'exposé réalisé jusqu'ici visait non seulement à présenter la philosophie kantienne de la nature, mais aussi à permettre une meilleure compréhension de la méthode transcendantale elle-même en tant qu'elle est mise en œuvre, réalisée concrètement, dans l'exposé des premiers principes. L'étude des *Premiers principes métaphysiques* nous apporte davantage d'éléments pour continuer d'affirmer la thèse de H. Cohen, défendue dans le premier chapitre, qui conforte la *Critique de la raison pure* comme méthode, afin de nous en servir pour bien comprendre le problème des inobservables dans le contexte de la réflexion transcendantale.

Notre question, bien spécifique, sur une possible interdiction que la seconde antinomie aurait imposé au domaine élémentaire de la constitution de la matière, qui sera traitée dans les prochains chapitres, impose que nous en comprenions une autre plus générale. Il est nécessaire d'examiner soigneusement l'effectif hors d'atteinte que Kant essaya d'établir pour les propositions scientifiques. La distinction kantienne physique / métaphysique, question fondamentale, source de malentendus dans le champ de la théorie kantienne de la connaissance, mérite d'être bien clarifiée.

On peut penser que la critique de Kant aurait interdit à la science d'étendre ses domaines vers le champ de la recherche sur l'universel ou sur la constitution élémentaire de la matière, les piliers justement structurels de la physique du vingtième siècle. Ces champs étaient réservés à la spéculation et non à la connaissance scientifique. Kant lui-même nous permettrait de supposer que dans son système, totalement délimité, les théories scientifiques étaient déjà complètement déterminées. Toutefois, le fait de bien connaître les limites de la terre ne signifie pas que toute connaissance de notre planète serait déjà établie. Il est certain que Kant fait de la science

du mouvement le modèle d'intelligibilité du monde. Il n'a ni pensé ni prévu la possibilité d'une physique non newtonienne. Cependant, le champ de la métaphysique spéculative condamné dans les premières antinomies de la dialectique transcendantale ne se confond pas avec le champ scientifique de la recherche sur l'origine de l'universel ou sur la constitution élémentaire de la matière, développée postérieurement à Kant.

Avec la théorie dynamiste de la matière, formulée dans les *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, il est assez problématique d'affirmer que, pour Kant , tant le domaine de la structure de la matière que celui de l'origine de l'univers appartiendraient nécessairement à la spéculation illusoire et inévitable de la raison, car elle-même fonde la science sur une conception déterminée de la nature continue de la matière.

Ainsi, dans le prochain chapitre, nous analyserons l'extension des interdictions imposées par la méthode dialectique aux deux premiers conflits cosmologiques, afin de confronter les affirmations de la thèse et de l'antithèse de la seconde antinomie avec les principes métaphysiques de la dynamique, qui concernent respectivement la divisibilité et la constitution de la matière.

Chapitre 3
Kant et le problème de la constitution de la matière

3.1. L'illusion dialectique sur la nature de la matière

Nous venons d'exposer le mouvement positif de la méthode kantienne (chapitre 1) et ses subséquents dédoublements dans le champ de la philosophie de la nature (chapitre 2). Nous voulons maintenant affronter une question fondamentale: dans quelle mesure la thèse défendue par Kant, dans le chapitre de la dynamique des *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, à la faveur de la divisibilité infinie de la matière, entre ou non en contradiction avec la deuxième antinomie de la « Dialectique transcendantale ». Notre pari est qu'une bonne compréhension de cette question est tout à fait relevante pour l'abordage des problèmes posés par la physique contemporaine, en particulier par la mécanique quantique.

Dans le champ de conflits d'idées purement spéculatives, exposé dans la Dialectique transcendantale, Kant défend l'impossibilité d'affirmer aussi bien la thèse de ce que « toute substance composée dans le monde est faite de parties simples » (A434/B462 ; Ak III, 300) que l'antithèse, qui est « aucune chose composée, dans le monde, n'est faite de parties simples » (A436/B463 ; Ak III, 301). Ainsi, en première analyse, nous pourrions penser que pour Kant, il ne serait pas permis à la physique d'étendre ses domaines au champ de la constitution élémentaire de la matière, sous peine de tomber dans une antinomie insoluble de la raison.

Il s'avère de façon un peu étonnante que, comme nous l'avons vu dans la dynamique des *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, Kant est justement en train de construire le concept de matière selon ses propriétés constitutives. En opposition à la thèse qu'elle est composée d'atomes et que toutes ces différences spécifiques sont expliquées en fonction de l'existence du vide, Kant prend la défense de l'antithèse, qui affirme le principe de continuité de la matière. Je pense que cette question ne peut constituer une contradiction dans la théorie kantienne, mais mérite une

étude soigneuse et une explication claire du problème pour ne pas se laisser prendre par une analyse superficielle des conséquences et des dédoublements de la Dialectique Transcendantale.

Nous devons, d'abord, porter notre attention sur le moment négatif de la méthode critique, la Dialectique transcendantale, et chercher jusqu'à quel point Kant aurait interdit à la raison d'atteindre la connaissance dans le champ de la constitution élémentaire de la matière. La question de la deuxième antinomie, à savoir, jusqu'où va la subdivision de la matière, sera alors analysée vis-à-vis du théorème 4 des « Principes Métaphysiques de la Dynamique ».

3.1.1. La méthode dialectique

Pour commencer, nous allons considérer la dialectique par rapport à la méthode transcendantale. Ceci est nécessaire parce que nous devons nous placer dans le contexte où les propositions dialectiques et scientifiques sont énoncées pour, en suivant la méthode kantienne elle-même, pouvoir apprécier les façons différentes où une même idée apparaît dans les deux œuvres en question, premièrement comme une affirmation illusoire et ensuite comme un énoncé scientifique.

Dans le chapitre 1, nous avons vu l'Esthétique et l'Analytique Transcendantales comme des moments dits positifs de la méthode critique. Selon la ligne d'interprétation que nous optons pour la suite, la démarche kantienne n'est pas ontologique mais méthodologique. Ce qui anime Kant dans la *Critique de la raison pure* est la question de la possibilité et de l'essence de la connaissance, ceci étant, jusqu'où est-il possible de connaître et comment est-il possible de connaître. De la même façon que l'Esthétique et l'Analytique, la Dialectique Transcendantale doit aussi être analysée comme une méthode car il ne s'agit pas maintenant d'une méthode qui positivement nous permet d'édifier une connaissance véritable, mais qui, négativement, permet de juger de la validité de prétendues connaissances.

La dialectique permet de démasquer les inévitables illusions de la raison quand elle essaie de dépasser les limites de l'expérience possible. La raison se trompe nécessairement chaque fois qu'elle se met à juger sans que l'objet de ses jugements ne

soit donné à une perception sensible quelconque. Dès lors, une logique transcendantale de l'illusion, la Dialectique, serait nécessaire pour montrer comment et pourquoi elle s'illusionne. Dans cette perspective, le transcendantal va avoir une valeur négative, en tenant compte que le but majeur de la Dialectique n'est pas de constituer une logique de la vérité, mais une logique de l'apparence illusoire.

Kant, cependant, ressort un sens positif pour la Dialectique Transcendantale, non dans la sphère théorique, mais dans la pratique. Les illusions dialectiques font partie d'une disposition naturelle de la raison en vue de son propre intérêt. Bien que démasquée, la raison se trompe toujours. Face à un conflit d'idées purement spéculatif, il n'est pas possible à la raison de revenir en arrière soit pour corriger les sources de ses erreurs soit pour s'esquiver de prendre la défense d'une des deux positions. Comme l'objet de telles idées concerne une fin plus haute et plus ambitieuse de l'humanité, la raison se voit, alors, obligée de prendre parti en faveur ou contre une argumentation déterminée et l'unique critère sur lequel elle puisse se baser n'est pas un critère logique de vérité, mais d'intérêt pratique. Les idées transcendantales ne sont pas constitutives de la science, mais sont nécessaires comme parties de cet intérêt suprême de la raison.

Il est important de souligner que ce qui constitue le sujet de la dialectique n'est pas du tout l'illusion empirique, qui produit réellement des connaissances fausses et défectueuses, mais l'illusion transcendantale dans laquelle les principes ne sont ni faux ni vrais, mais trompeurs.

Par rapport à l'illusion empirique, Kant affirme que « la vérité ou l'apparence ne sont pas dans l'objet en tant qu'il est intuitionné, mais dans le jugement sur ce même objet en tant qu'il est pensé » (A293/B350 ; Ak III, 234). Ni les sens, par le fait de ne produire aucun jugement, ni l'entendement, quand il agit simplement selon ses propres lois, sans influence de nulle autre cause, ne trompent par eux seuls. Mais, comme il n'existe pas d'autre source de connaissance en dehors des sens et de l'entendement, le fondement de l'erreur se trouve, pour Kant, dans la sensibilité, « en tant qu'elle influe sur l'action même de l'entendement et le détermine à juger » (A294/B351 ; Ak III, 235 ; note). Nous rencontrons ici, dans ce passage de la *Critique*, une indication sur ce qui constitue la source de l'erreur dans les théories scientifiques selon l'approche transcendantale. La possibilité de distinguer une théorie physique véritable d'une fausse ne repose pas sur l'abus de la raison de ne pas respecter les limites de l'expérience, mais

sur l'expérience elle-même, dans l'abus de sensibilité, en ne respectant pas les domaines de l'action de l'entendement.

Cependant, la Dialectique Transcendantale traite de l'illusion des principes dont l'usage ne s'appuie jamais sur l'expérience, et « nous abuse par l'illusion d'une extension de l'*entendement pur*» (A295/B352 ; Ak III, 235). La méthode critique a maintenant comme fonction d'expliquer l'illusion de ces prétendus principes transcendants et de limiter l'action de l'entendement à ceux dont l'usage est purement empirique. Elle va montrer qu'une illusion surgit toujours quand la raison prend « la nécessité subjective d'une certaine connexion de nos concepts au bénéfice de l'entendement, pour une nécessité objective de détermination des choses en elles-mêmes ». Cependant, pour être naturelle et inévitable, l'illusion transcendantale ne disparaît jamais. L'objectif, de la Dialectique est de dénoncer cette illusion, sans pour autant l'éliminer, afin de faire prendre conscience de son erreur.

Conformément à son usage, la raison se comporte comme deux facultés distinctes : l'une logique et l'autre transcendantale. L'usage purement formel de la première, laisse de côté le contenu de la connaissance pour se concentrer sur la forme de la déduction d'une connaissance à partir d'un principe. Kant la définit comme « le pouvoir d'inférer médiatement » (A299/B355 ; Ak III, 237), car les résultats sont des interférences obtenues à partir de la matière offerte par l'entendement sans se reporter par conséquent immédiatement à l'expérience ou à un objet quelconque. La finalité de la raison dans son usage logique est de conférer une unité à la multiplicité des connaissances de l'entendement, les réduisant à un nombre minimum de principes, appelés conditions universelles. Dans ce processus de déduction de principes universels, la raison s'exerce par des syllogismes, cherchant toujours la condition de la condition, afin d'aller le plus loin possible. Ainsi, la raison se place comme une faculté subalterne à l'entendement, dans le but de donner une certaine forme logique aux connaissances déjà connues.

Si, cependant, dans cette recherche surgissent des concepts et des jugements issus uniquement de l'exercice de la raison, qui lui confèrent une existence propre, elle finit par fonctionner comme une faculté transcendantale, car elle produit des principes qui n'ont rien à voir avec l'expérience ou avec la connaissance obtenue à partir d'une

intuition sensible. La faculté transcendantale de la raison est sa capacité à produire des principes qui ne sont empruntés ni aux sens ni à l'entendement.

Les principes de la raison ne se confondent pas avec les principes de l'entendement pur. Ces derniers ne sont pas des principes en eux-mêmes qui se constituent en connaissances synthétiques simplement à partir de concepts, et ils ne se fondent pas sur la simple pensée. Les principes de l'entendement ne sont possibles *a priori* que face à l'intuition pure, sous les conditions d'une expérience possible en général. En revanche, les principes de la raison sont vraiment à leur origine un *principium* en soi et constituent quelque chose de complètement différent de la simple connaissance intellectuelle. Pour pouvoir différencier les concepts de l'entendement (catégories) des concepts de la raison, Kant se réfère à eux comme *idées transcendantales*.

Comment, cependant, ces idées transcendantales surgissent-elles? Selon Kant, le procédé normal de la raison dans les syllogismes se fonde sur la maxime logique suivante : « trouver, pour la connaissance conditionnée de l'entendement, l'inconditionné qui doit en achever l'unité » (A307/B364 ; Ak III, 242). C'est ceci que fait la raison quand elle cherche une condition de la condition, suivant toujours en une série ascendante, au moyen de prosyllogismes. Cependant, ce principe logique se transforme en un principe transcendantal de la raison pure quand on admet implicitement ce qui suit : « si le conditionné est donné, est donnée aussi la série entière des conditions subordonnées, laquelle est par conséquent elle-même inconditionnée » (A307/B364 ; Ak III, 243). Comme l'inconditionné ne peut se référer à l'inconditionné que synthétiquement, jamais analytiquement, un tel principe est, pour Kant, évidemment synthétique. La synthèse de l'inconditionné n'est en aucune manière connue par l'entendement pur. Si une telle synthèse se produit, elle est source d'une sorte de propositions synthétiques *a priori* de la raison pure qui sont les idées transcendantales.

Les tâches de la Dialectique Transcendantale seront, alors, d'examiner : 1) si ce principe suprême de la raison possède une validité objective, autrement dit, s'il concerne une réalité donnée, ou s'il s'agit d'une prescription purement logique, agissant au service de l'entendement de façon à amplifier son usage le plus loin possible ; 2) les conséquences qui découlent de cette nécessité de la raison, d'étendre la série de

conditions de la synthèse des phénomènes jusqu'à l'inconditionné, est considérée trompeusement comme un principe transcendantal de la raison pure; 3) quelles sont les implications d'un tel principe sur l'usage empirique de l'entendement.

En résumé, l'exercice méthodologique de la raison gère lui-même des principes transcendantaux qui dépassent toute sorte d'expérience possible. Ainsi comme dans l'Analytique, où la forme logique des jugements dans l'usage transcendantal avait produit les catégories de l'entendement pur, ici, dans la Dialectique, nous pouvons espérer que la forme logique des syllogismes dans l'usage transcendantal produise certains concepts de la raison pure, notamment les idées transcendantales. La méthode critique vise maintenant à décider de la validité objective de ces principes de la raison : s'ils peuvent être reconnus comme connaissance ou simplement comme idées pensées par la raison sans aucun fondement scientifique. Nous devons nous rappeler que penser, pour Kant, ne signifie pas connaître. Si elles sont seulement des pensées, quelle serait la nécessité et l'importance de ces idées de la raison pour la connaissance des phénomènes ?

La fonction de la raison consiste à atteindre l'universalité de la connaissance par des concepts. Cela est issu de sa propre activité logique, alors que, dans l'action d'inférer par des syllogismes, la raison cherche, devant un donné conditionné, la totalité de ses conditions. Si ce qui rend possible une telle totalité est uniquement l'inconditionné et si la totalité des conditions est toujours inconditionnée, le concept d'inconditionné explique les idées transcendantales de la raison, pour contenir le fondement de la synthèse du conditionné.

Les espèces de syllogisme qui progressent par des prosyllogismes vers l'inconditionné correspondent, chez Kant, aux trois catégories de relation de l'entendement. Dans son travail de synthèse du conditionné, la raison doit alors chercher : 1) « un inconditionné de la synthèse *catégorique* dans un sujet »; 2) « un inconditionné de la synthèse *hypothétique* des membres d'une série » en rapport au multiple de l'objet du phénomène ; 3) « un inconditionné de la synthèse *disjonctive* des parties dans un système » en rapport à toutes les choses en général. Chacun de ces syllogismes progresse : 1) vers l'idée d'âme : « sujet qui ne soit lui-même prédicat» ; 2) vers l'idée du monde : « présupposition qui ne présuppose rien au-delà » ; 3) vers l'idée

de Dieu : « un agrégat de membres de la division qui ne laisse rien à demander de plus pour achever la division d'un concept » (A323/B379-80 ; Ak III, 251).

Toutes les idées transcendantales peuvent se réduire à ces trois classes d'idées, qui constituent ensemble les piliers de la métaphysique, prise ici dans son sens dogmatique. Pourtant, ce n'est pas seulement dans la sphère de la métaphysique que les idées transcendantales conservent leur importance. Par rapport à la connaissance empirique, elles possèdent l'utilité de faire progresser l'unité de la connaissance dans la synthèse de la réalité des conditions jusqu'à l'inconditionné, amplifiant le plus loin possible la pratique de l'entendement.

L'entendement est en rapport immédiat avec les objets de l'intuition et la raison, à son tour, avec l'usage de l'entendement. Les idées de la raison sont alors toujours transcendantes, parce qu'elles ne se réfèrent pas immédiatement aux objets de l'expérience. Elles cherchent une unité dont l'entendement ne possède aucun concept. Néanmoins, les concepts purs de la raison, à défaut d'être seulement des idées qui ne peuvent jamais être données *in concreto*, ne sont pas superflus. S'ils ne peuvent être considérés comme des connaissances dans la sphère de la raison pure, ils peuvent servir à l'entendement de façon à élargir son usage et à mieux le guider dans la connaissance du phénomène lui-même. Les idées de la raison ont ainsi une validité absolue, c'est-à-dire, sont absolument nécessaires, tant en ce qui concerne le domaine de la métaphysique, que la connaissance scientifique produite par l'entendement.

Le terme absolu peut acquérir des significations distinctes, qui, si elles ne sont pas éclaircies, peuvent occasionner quelques confusions. L'une d'elles se rapporte à quelque chose qui est considéré comme une chose en soi, qui possède une valeur ontologique intrinsèque. Dans un autre sens, le terme indiquerait quelque chose qui est valable sans limitations. Kant veut montrer que la nécessité absolue ne dépend et ne peut être équivalente à la nécessité interne. Si une chose existe en elle-même, elle est absolument nécessaire. Mais, inversement, on ne peut conclure que ce qui est absolument nécessaire soit une chose qui a en elle-même, une nécessité interne. Les illusions de la raison surgissent lorsqu'on considère les idées transcendantales comme des choses en soi, parce qu'elles ne sont pas inventées arbitrairement, elles sont proposées par la nature même de la raison. Ces idées étant absolument nécessaires, la

raison tend à leur attribuer une réalité en soi, à laquelle ne correspond, dans notre sensibilité, aucun objet.

Kant prétend réaliser dans la Dialectique une dérivation subjective des idées transcendantales, à partir de la nature même de la raison. Par contre, il ne peut fournir une déduction objective, comme cela a été fait pour les catégories, dès lors que les idées de la raison ne possèdent aucune relation avec un objet qui puisse être congruent à elles. Ainsi, il démontrera comment ces idées surgissent par des syllogismes nécessaires. De ces syllogismes, qui ne comportent aucune prémisse empirique, on déduit quelque chose dont on ne possède aucun concept. Par une inévitable illusion, caractéristique de la raison pure, elle fournit à de telles déductions une réalité objective.

La méthode dialectique montre comment la raison, en se servant des syllogismes, arrivera nécessairement : a) du syllogisme catégorique au concept d'unité absolue du sujet pensant ; b) du syllogisme hypothétique aux idées de l'inconditionné absolu en une série de conditions données, ; c) du syllogisme disjonctif au concept rationnel suprême de l'être de tous les êtres .

Les déductions dialectiques déduites à partir de ces syllogismes sont pour Kant dénommées : *paralogisme* transcendantal*, antinomie* de la raison pure *et idéal* de la raison pure. Dans la première : « je conclus du concept transcendantal du sujet, qui ne contient rien de divers, à l'absolue unité de ce sujet lui-même, mais sans en avoir de cette manière aucun concept ». Dans la deuxième : « de ce que j'ai, d'un côté, un concept qui se contredit à chaque fois lui-même, de l'unité synthétique inconditionnée de la série, je conclus que c'est l'unité opposée qui est juste, bien que je n'en aie non plus aucun concept ». Et, enfin, dans la troisième : « je conclus de la totalité des conditions nécessaires pour penser des objets en général, en tant qu'ils peuvent m'être donnés, à l'unité synthétique absolue de toutes les conditions de la possibilité des choses en général » (A340/B398 ; Ak III, 262).

Ce sont, pourtant, trois syllogismes qui engendrent les trois idées transcendantales. Ils fournissent la matière pour : 1) une doctrine transcendantale de l'âme (Psychologie rationnelle) ; 2) une doctrine transcendantale du monde (Cosmologie Rationnelle) ; 3) une doctrine transcendantale de Dieu (Théologie Rationnelle).

Pour le propos de cette thèse, nous traiterons seulement de « l'Antinomie de la Raison Pure », étant donné que nous souhaitons essayer de comprendre ce que la raison, dans le domaine des phénomènes, nous autorise à connaître, sans tomber dans ses inévitables illusions. Nous verrons d'abord le champ de la Cosmologie Rationnelle, pour ensuite nous dédier spécifiquement à l'analyse de la deuxième antinomie, qui porte sur la constitution de la matière. Nous essayerons de mettre en évidence la pratique même de la méthode dialectique, dans une doctrine qui s'impose sous l'égide d'une prétendue cosmologie.

3.1.2. Les principes de la cosmologie rationnelle

Les idées transcendantales concernant la totalité absolue dans la synthèse des phénomènes sont appelées par Kant concepts cosmologiques. Dans le chapitre de l'Antinomie de la Raison Pure, il révèle l'illusion de ces concepts, qui prétendent constituer une soi-disant cosmologie pure rationnelle. Kant veut montrer que, loin d'être tout à fait inconciliables avec la sphère des phénomènes, ces principes amènent à des contradictions insolubles. La raison se voit alors obligée de renoncer à sa propre prétention et, face à cela, elle est tentée de tomber dans des attitudes extrêmes, d'un scepticisme radical ou d'un dogmatisme obstiné.

Les concepts cosmologiques sont les concepts propres de l'entendement libérés des limites imposées par l'expérience. Les catégories deviennent des idées transcendantales en accomplissant l'exigence de la raison d'une complétude absolue de la synthèse empirique en progressant jusqu'à l'inconditionné.

Toutefois, toutes les catégories ne se prêtent pas aux idées cosmologiques, mais seulement celles qui nous permettent de construire des séries. On cherche une condition de la condition de ce qui est donné objectivement au phénomène jusqu'à ce qu'il en trouve une qui ne soit la condition d'aucune autre. Il s'agit donc d'une synthèse régressive, fondée sur la série ascendante de conditions subordonnées, et non d'une synthèse progressive de la série descendante aux conséquences à venir. Dans celle-ci, il est sans importance que la série s'arrête ou non, tandis que, dans la série des conditions ascendantes, il faut absolument la totalité pour atteindre l'inconditionné. Ainsi, la

possibilité d'un donné conditionné doit se fonder sur la série des conditions passées qui l'ont déterminé.

Pour établir la table des idées cosmologiques, Kant prend, initialement, la catégorie de la totalité, selon les intuitions pures de l'espace et du temps. Le temps apparaît de nouveau comme le fil conducteur qui ouvrira le chemin vers les solutions méthodologiques de la *Critique*. Ici aussi, dans le système des idées cosmologiques, le temps est fondamental, parce qu'il est en lui-même une série et, en tant que forme *a priori* de toute notre sensibilité, la condition formelle de toutes les séries. Pour une donnée actuelle, la synthèse régressive dans la série des conditions constituant une totalité absolue, se réfère à la totalité du temps passé. Le temps futur, qui servira à former la série progressive des conséquences, n'a pas d'intérêt pour la constitution de l'idée transcendantale de la totalité absolue de la série des conditions pour une donnée conditionnée. Selon la première idée de la raison, la série entière du temps parcouru est nécessairement pensée comme donnée. Dans celle-ci, les parties du temps sont subordonnées et se succèdent, ce qui constitue vraiment une série.

La série, en relation à l'espace, est placée différemment. Ses parties sont simultanées et, en tant que telles, ne constituent pas une série, comme le temps, mais seulement un agrégat. Toutefois, l'appréhension par la pensée des parties de l'espace survient dans le temps et, pourtant, elle est successive et constitue une série. Nous voyons à nouveau la prédominance de la doctrine du temps sur l'espace. Les parties de l'espace se succèdent quand elles sont appréhendées dans le temps, les espaces venant s'ajouter aux conditions de limite des espaces précédents. Cette limitation permet de penser la totalité absolue de la synthèse des séries des conditions, en prenant tout l'espace limité comme conditionné. Mais, en lui, progression et régression sont identiques, alors que la notion fondamentale d'irréversibilité est intrinsèque au temps. Ainsi, les catégories de quantité, celles qui se prêtent à la constitution de la première idée cosmologique de la complétude absolue de la composition de tous les phénomènes dans le temps et dans l'espace est la catégorie de la *totalité*.

La seconde catégorie qui permet de constituer une série régressive des conditions jusqu'à l'inconditionné est la catégorie de la *réalité*. La matière (ou réalité) dans l'espace est alors un conditionné, dont les conditions internes sont les parties et les parties des parties, les conditions des conditions. Dans la divisibilité de la matière, il se

produit, ainsi, une synthèse régressive, dans laquelle la réalité de la matière se réduit au néant ou à l'élément le plus simple. La question de la deuxième idée cosmologique, c'est-à-dire, jusqu'où s'étend la subdivision de la matière, est le point fondamental pour essayer de comprendre pourquoi Kant, dans les principes métaphysiques de la dynamique, affirme la divisibilité infinie de la matière comme un principe qui est la base de la science et, par conséquent, ne peut contenir une idée cosmologique de la dialectique transcendantale.

La troisième catégorie est celle de la *causalité.* Parmi les catégories de la relation, elle est la seule qui nous permette de faire des séries et, donc capable de s'adapter à une idée transcendantale. Ni la catégorie de substance ni celle de communauté ne se prêtent à cela. Par la catégorie de causalité, la raison cherche à atteindre, à partir d'un effet donné, la cause première, promouvant, dans cet enchaînement causal, la recherche par la totalité absolue de la série des conditions.

Finalement, parmi les catégories de modalité, le quatrième groupe de catégories, la contingence est l'unique qui peut offrir une série, dans la mesure où le contingent est toujours conditionné. La raison est, dans ce cas, appelée à la recherche d'une condition plus élevée, où la nécessité inconditionnée ne se trouve que dans la totalité de cette série.

Les quatre idées cosmologiques concernant ces quatre types de catégories sont les suivantes :

> 1. De la quantité (totalité) : « l'*intégralité absolue de l'assemblage* du tout donné de tous les phénomènes » ;
> 2. De la qualité (réalité) : « l'*intégralité absolue de la division* d'un tout donné dans les phénomènes » ;
> 3. De la relation (causalité) : « l'*intégralité absolue de la genèse* d'un phénomène en général » ;
> 4. De la modalité (contingence) : « l'*intégralité absolue de la dépendance de l'existence* de ce qu'il y a de changeant dans le phénomène ». (A415/B443 ; Ak III, 287).

Kant souligne que l'idée de totalité absolue dont la synthèse régressive exige de la raison la complétude absolue ne concerne pas autre chose que les phénomènes. Ainsi, si pour une donnée conditionnée, toutes les conditions d'un phénomène étaient connues,

il serait possible de les représenter selon des lois. C'est ceci que la raison désire profondément et, pour cela, la synthèse des conditions doit être absolument achevée et l'objet final doit être l'inconditionné.

Cependant, malgré une telle idée de totalité absolue vis à vis des phénomènes, elle ne fait pas partie des phénomènes. *A priori*, on ne peut affirmer si dans les phénomènes cette synthèse peut ou non être absolument complète. La complétude absolue est une idée, qui n'appartient pas aux phénomènes, mais à la raison, afin de pousser l'usage de l'entendement le plus loin possible. Dans les phénomènes, nous rencontrons la limitation particulière de la sensibilité, car ils sont nécessairement appréhendés selon les formes pures de l'intuition sensible, l'espace et le temps. Si, dans le phénomène, les conditions sont données par la synthèse successive du multiple de l'intuition sensible, on ne peut affirmer empiriquement *a priori* si la complétude de cette synthèse est ou non possible. C'est seulement dans la régression empirique qu'elle peut être atteinte. Mais, si elle doit nécessairement être atteinte, cela restera un problème.

Toutefois, du point de vue des catégories de l'entendement, indépendamment de l'intuition sensible, il est implicite que, si le conditionné est donné, la série totale des conditions subordonnées est aussi donnée, car un conditionné n'est de fait donné que par la série complète. C'est sur cette base logique que réside la source de l'inévitable illusion dialectique. L'idée de complétude absolue se place, alors, comme une exigence nécessaire de la raison en vue d'atteindre l'inconditionné.

Kant distingue deux modes pour lesquels l'inconditionné peut être pensé : soit lorsque seul le tout de la série est absolument inconditionné, la régression étant infinie et la série elle-même sans limites, soit quand la série est limitée par un terme qui est le seul inconditionné. Celui-ci pourra être le début du monde en relation au temps écoulé, la limite du monde en relation à l'espace; le simple en relation aux parties d'un tout donné; l'autonomie absolue (liberté) par rapport aux causes ; la nécessité absolue de la nature par rapport aux changements. C'est par le fait que l'inconditionné de la synthèse régressive de la série des conditions puisse être pensé sous deux formes différentes que chacune des quatre idées cosmologiques entraîne une antinomie, autrement dit, un conflit entre deux propositions également plausibles, que la raison pure se révèle incapable à résoudre.

Selon la même division des catégories de l'entendement, les idées cosmologiques sont aussi classées en mathématiques et en dynamiques. Les idées mathématiques se réfèrent au monde comme magnitude de l'ensemble de tous les phénomènes, alors que les dynamiques concernent le monde d'existence des phénomènes. Kant réserve l'expression *monde* pour le contenu des deux premières idées cosmologiques, tant pour la synthèse de composition de l'infiniment grand, que pour la synthèse de la division de l'infiniment petit. L'expression *nature* doit se rapporter aux deux dernières idées, en tenant compte de la cause inconditionnée qui détermine un phénomène donné, et de l'inconditionné de l'existence des phénomènes en général. Ainsi, la première et la deuxième idées sont appelées concepts cosmiques du monde et la troisième et la quatrième, concepts transcendants de la nature.

Kant appelle antithétique ce «conflit qui s'élève entre des connaissances dogmatiques en apparence (thèse contre antithèse), sans que soit attribué à l'une de préférence à l'autre un titre à notre assentiment» (A420/B448 ; Ak III, 290). Dans ce cas, l'antithétique transcendantal s'occupe des connaissances universelles de la raison selon leur propre conflit et leurs propres causes. Ces connaissances conflictuelles et illusoires ne sont en aucune façon occasionnelles, mais elles font nécessairement partie du travail de la raison.

Il nous faut souligner que, pour Kant, la raison produit des contradictions nécessaires entre concepts, mais le concept même n'est pas une unité de contraires, ou alors, il ne transporte pas en lui une contradiction qui lui soit intrinsèque. Chez Kant, il y a un dualisme : le concept est ou totalement positif (thèse), ou totalement négatif (antithèse). La thèse et l'antithèse possèdent, chacune de leur côté, des fondements également valides et pertinents, qui rencontrent dans la raison elle-même les conditions de leur nécessité.

Les propositions dialectiques de la raison pure diffèrent d'autres propositions sophistiques en ce que les premières sont des idées constitutives de la raison et, pour cela, la thèse ainsi que l'antithèse constituent des illusions inévitables et naturelles, qui, même lorsqu'elles sont critiquées, ne peuvent jamais être supprimées.

La tâche de la Dialectique, en tant que méthode transcendantale, est de montrer comment les contradictions de la raison produisent ces illusions naturelles et inévitables, provoquant un conflit d'assertions transcendantales. Cette méthode,

développée dans la Dialectique, s'appelle méthode sceptique. Toutefois, elle se distingue totalement du scepticisme. La méthode critique tend en fait à produire un savoir effectif, en cherchant à établir quelles propositions de la raison pure sont inévitablement sujettes à une antinomie, les causes de l'antinomie et, si, malgré celle-ci la raison peut atteindre une certitude.

La méthode sceptique est une caractéristique de la philosophie transcendantale. Son usage serait absurde, tant dans les mathématiques, que dans la science de la nature ainsi que dans la morale. Cela parce que la synthèse abstraite des acceptions transcendantales, lorsque la raison étend les principes de l'entendement au delà des limites de l'expérience, n'est pas donnée en congruence avec l'intuition pure, ni constituée de façon à pouvoir utiliser le critère de l'expérience pour résoudre l'équivoque.

Etant donné les objectifs de notre travail, nous n'examinerons que les conflits transcendantaux des idées mathématiques,. La compréhension des conséquences et des dédoublements de la deuxième antinomie, qui va se refléter dans la façon dont Kant conçoit les principes métaphysiques de la science de la nature, requiert également l'étude de la première antinomie. Ces deux conflits ont des implications dans le domaine exclusif de la raison théorique. Ce n'est pas le cas des antinomies dynamiques, qui entraîneront des dédoublements dans la sphère de la raison pratique, le troisième conflit sur la liberté et la nécessité des causes naturelles et le quatrième, sur l'existence de l'être nécessaire aux phénomènes. En ce qui concerne nos objectifs, limités aux connaissances théoriques produites par la raison, nous pensons suffisante l'analyse de la première et de la deuxième antinomie.

3.1.3. La première antinomie

Le premier conflit des idées transcendantales se réfère à la totalité de la série des conditions pour un conditionné donné. Comme nous l'avons vu, ces idées proviennent de l'application, aux intuitions pures de l'espace et du temps, de la catégorie de la totalité, qui est la catégorie de la quantité qui se prête à la série. La dialectique kantienne essayera de montrer que ce conflit constitue, en réalité, une antinomie. Il n'y a pas, du

point de vue de la raison théorique, un critère qui nous permette d'opter pour l'une ou l'autre des propositions conflictuelles. La solution critique est de réfuter tant la thèse que l'antithèse et de déclarer que le contenu de ces propositions se situe irrémédiablement en dehors du domaine d'une connaissance quelconque.

La thèse dit que le monde a un commencement dans le temps et des limites dans l'espace. L'antithèse, à son tour, affirme que le monde est infini, sans limites tant en relation au temps qu'à l'espace.

Dans la démonstration de ces deux propositions, Kant procède de manière apagogique, c'est-à-dire qu'il réduit à l'absurde l'antithèse pour prouver la thèse et vice versa. La clef des démonstrations des antinomies mathématiques est la notion d'infini, qui a, chez Kant, une connotation toujours négative. Il s'agit d'un mal infini, générateur de conflits que la raison n'arrive jamais à éradiquer et qui surgissent justement lorsqu'elle essaye d'étendre au monde cette notion.

Ainsi, la preuve de la thèse commence en admettant l'antithèse pour ensuite démontrer son impossibilité. On admet d'abord que le monde n'a pas un commencement dans le temps (antithèse). Ceci impliquerait la nécessité d'une série infinie de successions d'états temporaires qui se sont passés. Or, une série que l'on suppose parcourir le temps, s'achève face à la synthèse successive de ses états. Mais, l'idée de totalité achevée est incompatible avec l'infinitude de la série. Alors le commencement du monde s'impose comme une condition nécessaire de son existence et, on prouve ainsi le premier point de la thèse.

Pour prouver que le monde a des limites dans l'espace, Kant recourt aussi à la doctrine transcendantale du temps. La totalité du monde selon l'extension, un agrégat infini de choses réelles, suppose le franchissement d'un temps infini afin d'accomplir l'énumération de toutes les parties existantes. Or, Kant a déjà démontré cela comme étant absurde. Par ailleurs, en considérant l'espace comme une totalité infinie donnée, il est impossible de démontrer la possibilité d'un tout simultané face à une synthèse qui ne se complète jamais. Comme le concept de totalité « n'est pas autre chose que la représentation de la synthèse de ses parties » (A428/B456 ; Ak III, 296; note), l'espace doit être donc limité.

Dans la démonstration de l'antithèse, Kant se sert du même raisonnement apagogique. La thèse selon laquelle le monde a un commencement est également

absurde parce que dans un temps antérieur vide, rien ne pourrait surgir. Dans la preuve relative à l'infinitude du monde dans l'espace, la même question se pose. Un espace vide est impossible car le monde est un tout absolu, en dehors duquel il n'existe rien qui soit en corrélation avec lui. Aucun objet en dehors du monde ne peut être objet d'une intuition. Par conséquent, l'espace vide ne représente aucun objet et la relation du monde avec cet espace ne peut être rien. Cela vaut la peine de rappeler que pour Kant, l'espace est la forme de l'intuition externe de tout phénomène et, comme condition formelle des objets possibles, elle n'est pas une chose donnée à l'intuition, ni un être qui subsiste en lui même.

Le concept d'infinitude utilisé dans la preuve de la thèse se distingue selon Kant, de celui propre aux dogmatiques, qui considèrent une magnitude infinie donnée comme quelque chose sur laquelle aucune autre ne pourrait être plus grande. Il aurait pu utiliser cette idée pour prouver l'impossibilité de l'antithèse. Néanmoins, Kant argumente que ce concept ne coïncide pas avec ce que l'on entend par un tout infini. «Le vrai concept (transcendantal) de l'infinité, est que la synthèse successive de l'unité dans la mesure d'un quantum ne peut jamais être achevée» (A432/B460 ; Ak III, 298). Celui-ci est pour lui, le concept mathématique de l'infini, d'où découle qu'une série infinie et en même temps parcourue est impossible.

La conception de l'infini chez Kant est, en termes mathématiques, encore très primitive. En réalité, l'étude mathématique sur l'infini a été impulsée par les études réalisés par George Cantor (1845-1918) au dix-neuvième siècle[26]. Jusqu'en 1850, les mathématiques répudiaient la pensée des quantités infinies, la considérant comme totalement dépourvue de sens. La notion d'infini, selon la majorité d'entre eux, devait être rejetée pour sa nature incompréhensible, pleine de paradoxes et d'auto contradictions. Friedrich Gauss, par exemple, considérait l'usage de magnitudes infinies inadmissibles en mathématique.

La notion d'infini ne pouvait rester, chez Kant, peu approfondie, étant donné qu'à son époque l'idée d'une magnitude infinie était impensable dans la sphère propre des mathématiques. Il est important de souligner que la notion de l'infini comme magnitude se distingue de la notion de l'infini sériel adoptée par Kant dans sa *Critique*.

---

[26] Cf. M. Kline, 1990 : 443-458.

C'est justement la notion d'infini comme magnitude, tel que Kant le définit, mais qu'il rejette dans ses démonstrations des antinomies, qui sera mise à l'épreuve par le travail de Cantor. Celui-ci affirme qu'il est possible qu'un ensemble infini soit supérieur à un autre ensemble infini, comme, par exemple, l'ensemble des nombres réels compris entre 0 et 1 est bien plus grand que celui de tous les nombres entiers naturels. Dans ce cas, on suppose une magnitude infinie supérieure à une autre, ce qui contredit la définition des dogmatiques à laquelle Kant se réfère. Toutefois, l'idée d'infini qui fonde la dialectique kantienne est l'idée de l'infini sériel, importée du calcul infinitésimal de Newton et de Leibniz.

Philonenko (1969) attire notre attention sur le fait que la source des illusions dialectiques ne se trouve pas dans telle ou telle notion de l'infini, mais dans celle d'infini conçu comme chose, comme s'il appartenait à une réalité existante en soi, indépendante des conditions du sujet. L'origine du premier conflit dialectique se situe dans le fait de faire du temps et de l'espace des séries finies ou infinies, comme déterminations objectives subsistant par elles-mêmes. Si la raison rejette les conditions de l'Esthétique Transcendantale, qui font de tous les objets de simples phénomènes et non des choses en elles-mêmes, elle tombe inévitablement dans une antinomie. Par rapport aux critiques à la conception de l'infini chez Kant, spécialement celles effectuées par Hegel, Philonenko s'appuie sur H. Cohen, pour faire ressortir que «*l'infini doit cependant être rétabli comme règle, et non comme « réalité », comme tâche, et non comme existence, comme Idée, et non comme chose en soi* » (Philonenko, 1969 : 303).

3.1.4. La deuxième antinomie

Le second conflit des idées transcendantales, pour lequel nous avons un intérêt tout particulier, a eu une importance fondamentale dans l'Idéalisme Allemand. C'est à partir de la critique faite à la deuxième antinomie que Hegel précise justement le passage de la philosophie critique à la dialectique spéculative.

La deuxième antinomie[27], comme nous l'avons déjà vu, se réfère à la catégorie de la réalité à partir de laquelle s'entreprend la synthèse régressive des parties d'un tout substantiel. Cette antinomie, comme la première, est, du point de vue spéculatif, sans solution : thèse et antithèse s'avèrent toutes les deux fausses. La thèse dit que le simple existe comme composant présent en toute matière. L'antithèse nie l'existence du simple. La démonstration de ces deux propositions est aussi apagogique.

Kant présente la thèse de la manière suivante : « toute substance composée dans le monde est faite de parties simples, et il n'existe absolument rien que le simple ou ce qui en est composé » (A434/B462 ; Ak III, 300).

Et l'antithèse : « aucune chose composée, dans le monde, n'est faite de parties simples, et il n'existe absolument rien de simple dans le monde » (A436/B463 ; Ak III, 301).

En admettant l'inexistence d'un composé constitué de parties simples (antithèse), Kant argumente que, en cas de suppression de la composition au moyen de la pensée, il ne resterait absolument rien, étant donné que le simples n'existe pas, comme le suppose la proposition à démontrer. Ainsi aucune substance ne serait donnée. Une contradiction apparaît alors, car l'antithèse présuppose un composé substantiel et, à leur tour, les substances sont des êtres subsistants en soi, au-delà de toute composition. Celle-ci n'est pas autre chose qu'une relation contingente de substances. Nous devons donc nécessairement admettre que le tout composé est formé de parties simples, qui sont les éléments premiers de toute composition. Les limites de cette démonstration sont mises en évidence par Kant lui-même dans sa « Remarque sur la thèse de la deuxième antinomie ». Dans ce texte, il affirme que la preuve de l'existence nécessaire de parties simples est valide seulement pour un tout substantiel comme un *compositum* réel et propre, subsistant par lui-même. Elle ne s'applique ni à l'espace ni au temps, pas plus qu'aux accidents d'état d'une substance comme, par exemple, le changement. Aucun d'entre eux n'est possible face à l'addition d'éléments simples. Ni l'espace n'est composé de points, ni le temps d'instants. Les points comme les instants, sont seulement des conditions aux limites, dans le sens mathématique du terme. L'espace est, d'abord, un *totum*, et non un *compositum*, parce que ses parties seules sont possibles

[27] Pour une étude détaillée sur la deuxième antinomie cf. : Cf. James van Cleve (1981).

dans le tout, étant, pour cela, appelé par Kant '*compositum ideale'*. Si dans l'espace la composition est supprimée, il ne reste rien. Les séries formées par l'espace et le temps sont infiniment continues, n'étant pas constituées, ainsi, de parties simples. L'inférence du simple ne concerne, alors, que les choses subsistant par elles-mêmes.

Kant précise ainsi dans cette même remarque que la thèse se réfère au simple, compris comme partie du composé, et non dans le sens des *monades* de Leibniz, comme ce qui est donné immédiatement comme simple. Cette thèse exclut, donc, l'auto conscience du *je pense*. On pourrait l'appeler *atomistique* transcendantale, si le terme '*atome'* n'était pas traditionnellement lié à l'explication des phénomènes corporels. Pour cela, Kant préfère l'appeler principe dialectique de la *monadologie*. Ces remarques de Kant sont extrêmement importantes pour le développement de notre travail. Le composé dont traite la thèse est, donc, un composé substantiel, existant par lui même, indépendant des conditions du sujet, et non un composé phénoménal. Ceci est une indication pour que l'on puisse comprendre pourquoi Kant exclut du champ de la connaissance, alors que le champ des phénomènes n'est pas abandonné, les théories sur la composition de la matière. Nous reviendrons sur ce sujet dans la section prochaine de ce chapitre, lorsque nous analyserons les différentes théories relatives à la composition de la matière.

Dans la preuve de l'antithèse, Kant recourt à la Doctrine de l'Espace pour réfuter la thèse, qui fut admise comme vraie, et ainsi prouver que le simple, en tant qu'élément premier du tout, n'existe pas. On admet, initialement, que toute composition de substances, de même que toutes ses parties simples, ne sont possibles que dans l'espace et, alors, doivent toutes occuper un espace. Or, si l'on considère l'espace comme un *totum* dont les parties sont possibles seulement dans le tout, chaque espace de l'espace comprend en soi une multiplicité de parties externes les unes aux autres. L'espace, par conséquent, ne consiste pas en parties simples. A son tour, tout réel qui occupe un espace doit comprendre aussi une multiplicité de parties externes les unes aux autres, car, chaque partie de ce réel, pour aussi élémentaire qu'elle soit, est un composé, ce qui contredit la condition du simple.

Les monadistes, selon Kant, argument contre cette preuve en faveur d'une division infinie de la matière. Ils considèrent au-delà des points mathématiques, qui ne sont pas proprement des parties de l'espace, mais ses conditions limites, l'existence de

points physiques. Ceux-ci, étant simples, s'agrégent les uns aux autres, de manière à remplir tout l'espace, tout en faisant partie de lui. Le problème principal dans cette conception des monadistes est, pour Kant, qu'ils considèrent les corps matériels non comme des phénomènes, mais comme des choses en elles-mêmes. Ils admettent une intuition différente de celle qui est donnée dans l'espace, ce qui, pour Kant, comme il l'a déjà démontré dans l'Esthétique Transcendantale, est impossible. L'espace est la condition de la possibilité de toutes les choses en général et le phénomène, affirme Kant, « comme intuition empirique dans l'espace, implique cette propriété nécessaire qu'aucune partie n'en est simple, parce qu'aucune partie de l'espace n'est simple» (A441/B469 ; Ak III, 305). Pour contourner cette difficulté, les monadistes présupposent une conception de l'espace exactement inverse à celle kantienne : les objets, en tant que choses en elles-mêmes sont la condition de possibilité de l'espace. Si le tout substantiel est simplement pensé par l'entendement, sans être intuité avant par la sensibilité, l'affirmation selon laquelle, avant toute composition, il faut d'abord avoir le simple, est parfaitement valide du point de vue logique, mais ne possède, en revanche, aucune validité objective.

Kant rejette aussi dans la preuve de l'antithèse la condition d'existence de l'absolument simple. Elle ne peut être prouvée à partir d'aucune perception ou expérience, qu'elle soit externe ou interne. Il réaffirme ce qu'il avait déjà développé dans les « Paralogismes de la raison pure » : l'auto-conscience comme un principe méthodologique et non comme une substance en soi. La représentation du *je* est absolument simple, étant donné que le sujet qui pense est simultanément son propre objet, et, pour cela, il ne peut servir de prédicat à aucune autre représentation. Toutefois, l'auto-conscience n'est autre chose qu'une idée, dont l'existence ne peut être inférée par aucune perception possible. Cependant, affirme Kant, « si ce sujet est envisagé *extérieurement*, comme un objet de l'intuition, il manifestera bien pourtant une composition dans le phénomène » (A443/B471 ; Ak III, 307).

De notre point de vue qui cherche à comprendre la véritable portée de la Dialectique Transcendantale, dans ce qui se rapporte à la connaissance de la science de la nature, nous sommes face à une confusion que nous essayerons d'éclaircir dans la prochaine section de ce chapitre, quand nous tiendrons compte des *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*. En prouvant la thèse par l'inconsistance de

l'antithèse, qui affirme que « aucune chose composée, dans le monde, n'est faite de parties simples », Kant a gardé le sens de l'affirmation selon laquelle « aucune partie du phénomène n'est simple ». Ceci signifie que les deux affirmations ne sont pas équivalentes, ce qui paraît, en principe étrange. Ainsi, nous allons examiner avec soin les arguments de Kant dans la démonstration des théorèmes dynamiques des *Principes métaphysiques* pour bien comprendre l'extension de l'interdiction kantienne dans le second conflit de la Dialectique Transcendantale.

3.1.5. La solution critique des antinomies

La distinction entre les deux premières qui représentent une synthèse *mathématique* des phénomènes, et les deux dernières, qui représentent une synthèse *dynamique* est fondamentale pour la solution des antinomies.

Nous ne traiterons pas des antinomies dynamiques, afin de ne pas nous éloigner de la question proposée par notre réflexion. Ceci ne signifie pas que la troisième et la quatrième antinomie n'ont pas leur importance dans la méthode critique. Au contraire, Kant offre à partir d'elles la clef de sa *Critique de la raison pratique* où les problèmes de la métaphysique trouvent solution. En montrant que le conflit des idées dynamiques n'est qu'apparent, il met en évidence qu'il n'existe pas de contradiction entre la nécessité de la nature et la causalité à partir de la liberté (3ème conflit), ni entre l'existence contingente et conditionnée du monde des sens et l'existence d'un être inconditionnellement nécessaire (4ème conflit). L'originalité de Kant consiste à supposer que les deux propositions conflictuelles sont vraies. En fait, elles appartiennent à deux domaines essentiellement distincts de la raison humaine. Si l'inconditionné ne peut être atteint par la raison sur le terrain de la connaissance il serait véritablement saisi dans la sphère de la moralité.

Ce qui se passe dans la connexion mathématique de la série des phénomènes, est qu'aucune autre condition qui ne fait pas partie de la série ne peut être introduite. Selon Kant, toutes les conditions sont, dans ce sens, *homogènes* et aussi sensibles, pour être toutes empiriquement conditionnées. Ceci est la raison pour laquelle les autres affirmations dialectiquement opposées dans les antinomies mathématiques sont fausses.

Dans la synthèse dynamique des phénomènes, on admet qu'une condition *hétérogène*, quand elle est purement *intelligible*, est en dehors de la série. Une telle condition non sensible de la série des phénomènes est empiriquement inconditionnée et, n'étant pas un membre de la série, elle n'est pas elle-même un phénomène. Ceci va permettre de satisfaire, d'un côté, l'entendement, pour lequel ses conditions sont toujours conditionnées, et, de l'autre, la raison, qui penche toujours vers l'inconditionné. Pour cela, les antinomies dynamiques comprennent une autre solution, différente des antinomies mathématiques : la thèse ainsi que l'antithèse sont vraies.

Pour éviter des malentendus, il faut considérer que les propositions concernant le domaine de l'intelligible du troisième et du quatrième conflits sont vraies comme principes de la raison. Ceci ne signifie pas que Kant ait démontré la réalité objective de ces principes, ce qui serait totalement contraire à sa philosophie transcendantale. Lorsque Kant situe l'inconditionné hors des phénomènes il souhaite montrer : 1) que l'existence du monde des sens est toujours empiriquement conditionnée ; 2) que l'objectivité des idées inconditionnées ne repose plus sur la complétude de la série empirique, mais sur des concepts purs *a priori*, dont les objets sont purement intelligibles et qui, pourtant, ne sont pas connus de nous, mais seulement pensés. La légitimité de telles idées de la raison se situe donc dans le domaine de la raison pratique.

Ainsi, nous n'entreprenons pas l'analyse des antinomies dynamiques, dont la portée s'étend au delà des objectifs de ce travail. Mais, avant de nous arrêter à la deuxième antinomie et aux principes dynamiques de la science de la nature, nous allons considérer quelques remarques faites par Kant dans la solution des antinomies.

Kant fait remarquer l'arrière-plan des conflits entre les assertions de la thèse et de l'antithèse. En fait, il a voulu mettre à l'épreuve l'opposition engagée par les deux principaux courants philosophiques de la modernité : le dogmatisme et l'empirisme. Les affirmations de l'antithèse concernent ainsi les principes de l'*empirisme pur,* alors que ceux de la thèse s'appuient sur des principes *dogmatiques*. Contrairement aux antithèses, les thèses des antinomies supposent comme fondement de la synthèse empirique des principes purement intellectuels qui ne possèdent ni unité ni uniformité par rapport à la série des phénomènes.

Par ailleurs, s'il n'existe pas pour l'empirisme un principe premier, inconditionné, qui sert de fondement à la série empirique, il ne peut donner une réponse

sur la question des contradictions de la synthèse transcendantale sans se rapporter à une rénovation infinie de la question. Dans ce sens, l'empirisme n'admet jamais les principes de la thèse, car nous ne pouvons rien connaître au delà de ce que la nature elle-même nous offre comme objets. Elle peut seulement nous instruire au sujet de ses lois.

En fonction de ce présupposé, l'empirisme sacrifie ces idées intellectuelles qui font nécessairement partie, non d'un intérêt spéculatif, mais de l'intérêt pratique de la raison. Selon Kant, l'homme a besoin d'avoir foi dans des principes moraux ou religieux qui donnent un sens à sa vie pratique. Si l'empirisme se satisfait des principes de l'expérience et nie la validité scientifiques des idées qui dépassent ses propres limites, sans cependant nier la validité de ces idées transcendantales dans le domaine de l'intérêt pratique, il serait, selon Kant, modeste et modéré par rapport à l'extension maximale possible de notre entendement. Car, lorsque l'empirisme lui-même devient dogmatique, il s'avère plus censurable que le dogmatisme lui-même, tels les préjugés causés à l'intérêt pratique de la raison.

Si nous devions nous situer pour ou contre une argumentation déterminée, le critère unique sur lequel nous pourrions nous baser serait, selon Kant, celui de l'intérêt, et non le critère logique de la vérité. Les avantages qu'une proposition déterminée acquièrt sur une autre varient selon que cet intérêt est d'ordre pratique, spéculatif ou populaire. Les principes de l'empirisme, par exemple, ne comptent pas, comme ceux du dogmatisme, sur les avantages de la popularité, car, pour Kant, le sens commun se contente de faire des sophismes à l'infini à partir d'idées intellectives pures, alors que l'on ne sait rien sur elles et que l'on reste complètement ignorant par rapport à la recherche de la nature. Sous la perspective pratique, les assertions de l'antithèse sont totalement dépourvues d'intérêt, dès lors qu'elles rendent sans valeur les fondements de la morale et de la religion, qui reposent sur un principe absolu et inconditionné. Cependant, du point de vue de l'intérêt spéculatif, les idées de l'empirisme sont beaucoup plus attrayantes que celles du dogmatisme. Pour posséder des bases fondées sur l'expérience, elles peuvent dépasser certainement les limites de l'expérience sans être réfutées par des faits de la nature.

En ce qui concerne les questions cosmologiques, l'empirisme adopte aussi une posture dogmatique et transforme l'idée de la totalité inconditionnelle de la synthèse des

phénomènes en une prétendue représentation d'un objet donné empiriquement et d'une façon connaissable selon les lois de l'expérience. Cette solution des problèmes transcendantaux ne peut avoir un autre résultat si ce n'est un conflit inévitable, entre des idées purement spéculatives.

La solution dans ce conflit est présentée par Kant, dans la Dialectique Transcendantale, non à partir d'une posture dogmatique, mais selon une perspective critique. Cette solution des problèmes de la philosophie transcendantale ne peut jamais être présente dans l'expérience, comme le prétend une certaine posture dogmatique, étant donné que la totalité inconditionnée de la synthèse empirique se trouve seulement dans la pensée. La solution critique peut être entièrement valide, car, selon Kant, elle « n'envisage pas du tout la question objectivement, mais seulement par rapport au fondement de la connaissance sur lequel elle repose » (A484/B512 ; Ak III, 335). La dialectique kantienne se présente, ainsi, comme une méthode, que Kant appelle sceptique qui permettra de résoudre le conflit des antinomies, afin d'éliminer l'illusion qui accompagne tout savoir qui fonde une cosmologie prétendument scientifique.

La critique kantienne met en évidence une complète inadéquation entre la loi de l'entendement et les assertions de la thèse et de l'antithèse, qui, en vérité, expriment la non-conformité entre l'objet de l'expérience et l'idée de la raison. Ceci parce que la loi de l'entendement, dans sa nécessaire régression empirique qui est toujours conditionnée, nous pousse à trouver plus loin une condition temporelle plus élevée. Ainsi, la thèse, selon laquelle une série est toujours limitée par une condition absolument inconditionnée, se révèle infime d'ailleurs par rapport à l'usage pratique de l'entendement. Dans le cas de l'antithèse, qui suppose *a priori* un retour infini, elle sera d'ailleurs toujours grande pour la loi de l'entendement. Inversement, nous ne pouvons pas placer le concept empirique trop petit pour les assertions de l'antithèse, ni trop grand pour celles de la thèse. Ainsi Kant déclare : « l'expérience possible est ce qui peut seul donner de la réalité à nos concepts ; sans elle, tout concept n'est qu'une idée, sans vérité et sans rapport à un objet » (A489/B338 ; Ak III, 337). Une suspicion qu'un concept totalement vide et simplement imaginaire soit sous-jacent au conflit de la raison dans les antinomies se manifeste.

La méthode critique suppose que tous les objets d'une expérience possible sont donnés à l'intuition dans l'espace ou dans le temps et que, pour cela, ils ne sont que des

phénomènes, c'est-à-dire, de simples représentations qui ne possèdent pas une existence en soi fondée en dehors de notre pensée expérimentale. Les objets seuls sont réels s'ils sont dans le progrès de l'expérience, c'est-à-dire, « s'ils s'accordent avec ma conscience effective » (A493/B521 ; Ak III, 340). Avec ceci, Kant ne veut pas que son idéalisme transcendantal soit confondu avec l'idéalisme empirique, qui suppose que l'expérience interne soit suffisante pour démontrer l'existence réelle de l'objet en lui même. Les phénomènes ne sont réels que dans la perception et celle-ci seule est possible dans l'espace et le temps. Ainsi, déclare Kant, ce qui est dans l'espace et dans le temps (les phénomènes) « n'est pas quelque chose en soi, mais de simples représentations, qui, dès qu'elles ne sont pas données en nous (dans la perception), ne se rencontrent absolument nulle part » (A494/B522 ; Ak III, 340).

Toute cause qui fonde un phénomène déterminé est, selon les principes transcendantaux, sensible. Même un objet qui existerait en un temps passé ou futur, ou encore, à une distance inaccessible à l'homme, peut seul être donné dans la règle de la progression ou de la régression de l'expérience et, donc, comme phénomène. Kant n'admet aucune cause transcendante ni qu'au moyen de cette cause, un objet puisse être placé ou avant ou après l'expérience. Un objet qui est pensé en un espace qui précéde mon existence est parfaitement plausible comme pensée de la complétude d'une expérience possible. Toutefois, aucun objet ne peut être donné comme chose en soi, sans relation à la possibilité de l'expérience. Une chose seule est objet de connaissance lorsqu'elle est contenue dans la série empirique.

Kant trouve la solution critique au conflit cosmologique de la raison avec elle-même dans le syllogisme de caractère dialectique qui, selon lui, est sous-jacent aux assertions tant de la thèse que de l'antithèse. A cause de ce syllogisme, les illusions de la raison sont produites. Un tel argument dialectique, qui fonde toutes les antinomies, a, pour Kant, la forme suivante :

> Quand le conditionné est donné, est aussi donnée la série entière de toutes ses conditions ;
>
> Or, les objets des sens nous sont donnés comme conditionnés ;
>
> Donc, [les objets des sens nous sont donnés conjointement avec la série entière de toutes ses conditions] (A497/B525 ; Ak III, 342).

Par ce syllogisme, sont introduites les idées cosmologiques qui postulent la totalité absolue de la série qu'elles-mêmes poursuivent, et, par conséquent, l'inconditionné. Il est la source du conflit inévitable que la raison établit avec elle-même. Voyons pourquoi.

En premier lieu, la prémisse majeure est une proposition analytique. Dans le concept de conditionné la condition est déjà implicite et celle-ci, comme conditionnée, entraîne une autre condition encore plus éloignée et ainsi successivement, à travers tous les membres de la série. Par ailleurs, l'entendement dans la synthèse entre le conditionné et sa condition, représente les choses comme si elles étaient en soi, sans faire attention à leur propre connaissance. Dans cette démarche, pour un conditionné donné, la régression complète dans la série des conditions jusqu'à l'absolument inconditionné est aussi supposée comme donnée.

En contrepartie, les phénomènes ne sont donnés que quand leur connaissance est atteinte. On ne peut pas dire que, si le conditionné est donné, toutes les conditions relatives aux phénomènes soient aussi données. La synthèse empirique n'intervient que dans la régression et, ne peut donc être présupposée et donnée conjointement avec le conditionné. L'origine des illusions transcendantales se situe exactement dans la disparité qui existe entre la majeure et la mineure du syllogisme. Kant déclare à ce propos :

> La majeure du raisonnement cosmologique prend le conditionné dans le sens transcendantal d'une catégorie pure, tandis que la mineure le prend dans le sens empirique d'un concept de l'entendement appliqué à de simples phénomènes, et que par conséquent on y rencontre cette supercherie dialectique appelée *sophisme figurae dictionis*. Mais cette supercherie n'a rien d'artificiel, elle est au contraire une illusion toute naturelle de la raison commune. (A499-500/B527-28; Ak III, 344)

Dans la majeure, tous les membres de la série sont donnés en soi sans condition temporelle et, ils ne comportent donc aucun concept de succession. Dans la mineure, la synthèse survient conformément aux conditions du phénomène, qui se succèdent dans le temps. Ici réside la source d'illusion, qui n'est en aucune façon une illusion élaborée artificiellement, mais une illusion complètement naturelle de la raison. Si les deux arguments des antinomies, thèse et antithèse se basent sur ce syllogisme, on peut réfuter

ensemble les parties conflictuelles, car la réalité à laquelle elles se réfèrent d'aucune façon pourrait être donnée.

Kant fait remarquer que l'opposition que l'on trouve entre la thèse et l'antithèse n'est pas une opposition analytique, c'est-à-dire, une contradiction purement formelle, dans laquelle l'affirmation contradictoire à une certaine proposition fausse est nécessairement vraie. L'opposition qui s'établit dans les antinomies est une opposition dialectique. Dans celle-ci, les propositions opposées peuvent être toutes les deux fausses, étant donné que ces propositions disent beaucoup plus que ce qui est exigé pour la contradiction.

Prenons comme exemple la première antinomie cosmologique et ses propositions contradictoires : le monde est ou l'infini ou le fini quant à sa magnitude. Selon la manière dont les choses ont été exposées, le monde est admis comme une chose en soi. Toutefois, si nous rejetons un tel présupposé et si nous considérons le monde non comme quelque chose de donné en soi, mais seulement que l'on peut rencontrer dans la régression empirique de la série des phénomènes, alors la contradiction disparaît. Ceci parce que la série empirique est toujours conditionnée et le monde n'est pas un tout inconditionné qui existe ou comme infini en soi ou comme fini en soi. Avec cet argument, les critiques faites à la philosophie transcendantale, selon lesquelles elle interdirait l'avancée de la science dans le champ de la cosmologie physique, s'avèrent inconsistantes. Ce que Kant dénonce en réalité est l'impossibilité d'une connaissance quelconque dans le domaine d'une cosmologie métaphysique. Dire *a priori* que le monde est fini ou infini c'est prendre les causes du monde, non en tant que phénomènes, mais en tant que chose en soi totalement détachées de l'intuition sensible et de la loi de l'usage empirique de l'entendement pur. C'est seulement dans la régression empirique que nous pouvons dire quelque chose sur l'existence du monde.

Cette même argumentation doit valoir pour les autres antinomies, où la contradiction disparaît si nous cessons de considérer le phénomène comme une chose en soi avant toute la régression et aussi la totalité de la série des causes comme existante en elle-même étant soit finie soit infinie. C'est ceci que nous souhaitons vérifier en ce qui touche la deuxième antinomie, alors que nous avons l'opportunité d'utiliser la théorie élaborée par Kant lui-même dans la démonstration des principes métaphysiques de la science de la nature. Il nous faudra chercher dans quelle mesure nous pouvons affirmer

quelque chose sur la constitution élémentaire de la matière sans transgresser, cependant, les limites tracées par la dialectique kantienne à la connaissance permise à la raison.

3.2. La détermination scientifique sur la nature de la matière

3.2.1. La confrontation entre dynamisme et mécanicisme

La confrontation que Kant établit entre l'interprétation dynamique et celle mécaniciste, dans la tentative d'expliquer la constitution de la matière, nous offre l'opportunité de vérifier l'application effective des critères de scientificité développés par sa doctrine critique quand il s'agit d'opter entre deux théories scientifiques rivales. Il ne s'agit pas ici, d'une confrontation entre une explication métaphysique et une autre scientifique, mais entre deux théories appartenant au domaine des phénomènes, qui prennent en considération les limites imposées par l'intuition sensible. Cette discussion nous ramène à une des questions essentielles de la philosophie des sciences : quels sont les critères qui légitiment une théorie donnée et qui en déterminent le développement scientifique ?

Dans cette perspective, l'explication de la différence spécifique des matières acquiert, dans la philosophie kantienne de la nature, une importance fondamentale, quand, entre deux possibilités de recherche, Kant défend la théorie dynamique, en s'opposant au mécanicisme, explication courante entre les scientistes de son époque. Selon les définitions de Kant la méthode mécanique « explique toutes les différences des matières par la combinaison du plein absolu et du vide l'absolu». Au contraire, la méthode dynamique « les explique uniquement par les différences de combinaisons entre les forces originaires de la répulsion et de l'attraction » (Kant, 1985b : 451 ; Ak. IV, 532).

La théorie mécaniciste suppose, ainsi, que tout l'univers se réduit à un système de volumes géométriques animés de mouvements. Ceux-ci sont considérés physiquement comme de petites parties indivisibles de la matière, les atomes. L'idée d'atome, juxtaposée à celle du vide, sont les deux hypothèses du mécanicisme,

suffisants pour expliquer toute la diversité spécifique de la matière. Cette interprétation est dénommée philosophie mécaniciste de la nature parce que les atomes sont conçus comme des machines, « simples instruments pour des forces motrices extérieures » (Kant, 1985b : 451 ; Ak. IV, 532). De Démocrite à Descartes, et jusqu'aux philosophes naturalistes du XVIIIe siècle, cette théorie, appelée aussi atomisme ou philosophie corpusculaire, a conservé son autorité et son influence sur la science de la nature.

Kant considère que cette théorie prend en compte une physique purement mathématique, dans laquelle la géométrie s'applique très bien. Toutefois, une physique de ce type configure, pour lui, un abus d'imagination, qui prend la place de la vraie pensée. En démontrant la possibilité des espaces vides, le mécanicisme ne cesse pas d'avoir, selon Kant, en sa faveur, l'évidence mathématique, mais en contrepartie, il se prive de tout fondement expérimental, pour ne pas privilégier les données de la sensibilité. Kant croit que ni les intervalles vides, ni les corpuscules primitifs ne peuvent être découverts par la perception. Surtout pour renoncer à toutes les forces propres de la matière, l'interprétation mécaniciste ne se base pas sur l'expérience.

En proposant une nouvelle interprétation de la différence spécifique de la matière, Kant souhaite adopter une explication naturelle pour les phénomènes qui, selon lui, serait davantage en accord avec nos perceptions. La philosophie dynamique de la nature serait, ainsi, bien plus appropriée à la science expérimentale. Elle mène directement à la découverte des forces motrices propres à la matière et conduit la recherche scientifique à partir de ces forces. De cette façon, des considérations basées sur des hypothèses arbitraires, comme celle de l'atome ou des intervalles vides sont évitées. Pour Kant, considérer les forces d'attraction et de répulsion signifie prendre en compte les conditions donnés par la sensibilité.

Si, d'une part, l'explication mécaniciste permet de construire théoriquement la diversité des corps en se fondant sur des bases mathématiques, l'explication dynamiste, d'autre part, ne peut en aucune façon démontrer, à travers une construction du concept de matière, la possibilité des forces fondamentales. La certitude de telles forces se fonde seulement sur le fait de ne pouvoir les réduire à d'autres principes premiers. C'est la raison pour laquelle, Kant considère mathématique l'explication mécaniciste et métaphysique l'explication dynamique. La première se construit sur une explication

purement essentialiste, alors que la seconde se base sur l'existence des phénomènes. C'est celle-ci qui doit servir à la science de la nature.

Avec la possibilité ouverte par la philosophie dynamique pour l'explication de la diversité des matières, la théorie mécaniciste devient inutile, n'étant même pas nécessaire comme hypothèse. Kant veut, à tout prix, non seulement éviter l'idée d'espaces vides, mais détruire toutes les considérations basées sur cette notion. Ainsi il affirme :

> Le vide absolu et la densité absolue sont dans la théorie de la nature à peu près ce que sont, dans la science métaphysique de l'univers, le hasard pur et le destin aveugle, en somme une barrière opposée à la domination de la raison, pour que la fantaisie prenne sa place, ou que la raison soit mise en sommeil sur l'oreiller des qualité occultes (Kant, 1985b : 450 ; Ak. IV, 532).

Sur la nécessité d'admettre l'existence d'espaces vides dans le monde, Kant déclare :

> Aucune expérience, aucune inférence tirée de l'expérience, aucune hypothèse nécessaire pour expliquer l'expérience ne nous autorisent à considérer des espaces vides comme réels. Car toute expérience ne nous donne à connaître que des espaces relativement vides, qui peuvent être entièrement expliqués, quel que soit leur degré, grâce à cette propriété qu'a la matière de remplir son espace par une force d'expansion qui croît ou diminue à l'infini, sans qu'il ait besoin d'espaces vides (Kant, 1985b : 455 ; Ak. IV, 535).

La théorie dynamique permet, alors, d'expliquer les caractéristiques principales de la matière sans avoir recours à une quelconque explication mécaniciste. Ainsi, Kant cherche à établir *a priori*, à partir des forces fondamentales, les concepts qui doivent justifier toute différence spécifique de la matière. En appliquant les catégories générales de l'entendement aux propriétés qui constituent la matière dans sa qualité (l'attraction et la répulsion), il parvient à quatre concepts. La quantité de la qualité fournit le volume et la densité, la qualité de la qualité, la cohésion, la qualité à travers la relation, l'élasticité, et la modalité de la qualité, la structure physique et chimique des corps. Vuillemin signale que ce passage est d'une importance fondamentale. Dans cette condition spécifique de la catégorie de qualité de refléter toutes les autres, nous rencontrons l'exposé le plus authentique de la philosophie kantienne de la nature.

Toutes ces caractéristiques de la matière sont, alors, expliquées par le degré d'occupation de l'espace, étant déterminées en fonction des forces fondamentales et non en termes de matière et de vide. La dynamique kantienne consiste, ainsi, à éloigner tout ce qui pourrait donner lieu à une interprétation discontinue de la matière. Pour Vuillemin (1955 : 192), «l'effort kantien va consister à harmoniser continuité et substance ; il aboutira à un concept nouveau de la continuité, celui des grandeurs intensives, aussi bien que de la substance, celui d'un ensemble relatif de matière toujours divisible à l'infini ».

Cet effort a aussi l'intention d'éviter le dualisme sous-tendu par la physique entre matière avec poids et matière sans poids (éther). Kant introduit le concept de l'éther d'une façon différente de celle de Newton. Alors que pour ce dernier l'éther est un concept utile pour expliquer la gravitation, pour Kant, qui admet l'action à distance, il constitue seulement un concept limite, totalement inutile à la théorie de la gravitation, puisque le principe d'action à distance ne nécessite pas un moyen dans lequel l'action des forces puisse se propager. L'hypothèse de l'éther surgit du développement lui-même du principe du degré des forces.

Si les forces ont un degré, on peut admettre un éther, c'est-à-dire, une substance matérielle avec un poids infiniment petit. Cette hypothèse n'introduit rien de nouveau dans la théorie de la dynamique. Elle est une conséquence naturelle du principe général. Voilà un autre avantage du dynamique par rapport au mécanicisme : la continuité entre les principes et les hypothèses. L'hypothèse du vide, au contraire, est entièrement extrinsèque au principe mécaniciste, qui affirme que les forces dépendent uniquement des formes (machines).

Ainsi, c'est sur le plan de l'existence et de la réalité et non de l'essence et de la possibilité que se place la suprématie du dynamique sur le mécanicisme. Pour régler le conflit qui s'établit entre ces deux théories, Kant prend comme paramètre l'usage empirique de l'entendement dans la recherche de la réalité, et non plus la possibilité de la réalité. Si, dans la *Critique de la raison pure*, le concept de la grandeur intensive reste purement mathématique c'est parce que l'on n'a pas introduit réellement le concept du mouvement de la matière. La réalité dont parle la *Critique* n'est pas la force, mais la possibilité mathématique de la force. L'introduction de la réalité du mouvement fait

émerger le conflit, ignoré par la Critique, entre les forces motrices fondamentales et la théorie mécaniciste.

En commentant le problème des « grandes théories » physiques, Vuillemin (1955 : 172) affirme que c'est « l'idéalisme transcendantal dans son ensemble que Kant met en question pour réfuter le mécanicisme », rendant ainsi inutile l'hypothèse du vide. La supposition dynamique de ce que le réel n'est pas uniformément présent de manière homogène dans l'espace est basée sur la nécessaire distinction entre grandeurs extensives et grandeurs intensives.

L'explication mécaniciste, au contraire, ne suppose pas cette différence. En considérant l'homogénéité et l'hétérogénéité du remplissage matériel de l'espace comme issues seulement de l'agrégation de parties de la matière, elle ne prend en considération que la grandeur extensive. L'hypothèse mécaniste, comme l'affirme (Vuillemin, 1955 : 172), « confond extension et matière, grandeurs extensives et intensives, axiomes et anticipations ». L'idéalité transcendantale de l'espace constitue la condition de la distinction possible entre ces deux types de grandeurs. C'est cette idéalité même qui entraîne la phénoménalité de la matière. Si la genèse du continu échappe à la construction géométrique, ceci ne révèle pas pour Kant une fragilité du dynamique, mais les limites que doit s'imposer l'imagination du réalisme géométrique. Ce qui s'impose, par contre, c'est la liberté de l'entendement de penser la diversité de la matière d'une autre manière.

Une raison supplémentaire qui fait de la philosophie dynamique une source d'explication plus adéquate pour Kant est le fait de compter sur l'aide des investigations métaphysiques. Cette aide lui a permis de structurer une connaissance en fonction de lois déterminées, qui consistent à réduire l'apparente variété des forces données à un nombre plus petit, les forces fondamentales, qui expliquent l'effet des autres. Bien que la raison ne puisse s'élever au-delà des forces fondamentales, les investigations d'ordre métaphysique sont utiles à la science, principalement pour la conduire aussi loin que possible dans la recherche de raisons dynamiques explicatives sans cesser de s'appuyer sur le concept empirique de la matière. Pour Kant, ce sont ces raisons qui « seules permettent d'espérer des lois déterminées, donc une véritable cohésion rationnelle des explications ». Grâce à la métaphysique, poursuit Kant, les propriétés de la matière sont considérées « comme dynamiques, et non comme des positions originelles et

inconditionnées, ainsi que le postulerait un traitement simplement mathématique » (Kant, 1985b : 454 ; Ak. IV, 534).

Kant s'élève ainsi, contre la tradition mécaniciste héritée des atomistes grecs, qui considérait l'atome comme le véritable et réellement existant, l'élément indivisible constituant de toute matière. Toutes les qualités sensibles de la matière devraient être expliquées en fonction de la disposition et du mouvement des atomes dans l'espace vide. De ceci résultait une image de la nature qui, par sa simplicité, paraissait aussi claire et convaincante aux yeux des naturalistes des XVIIIe et XIXe siècles. Tout dans l'univers se réduisait à de petites particules en mouvement. C'était l'unique et véritable réalité existante.

C'est au vingtième siècle seulement, avec la mécanique quantique, que la science réussit à se débarrasser complètement de cette vision simpliste et mécaniciste du monde. Bien que de façon moins déstructrice, déjà dans la seconde moitié du siècle dernier, cette image commence à devenir moins pertinente vis-à-vis de la théorie électromagnétique, qui met une autre réalité à la place du rangement des particules dans l'espace vide. Le champ des forces surgit comme l'unique et véritable réalité existante. La nature en tant que résultante de l'interaction entre les champs de forces était moins facilement compréhensible que l'idée mécaniciste de la réalité, propre à l'atomisme. Les critères mathématiques de Descartes de clarté et d'évidence ne s'appliquent pas immédiatement et l'image du monde semble devenir beaucoup moins intuitive.

Lorsque Kant déclare seul, au XVIIIème siècle, que la réalité des objets externes est une interaction entre des forces motrices fondamentales, il est beaucoup plus proche d'une vision actuelle de la science que d'une fausse interprétation de la réalité physique. La substitution de l'image atomiste par la pensée dynamiste confirme une tendance contemporaine suivie par la science au dix-neuvième siècle. Néanmoins, nous allons voir dans la suite de ce travail que la mécanique quantique bouleversera toute tentative d'attribution de réalité au domaine microscopique de la constitution de la matière.

Ainsi, on ne peut pas simplement affirmer que la conception kantienne de la structure de la matière n'a rien à voir avec le développement de l'activité scientifique. Kant introduit effectivement quelque chose de nouveau quand il affirme que la matière ne remplirait pas un espace en vertu uniquement de son extension, comme le pensaient Lambert et Descartes. Solidité et impénétrabilité ne sont plus des propriétés

fondamentales qui par elles-mêmes justifient le remplissage de l'espace par la matière. Kant prétend dériver ces propriétés à partir d'un principe plus fondamental. Dire qu'un principe est fondamental signifie affirmer qu'il ne peut dériver d'aucun autre. Nous ne pouvons, ainsi, comprendre la possibilité des forces motrices justement parce qu'elles sont fondamentales.

La supériorité donc du dynamique sur le mécanicisme se révèle dans la supposition que l'explication sur la nature de la matière se base sur un principe et non sur une image. Et, à notre avis, c'est le point le plus important. La richesse de la métaphysique kantienne consiste exactement à introduire un débat épistémologique sur les fondements qui structurent les lois scientifiques.

3.2.2. Le principe de la divisibilité infinie

La théorie dynamique a comme conséquence naturelle de ses principes la proposition qui affirme la divisibilité infinie de la matière. Nous devons revenir à la Dialectique Transcendantale, précisément à la deuxième antinomie, pour éclairer l'interdiction que la *Critique* aurait réalisée au sujet de cette proposition. Il ne s'agit pas maintenant de confronter deux théories scientifiques rivales, comme c'était le cas du dynamisme et du mécanicisme. Nous allons ici examiner les deux ordres d'affirmations qui apparemment portent sur le même contenu mais qui appartiennent à des domaines théoriques différents, le métaphysique et le scientifique.

Pour reconstituer le terrain scientifique où cette affirmation est rendue possible, il est nécessaire de suivre d'abord les démonstrations réalisées par Kant du théorème de la divisibilité infinie. Deux preuves ont été développées : une ostensible ou directe, l'autre apagogique.

Le théorème 4 affirme « la matière est *divisible à l'infini,* et ce en parties dont chacune à son tour est matière » (Kant, 1985b : 409 ; Ak. IV, 503). Kant entreprend la première démonstration de ce théorème en considérant initialement que la matière est impénétrable, en fonction de sa force expansive primordiale. Celle-ci, à son tour, est le résultat des forces répulsives que chaque partie de la matière imprime sur les autres, en

les repoussant, et par conséquent, étant repoussée par elles. Pour cette raison, la matière remplit un espace qui est géométriquement divisible à l'infini.

Si chaque partie de la matière subit l'action d'une force, elle est, par conséquent, mobile par elle-même. Un mobile, selon la définition adoptée par Kant est justement ce qui peut subir l'action de la force. Ce qui alors va caractériser la substance matérielle et la rendre distincte de l'espace qu'elle occupe est sa mobilité. Par substance, Kant veut désigner « le sujet ultime de l'existence, c'est-à-dire ce qui n'appartient pas comme simple prédicat à l'existence d'une autre chose » (Kant, 1985b : 408-9 ; Ak. IV, 503). La matière est ce qui appartient à l'existence d'une chose, la rendant distincte de l'espace, qui n'est pas quelque chose de réel, mais la condition formelle d'appréhension des choses existantes. Dans la relation de connaissance, l'espace appartient à l'essence des choses et la matière à l'existence. Ce qui fait que la matière soit appelée substance matérielle, c'est-à-dire, ce sujet ultime de l'existence, c'est justement sa mobilité. Par la définition, « une *substance matérielle* est ce qui dans l'espace est mobile pour soi, c'est-à-dire indépendamment de tout ce qui existe d'autre en dehors d'elle dans l'espace» (Kant, 1985b : 408 ; Ak. IV, 502). Ainsi, la matière, en tant que substance, ne dépend pas de sa relation avec les autres matières. En se présentant isolée de l'influence de tout ce qui existe dans l'espace et autour de lui, elle ne peut, cependant, servir de prédicat à d'autres matières.

En accord avec cette définition, toutes les parties de la matière devront aussi être appelées matières, car, si nous pouvons affirmer que chaque partie de la matière est à son tour mobile par elle-même, les parties sont aussi substances. De la même façon que l'espace ne se compose pas de points, mais d'espaces, la matière se compose de matières, et de cette façon, Kant est amené à considérer la matière comme un tout continu.

A la suite de sa démonstration, Kant considère que, chaque partie de la matière étant mobile par elle-même, les parties sont séparables les unes des autres par division physique. Comme la matière remplit un espace géométriquement divisible à l'infini, la division physique pourra aussi s'étendre à l'infini étant donné que l'espace est pleinement occupé par la matière. Kant conclut donc « toute matière est divisible à l'infini et, cela en parties dont chacune est à nouveau une substance matérielle » (Kant, 1985b : 410 ; Ak. IV, 504).

Il est important de souligner la différence établie entre divisibilité géométrique et séparabilité physique. Sur cette distinction se dessine une première divergence entre cette preuve et celle développée pour l'antithèse de la deuxième antinomie. A ce propos Kant affirme :

> En démontrant la divisibilité infinie de l'espace, on est loin d'avoir prouvé celle de la matière, tant qu'on n'a pas montré préalablement qu'en toute partie de l'espace il y a de la substance matérielle, c'est-à-dire qu'on y trouve des parties mobiles pour elles-mêmes (Kant, 1985b : 410 ; Ak. IV, 504).

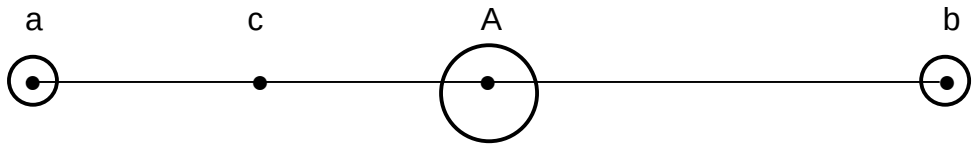
Ainsi, pour Kant, la divisibilité physique cesse d'être contenue analytiquement dans la divisibilité géométrique. Alors que la première suppose la seconde comme sa condition, en aucune manière on ne peut déduire l'une en fonction de la démonstration de l'autre. D'où la nécessité du théorème 4. Dans la preuve de l'antithèse de la deuxième antinomie, pour réfuter la thèse de l'existence du simple, Kant recourt à la doctrine de l'espace. Il conclut que comme l'espace la matière serait divisible à l'infini, car si l'espace ne se compose pas d'éléments simples, il en est de même du réel qui occupe cet espace. Au niveau de la dynamique, quelque chose de nouveau apparaît. Kant ne démontre pas la divisibilité infinie de la matière par celle de l'espace. Il est nécessaire, auparavant, de prouver que l'espace est pleinement rempli, ce qui se produit seulement dans « les Principes Métaphysiques de la Dynamique », à partir de la considération des forces motrices fondamentales.

La critique de Kant à l'encontre de la non distinction cartésienne entre extension et matière réapparaît ici. Tant Descartes que Lambert affirment que la matière remplit un espace en vertu uniquement de son extension. C'est pourquoi, les concepts d'extension et de matière se confondent et on ne peut pas différencier les expressions « occuper un espace » et « remplir un espace ». Il existe chez Kant une explication dynamique pour le remplissage de l'espace. Les forces motrices essentielles rendent possible la différenciation fondamentale entre objet géométrique et objet physique. Nous pouvons, à nouveau, noter, comme nous l'avons mis en évidence dans le second chapitre, que c'est l'intervention du mouvement qui trace la ligne de démarcation entre les principes de l'entendement pur et les principes métaphysiques de la science de la nature, entre essence et existence et, particulièrement, entre les principes métaphysiques de la dynamique et le principe des anticipations de la perception. C'est alors le principe

sensible de la mobilité qui permet de caractériser la matière comme substance matérielle et de conclure que, les parties étant mobiles par elles-mêmes, elles sont aussi substances et, par conséquent, matières. De là, résulte la distinction entre divisibilité essentielle géométrique et séparabilité existentielle physique.

Afin de ratifier la véracité du théorème 4, Kant réalise une autre démonstration, apagogique, en considérant la thèse de la monadologie physique, dont il est lui-même l'auteur. L'œuvre, *Metaphysicae cum geometria junctae usus in philosophia naturali, cujus specimen I continet monadologiam physicam*, a été publiée en 1756, dans sa période pré-critique.

Initialement, Kant prend comme hypothèse l'idée que la matière est composée de points physiques indivisibles, monades, dans un espace infiniment divisible. La démonstration consiste à réduire cette hypothèse à l'absurde. Kant entreprend la preuve en considérant : A, la place d'une monade dans l'espace ; a ou b, un point de résistance à la pénétration d'une monade extérieure ; aA, le rayon de l'action de sa force répulsive, c, un point mathématique quelconque situé entre A et a.



Kant considère alors que, si A résiste à ce qui veut pénétrer en a, c doit résister aux deux points, A et a. Cas contraire, A et a se rencontreraient en c et l'espace serait pénétré. Si l'espace n'est pas pénétré, il doit exister quelque chose en c qui résiste à la pénétration de A et de a. c est un point de résistance, donc, un mobile dans l'espace et, par conséquent, une matière, ce qui contredit l'hypothèse. Le raisonnement peut se poursuivre indéfiniment par des points situés entre A et c, menant à la conclusion qu'il n'y a pas de vides à l'intérieur de la matière. Elle est ainsi considérée comme un tout continu.

La cohérence de cette preuve se base sur la supposition antérieure que la force répulsive est superficielle en agissant toujours dans le contact. Toutefois, cette démonstration apagogique me semble assez problématique. Kant lui-même avait précisé dans la quatrième section du premier chapitre de sa « Doctrine Transcendantale de la méthode» (B810-22 ; Ak III, 509-516), que les preuves apagogiques ne sont utilisées de façon appropriée qu'en mathématique, où la fausseté d'une hypothèse amène nécessairement à la conclusion de la véracité de la proposition contraire. Elles n'ont pas de rôle ni en philosophie ni en physique. En philosophie, il n'est même pas licite d'utiliser ce type de preuve, car il peut arriver que deux propositions opposées se contredisent si elles sont fondées sur une condition subjective faussement considérée comme objective. Avec une pré-condition fausse, les deux propositions peuvent être fausses, ne permettant pas de conclure à la véracité de l'une en fonction de la fausseté de l'autre. C'est justement ce qui est arrivé dans la démonstration des antinomies mathématiques. Dans la science de la nature, dont une l'intuition empirique doit toujours être supposée, il est possible d'éviter qu'une condition soit faussement prise comme objective à travers la réalisation d'une série d'expérimentations. Dans ce cas, la preuve apagogique est considérée sans importance.

Dans la situation où se trouve Kant, à mi-chemin entre sa philosophie transcendantale et la science de la nature proprement dite, sa démonstration apagogique peut paraître un peu ambiguë. Kant court ici le risque de provoquer une illusion, qu'il avait lui même critiquée.

Mais ce qui importe pour notre travail ce n'est pas tant la pertinence de la preuve apagogique, que la possibilité offerte par la philosophie de la nature kantienne d'atteindre la connaissance à laquelle se réfère la constitution élémentaire de la matière, nous permettant d'éclaircir quelques conclusions issues de la Dialectique Transcendantale.

Il convient de souligner que la monadologie physique, considérée par Kant dans cette preuve, est distincte de l'atomisme rigoureux. L'atomisme ne permet pas de comprendre la divisibilité infinie de l'espace. Une fois admis que l'espace est composé de points simples, de la même façon que la matière est composée de parties simples, l'atomisme introduit une confusion de représentations, qui n'a rien à voir avec la géométrie. D'où l'avantage du leibnizianisme et de la monadologie sur l'atomisme

courant, car, en considérant les monades physiques dans un espace géométrique infiniment divisible, il permet l'union entre la géométrie et la physique.

Vuillemin (1955 : 157) attire notre attention sur le fait que les conciliations entre la physique et la géométrie réalisées dans la monadologie « ne reposent que sur une contradiction plus profonde, par laquelle on suppose que les objets réels sont affranchis des conditions de possibilité de l'expérience dans l'intuition spatio-temporelle ». La monadologie se base sur la conception de la chose en soi appartenant à une réalité plus essentielle. L'atomisme, cependant, considère que les atomes ne se réfèrent pas à une réalité donnée en soi, mais à des phénomènes et, par conséquent, ils sont des objets qui se présentent à notre perception. Ainsi, l'atomisme, malgré ses incohérences, conserve, selon Vuillemin, une rigueur logique, pour admettre comme principe l'identité transcendantale entre les conditions formelles de l'intuition et les conditions de possibilité de l'objet de l'expérience. « L'atomisme, dit Vuillemin (1955 : 157), fait un mauvais usage du principe, pendant que le leibnizianisme l'ignore ».

Kant, cependant, préserve Leibniz de cet embarras, en affirmant qu'une telle erreur n'est pas présente dans la monadologie, mais dans sa fausse interprétation. Cette œuvre de Leibniz, selon Kant, se réfère à un concept platonique de l'univers, développé comme une chose en soi, et sur laquelle se fondent les phénomènes des sens. Toutefois, l'espace n'enserre pas ce monde des choses en soi, mais seulement le monde des phénomènes. L'espace est, pour Leibniz également, la forme de notre intuition sensible externe. Si les monades de Leibniz ne sont pas soumises aux conditions de possibilité de l'expérience, nous ne pouvons en aucune façon dire qu'elles occupent dynamiquement l'espace comme objet réel.

Néanmoins, en se rapportant à la monadologie physique, Vuillemin (1955 :159) observe qu'« en faisant physique la monade, Kant s'interdisait le jeu leibnizien entre monde spirituel et monde extérieur, et préparait obscurément la réduction de la monadologie à l'atomisme ». Comme nous l'avons déjà considéré, dans la remarque à la thèse de la deuxième antinomie Kant établit la distinction entre *monade*, dans le sens leibnizien, « du simple qui est *immédiatement* donné comme substance simple (par exemple dans la conscience de soi) », et *atome*, ce qui est donné « comme élément du composé » (A442/B470 ; Ak III, 306). Quand alors il utilise le mot 'monade' c'est à ce dernier sens qu'il se réfère. Si la monadologie physique est destinée à rendre compte du

monde réel, sa cohérence interne est donnée par l'atomisme. Cependant, le système de Leibniz aussi bien que la monadologie physique de Kant apparaissent maintenant pour lui comme des théories d'idées du monde et non comme des théories de possibilité de l'expérience.

Des démonstrations du théorème 4, se détache la différence entre le concept d'un objet même et l'argument nécessaire à la construction du concept. L'idée d'un écart entre les parties, même infiniment petit, est admise pour la construction du concept. Toutefois, ceci ne signifie pas que les parties sont réellement éloignées les unes des autres, appuyant la thèse de la théorie monadiste. Les parties, dit Kant, « forment toujours un *continum,* quel que soit l'agrandissement de l'espace total, et bien que la possibilité de cet agrandissement ne puisse être rendue perceptible que grâce à l'idée d'un éloignement infiniment petit» (Kant, 1985b : 412 ; Ak. IV, 505).

Kant ébauche la solution de notre problème, en faisant la distinction entre affirmation dogmatique métaphysique et affirmation phénoménale physique en ce qui concerne la constitution de la matière. Cette distinction nous permet d'apprécier les différents niveaux d'affirmation qui se trouvent dans le théorème 4 de la Dynamique et de la deuxième antinomie de la Dialectique Transcendantale.

Selon Kant, le théorème 4 contient une affirmation essentiellement physique sur l'infinie divisibilité de la matière. Toutefois, les métaphysiciens extraient une conclusion dogmatique à partir de ce théorème, allant au delà des limites et des domaines de la physique, à savoir, « la matière se compose d'une quantité infinie de parties ». Si la totalité est admise comme une chose en soi, cette affirmation est, pour Kant, sans doute vraie. Cependant, il voit une contradiction dans l'idée d'une quantité infinie comme quelque chose entièrement complet. Ceci étant, on ne peut croire que la matière et l'espace soient composés d'un nombre infini de parties. Nous sommes confrontés alors au dilemme suivant où l'espace n'est pas divisible à l'infini, où il n'est pas la propriété d'une chose en soi – où nous divergeons des géomètres, ce qui est dangereux, ou des métaphysiciens. Si nous voulons affirmer, avec les premiers, que l'espace est divisible à l'infini, nous ne pouvons pas le considérer comme propriété d'une chose en soi.

La matière est un simple phénomène de nos sens externes et l'espace, la forme de notre intuition sensible externe. Ainsi, quand nous affirmons que la matière est

divisible à l'infini, nous faisons une affirmation au niveau phénoménal, une affirmation physique, démontrée par le théorème 4. Toutefois, l'affirmation selon laquelle la matière se compose d'une quantité infinie de parts est une affirmation dogmatique, qui se rencontre dans la sphère des choses en soi. Pour Kant, il n'est pas correct d'affirmer que l'espace est composé de points. L'espace, comme cela a été dit plusieurs fois dans la *Critique de la raison pure*, se compose seulement d'espaces et les points ne sont que des conditions limites ou de simples conditions qui le restreignent. Maintenant, avec la Dynamique, la portée d'une telle affirmation devient beaucoup plus claire. Nous pouvons, sans doute, admettre que tant l'espace que la matière se composent d'un nombre infini de parties. Toutefois, il est impossible de construire une telle affirmation dans l'intuition. Dans ce cas, la proposition se transforme en un *dogma*, autrement dit, en une proposition synthétique directement dérivée de concepts, et n'est plus un *mathema*, c'est-à-dire, une proposition directement dérivée de la construction de concepts. Comme nous venons de le voir, ce qui distingue, pour Kant, une connaissance philosophique d'une connaissance mathématique est que, dans celle-ci, les concepts sont construits dans l'intuition, alors que, dans la philosophie, les propositions sont élaborées de façon discursive par de simples concepts. Ainsi, Kant définit la connaissance philosophique comme discursive par des concepts, l'universel étant toujours considéré *in abstracto*, et le mathématique comme intuitif par construction de concepts, possédant l'avantage de représenter l'universel *in concreto*, à travers une intuition singulière (Ak III, 481-2).

L'exemple du triangle nous permet d'élucider ces différences méthodologiques. On peut le représenter soit à partir d'une pure imagination dans l'intuition pure, soit dans l'intuition empirique, quand on le dessine sur un papier. Il est cependant possible de construire le concept général du triangle empiriquement sans préjudice de son universalité. Dans le cas que nous considérons, il est complètement impossible de construire dans l'intuition le concept d'espace par une composition infinie de points. Cependant, il est possible, dogmatiquement, de discourir autant qu'on le souhaite sur l'infinité de points qui composent l'espace à travers de simples concepts. Mais dans ce cas, aucune autre propriété qui ne se trouve déjà dans ces concepts ne pourra être retenue. Ce procédé se montre, ainsi, stérile. La connaissance n'évolue pas vers quelque chose de neuf réellement synthétique. La philosophie peut, sans aucun doute, traiter de

concepts comme ceux des mathématiques. Ce n'est pas tant les objets qui différencient ces deux disciplines, que la façon de les traiter : la distinction s'avère formelle et non matérielle. Toutefois, les mathématiques ne peuvent agir avec les concepts universels sans se précipiter pour consulter l'intuition, qui les considère *in concreto*, par la construction réalisée à partir d'eux.

Si nous ne pouvons géométriquement affirmer que l'espace se compose d'un nombre infini de points, nous pouvons encore moins étendre cette idée au domaine phénoménal de la construction de la matière. Ainsi, Kant déclare:

> Concernant les phénomènes dont la division va à infini, on peut seulement dire qu'il n'y a de parties du phénomène qu'autant que nous en donnons, c'est-à-dire aussi loin que nous voulons pousser la division.
> En effet, les parties qui appartiennent à l'existence d'un phénomène n'existent que dans la pensée, c'est-à-dire dans la division même. Or la division va sans doute à l'infini, mais elle n'est cependant jamais donnée comme infinie. Aussi, de ce que la division va à infini, il ne s'ensuit pas que l'objet divisible contienne une multitude infinie de parties *en soi* en dehors de notre représentation. (Kant, 1985b : 414 ; Ak. IV, 507).

L'origine de cette confusion est due, cependant, à une interprétation erronée que les métaphysiciens font du théorème de la divisibilité infinie de l'espace. En considérant l'espace comme propriété des choses en soi, indépendant de notre faculté de représentation, ils se permettent de représenter l'espace par des points et la matière par des parties simples, pensant rendre le concept plus net.

Une autre distinction devient également important pour l'élucidation de notre problème, celle rapportant l'altérité entre composé nouménal et composé phénoménal. Kant à ce propos affirme :

> dans *les choses en soi*, *le composé* doit être constitué par le simple, car ici les parties doivent être données avant toute composition. Mais, *dans le phénomène, le composé* n'est pas constitué par le simple ; car le phénomène ne saurait jamais être donné autrement que comme composé (comme étendu), ses parties par conséquent non comme antérieures au composé, mais seulement en lui. (Kant, 1985b : 416 ; Ak. IV, 508).

Ainsi, les affirmations de la deuxième antinomie dialectique se différencient essentiellement des affirmations de la dynamique, car dans celle-ci la matière est constituée comme un composé phénoménal, alors que dans la dialectique elle se réfère à un composé nouménal. L'illusion transcendantale de la thèse et de l'antithèse, qui amène nécessairement à un conflit, ne compromettra pas, cependant, les principes dynamiques, justement parce que les affirmations appartiennent à des domaines différents. Dans la thèse, le composé est pris comme composé d'une chose en soi, alors que, dans l'antithèse, l'illusion surgit quand on pense dogmatiquement la divisibilité de la matière à l'infini, sur la forme d'un infini donné *a priori*. Les deux ont pour base la conception de l'espace comme propriété des choses en elles-mêmes, et non comme forme de l'intuition sensible externe.

3.3 Illusion dialectique et détermination scientifique sur la nature de la matière

Bien que les principes de la deuxième antinomie dialectique ainsi que ceux de la dynamique de la métaphysique de la nature se rapportent à la constitution élémentaire de la matière, les premiers sont des principes trompeurs, qui provoquent une illusion transcendantale, alors que les seconds font partie d'un champ qui se constitue comme scientifique. La différence entre eux se justifie en fonction de l'absence de base empirique pour soutenir les principes dialectiques. Même si ces principes concernent la synthèse des phénomènes, son usage ne s'appuie jamais sur l'expérience, ce qui provoque l'illusion d'une application de l'entendement pur. La raison, dans l'exercice d'une fonction essentiellement logique, celle de l'auxiliaire de l'entendement dans la recherche d'une condition plus élevée qui fonde une donnée empiriquement conditionnée, fait un saut transcendantal et considère la série totale inconditionnée de la synthèse des phénomènes comme donnée également. La nécessité subjective d'une certaine connexion logique entre les concepts de l'entendement est prise, alors, comme nécessité objective de détermination des choses comme données en elles-mêmes.

Les idées cosmologiques de la raison présupposent comme données non seulement l'objet d'un concept déterminé, mais aussi la totalité de la synthèse empirique

requise pour le concept. Comme la totalité absolument inconditionnée de la synthèse des phénomènes n'est possible par aucune connaissance empirique, elle n'a rien à voir avec les principes d'une expérience possible. La contradiction surgit lorsque le phénomène est pris comme donné en lui même, et non comme une représentation donnée dans l'intuition, celle-ci nécessairement sensible.

Ce que, au contraire, le principe dynamique de la divisibilité infinie de la matière affirme est que la régression dans la synthèse de la matière en tant que phénomène s'étend *in infinitum*. La division de la matière se continue aussi loin quand on veut poursuivre dans la série des conditions empiriques. Ce qui ne signifie pas, cependant, que la série des conditions soit donnée infiniment dans l'objet. Il y a donc, une grande différence entre la régression empirique, qui admet toujours l'existence de nouveaux membres dans la série, empiriquement donnés, qui peuvent être atteints au moyen d'une décomposition quelconque, et la régression inconditionnée postulée par l'antithèse de la deuxième antinomie, qui admet la synthèse comme infiniment donnée.

Les principes de la dynamique mettent en évidence que les conditions requises pour l'explication d'un phénomène doivent être données dans la perception, même si cette perception n'est pas immédiatement présente. On peut admettre une donnée qui ne soit jamais perçue, du moment qu'elle fait partie d'un contexte qui se réfère à une perception quelconque et qu'elle est connectée selon les lois de la progression ou de la régression empirique. Il s'agit, alors, d'une perception non donnée, mais possible, qui pourtant ne cesse pas d'être réelle, car seule l'expérience possible peut donner réalité aux concepts.

Le principe de la divisibilité infinie de la matière suppose, donc, la considération de la matière en tant que composé phénoménal. Dans celui-ci, les parties ne sont pas données en soi avant la décomposition, mais seulement en elle. Les partie ne sont possibles que dans la régression de la série qui est nécessairement empirique. Les principes cosmologiques de la division matérielle, au contraire, se réfèrent à un ensemble de choses en soi, où les parties sont déjà données, en dehors de la régression de l'expérience.

Le théorème de la division infinie suppose aussi la considération de la matière comme un *quantum continuum*. Cependant, ceci ne signifie pas que l'interprétation qui lui est opposée soit en dehors du champ de la science. Lorsque Kant a discuté des

interprétations dynamique et mécaniciste de la constitution de la matière, il n'a pas placé la théorie mécaniciste au même niveau que les idées cosmologiques. Comme nous l'avons montré antérieurement, sa divergence par rapport au mécanicisme ne réside pas dans le fait que la matière n'est pas considérée comme composé phénoménal. La méthode critique, en principe, n'interdirait pas la connaissance dans le champ d'une théorie atomique de la matière, du moment que le composé substantiel n'est pas considéré comme un noumène.

Considérer la substance comme un phénomène et non comme une chose en soi signifie pouvoir représenter un corps comme une substance dans l'espace, c'est-à-dire, une substance qui est donnée dans l'intuition sensible et dans laquelle aucun inconditionné ne peut être lui attribué. L'affirmation que la matière est divisible à l'infini assume, dans la *Critique*, la fonction d'un principe purement méthodologique. Il prescrit simplement que la régression empirique de la décomposition d'un tout donné dans l'intuition ne pourra jamais être considérée comme absolument complète. Les limites de l'expérience peuvent toujours être repoussées, mais jamais outrepassées, comme le prétendent indûment les affirmations des antinomie. Par exemple, dans les affirmations antinomiques telle que 'le tout est constitué des parties infinies' ou encore 'le tout est organisé à l'infini', le problème est qu'il y a un saut vers la substance conçue non comme phénomène mais comme noumène. La quantité de parties, même infinie, se trouve déjà déterminée en elle-même. Dans ce sens, Kant affirme :

> En effet, l'infinité de la division d'un phénomène donné dans l'espace se fonde uniquement sur ce que, par ce phénomène, est donné simplement la divisibilité, c'est-à-dire une multitude de parties absolument indéterminée en soi, tandis que les parties elles-mêmes ne sont données et déterminées que par la subdivision, en un mot sur ce que le tout n'est pas déjà divisé en lui-même. (A526/B554 ; Ak III, 359).

La quantité de parties qui composent un tout déterminé dépendra exclusivement de l'expérience, c'est-à-dire, jusqu'où on prétend qu'il est possible d'aller dans la régression empirique de la décomposition. Si les parties d'un composé quelconque sont déjà distinctes par l'expérience, il sera considéré comme un *quantum discretum* et la règle de la divisibilité infinie ne s'applique plus. Il est alors possible d'associer un nombre à ces parties discrètes et les parties d'un phénomène sont alors analysées d'une

façon extensive, ou alors, comme quantités de l'unité, et non intensivement. A ce propos, Kant affirme :

> Mais de savoir jusqu'où s'étend la division transcendantale d'un phénomène en général, ce n'est point l'affaire de l'expérience, mais un principe de la raison qui veut que l'on ne tienne jamais pour absolument achevée la régression empirique dans la décomposition de ce qui est étendu, conformément à la nature de ce phénomène. (A527B555 ; Ak III, 360)

La méthode transcendantale considère que les deux idées cosmologiques mathématiques, l'une qui s'applique à la complétude absolue de la composition de l'ensemble donné de tous les phénomènes et l'autre à la complétude absolue de la division d'un ensemble donné dans le phénomène, doivent être considérées comme des règles méthodologiques, et non comme des principes constitutifs des choses en soi. Le conflit dans les antinomies surgit exactement quand de tels principes sont conçus en termes de choses et non en termes de méthodes. Le principe cosmologique de la totalité, tant de la composition que de la division, ne peut fonctionner comme un principe constitutif de la raison, qui permet d'amplifier le concept du monde des sens au-delà de toute expérience, admettant comme donné en soi tant le monde que la totalité inconditionnée de la série de ses conditions. Toutefois, le principe cosmologique de la totalité peut fonctionner comme règle qui prescrit une continuité et une amplification maximale possible de l'expérience, dans laquelle aucune limite ne doit valoir comme absolue. Kant l'intitule, dans ce cas, un principe régulateur de la raison, un principe « qui postule *comme règle* ce qui doit arriver de notre fait *dans la régression* et *n'anticipe* pas ce qui est donné en soi *dans l'objet* antérieurement à toute régression» (A509/B537 ; Ak III, 349).

Le principe régulateur ne nous autorise pas à dire ce que l'objet est, mais comment la régression empirique doit s'exécuter. Dans l'usage régulateur, le principe de raison cesse d'être dialectique et se transforme en un principe méthodologique, dans la mesure où il est capable de résoudre le conflit de la raison avec elle-même, et aussi de pouvoir réellement se placer au service de l'entendement dans la recherche d'une continuité et d'une amplification maximale de l'expérience.

Nous devons, ainsi, prendre en compte les différences d'affirmation d'un principe contenu dans la *Critique de la raison pure* et de celle contenue dans la

« Dynamique » de la Métaphysique de la Nature. Le théorème 4 n'a pas le statut d'un principe régulateur de la raison, mais d'un principe constitutif de l'expérience. Toutefois, c'est un principe constitutif qui ne s'assimile en aucune façon aux propositions des antinomies. Dans celles-ci, l'objet est constitué comme une chose en soi, tandis que, dans la dynamique de la science de la nature, l'objet se constitue comme phénomène, soumis aux conditions spatio-temporelles de l'intuition sensible.

PARTIE I

Conclusion

Solution du paradoxe entre l'antinomie dialectique et le théorème dynamique sur la constitution de la matière

Le paradoxe qui s'établissait initialement entre les idées dialectiques de la deuxième antinomie et les principes dynamiques de la science de la nature, tous deux concernant la constitution élémentaire de la matière, a été éclairci à partir de la compréhension de la Critique en tant que traité de la méthode. Une méthode qui a plusieurs fonctions : de permettre de distinguer une connaissance véritable de celle qui ne l'est pas ; de pacifier le conflit dialectique de la raison ; de fonder philosophiquement les principes de la science ; de justifier l'intérêt transcendantal de la raison pure ; et de lancer les bases pour les principes de la raison pratique.

L'interprétation de H.Cohen nous a apporté des éléments pour éviter toute sorte d'analyse précipitée et superficielle imposée par les limites transcendantales de la spéculation de la raison. Elle nous a permit de voir que ce qui est en jeu dans les antinomies mathématiques est que le conflit n'est pas inhérent aux idées, mais dépend de la façon dont ces idées se présentent dans la relation de connaissance. A partir de la confrontation entre les deux œuvres de Kant, cette première partie de notre travail s'est proposé de discuter le paradoxe entre la deuxième antinomie et les principes dynamiques, en concluant qu'il n'est qu'apparent, et ne constitue pas une incohérence de la philosophie kantienne.

La compréhension de la *Critique de la raison pure* comme méthode trouve dans le principe de la grandeur intensive le fondement de toute l'expérience dans sa possibilité, ainsi que la justification d'une science mathématique de la nature. Il se présente ainsi en tant que noyau fondamental de la méthode transcendantale. Dans la sphère de l'Analytique, ce principe, nommé « anticipations de la perception », se présente comme un principe constitutif de l'intuition, autrement dit, une règle qui se réfère à la constitution même de la matière du phénomène. Dans la Dialectique, domaine de la raison, le principe de grandeur intensive s'établit sous la forme du

principe mathématique cosmologique de la totalité, dont la base repose sur l'idée méthodologique de l'infini sériel. Dans cette sphère, il se place comme un principe régulateur de la raison, qui permet l'amplification maximale de l'usage de l'expérience, en même temps qu'il empêche l'adoption d'une limite empirique comme absolue. Dans le champ de la métaphysique de la science de la nature, le principe de la grandeur intensive prend corps, dans la Dynamique, comme principe constitutif de la science. Kant réalise la synthèse entre ce qui est permis à l'entendement d'anticiper et ce qui advient nécessairement de la perception, ou entre un jugement formel *a priori* et un contenu matériel donné a posteriori. La synthèse se fait sous la présupposition de la continuité intensive. A la règle formelle selon laquelle toute réalité de la matière des phénomènes possède un degré d'occupation de l'espace, Kant ajoute quelque chose qui doit être donné par la perception empirique elle-même.

Il développe alors ce qui dans la *Critique* ne faisait partie de l'expérience que comme possibilité. Les principes d'une science de la nature nécessaire et universelle doivent se fonder sur deux pôles, d'une part, les jugements formels *a priori*, de l'autre, le donné matériel empirique, ce qui amène à la synthèse d'une science empirique, structurellement mathématique. Une théorie qui privilégie seulement l'intuition sensible pure peut nous entraîner dans l'abus de l'imagination en constituant une science essentiellement mathématique, mais, sans aucun lien ou donnée empirique. Il s'agit là de la critique de Kant à la théorie mécaniciste de la matière. Par le biais méthodologique du principe de la grandeur intensive, nous montrons comment Kant, dans le chapitre de la « dynamique » des *Premiers Principes Métaphysiques de la science de la Nature*, à travers ce principe, se positionne contre la capacité d'imagination mathématique à construire des théories dans les limites de l'intuition pure, sans aucun apport empirique. Le principe de la grandeur intensive apparaît ici comme une méthode qui permet de distinguer une hypothèse simplement mathématique d'une hypothèse physique.

L'adhésion à la théorie dynamique, suppose donc comme fondement le principe de la grandeur intensive et découle de la structure de la méthode transcendantale elle-même. Cette théorie nous offre l'opportunité d'apprécier un usage différent d'un tel principe, l'appliquant à la sphère de la métaphysique de la nature. Au-delà de servir au développement de l'interprétation dynamique de la matière, elle a fonctionné, pour nous, comme règle permettant d'élucider les différences entre les affirmations des

antinomies dialectiques et celles de la métaphysique de la nature, établissant des critères qui proviennent des deux postures méthodologiques essentiellement distinctes de ces affirmations. La première conduira à un conflit insoluble de la raison avec elle-même. La seconde permettra de construire les fondements qui sont à la base de la connaissance scientifique, les principes premiers. Ceux-ci n'étant pas des principes proprement scientifiques, sont appelés métaphysiques, dans le sens positif du terme que Kant leur a attribué.

Avec le principe de grandeur intensive, il devient évident que les conflits dialectiques surgissent parce qu'ils s'ancrent dans une méthodologie équivoque, celle de considérer les choses comme si elles étaient des choses en soi et non comme elles se présentent à notre intuition. Ce changement de référentiel est le trait marquant de la révolution copernicienne de Kant, qui détermine que l'objet se conforme nécessairement aux conditions du sujet.

Le même ordre de confrontation, entre le niveau dialectique et scientifique, qu'on a vu pour les affirmations sur la constitution de la matière, semble apparaître autour des discussions de la première antinomie, sur la possibilité ou non de la connaissance, en ce qui concerne les limites du monde dans le temps et dans l'espace. Ilya Prigogine et Isabelle Stengers (1988 : 145-6), par exemple, dans leur livre *Entre le temps et l'éternité*, accusent Kant d'avoir interdit à la science la tâche de l'investigation sur l'origine de l'univers.

Nous avons montré, en nous appuyant sur l'interprétation de H. Cohen, que l'interdiction formulée par Kant dans la dialectique transcendantale n'est pas constitutive mais méthodologique. En réalité, Kant ne juge pas la non viabilité des connaissances, que ce soit dans le domaine de la cosmologie, ou dans celui de la structure de la matière, mais l'impossibilité de prendre les objets de ces sciences comme constitués en eux-mêmes, indépendamment des conditions de l'intuition sensible. Ce qui s'établit dans les antinomies mathématiques est un conflit de méthodes non de choses. C'est pour cela que notre travail consiste jusqu'à un certain point, à rechercher l'extension de cette thèse cohenienne, à la lumière de la philosophie de la nature de Kant .Nous pensons que ces problèmes méritent une explication soigneuse, sous peine de compromettre la compréhension non seulement des *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, mais aussi de la *Critique de la raison pure*.

Notre pari pour la suite de la thèse est que si la mécanique quantique a bouleversé les conditions de la connaissance de la physique, quelque changement profond doit s'opérer dans la structure de la méthode transcendantale. Ainsi les trois grandes divisions de la méthode transcendantale doivent être mises en question. Nous allons suivre ainsi dans l'esthétique transcendantale, les changements concernant la nouvelle place de l'intuition spatio-temporelle. Dans le niveau de l'analytique transcendantale, nous devons examiner les transfigurations vis-à-vis de la théorie quantique des principes *a priori* comme le principe de substance et le principe de causalité, mais aussi le principe des anticipations de la perception. Etant donné la place fondamentale de ce dernier dans la méthode transcendantale, il nous semble qu'il n'a pas été suffisamment analysé. Dans les discussions interminables autour du rapport entre le principe de causalité et la physique contemporaine aucun rôle n'a été attribué au principe des anticipations de la perception. Un de nos objectifs, surtout dans la prochaine partie de ce travail, est de mettre en évidence la méthode transcendantale dans son entièreté afin de mieux comprendre la nouvelle conception d'objectivité instaurée par la nouvelle mécanique. Nous verrons également que concernant la dialectique transcendantale, surtout la deuxième antinomie, cette nouvelle objectivité quantique a .donné un nouveau sens au rapport entre la thèse et l'antithèse de la divisibilité de la matière, comme Heisenberg (1976) lui-même a pu l'envisager :

> Nous devons accepter le fait que les données expérimentales, à une échelle très large ou très petite, ne produisent pas nécessairement des figures, et nous devons apprendre à faire sans elles. Nous arrivons donc à reconnaître que l'antinomie de la dimension très petite est sauvée en physique des particules

d'une façon très subtile, dont ni Kant ni les philosophes anciens pouvaient avoir pensée : le mot 'division' a perdu sa signification.[28]

[28] We will have to accept the fact that experimental data on a very large or a very small scale do not necessarily produce pictures, and we must learn to do without them. We then come to recognize that the antinomy of the smallest dimension is solved in particle physics in a very subtle manner, of which neither Kant nor the ancient philosophers could have thought: the word 'dividing' loses its meaning. (Heisenberg, 1976: 38)

PARTIE II :

Vers la limitation des *a priori* kantiens

The first task of philosophy is to set its own limits.
(Strawson, *The bounds of sense*)

La reconnaissance des limites de nos concepts fondamentaux a entraîné un développement si remarquable de notre science
(Niels Bohr, *Lumière et vie*)

PARTIE II

Introduction

La notion de limitation dans le contexte transcendantal

La notion de limite [*Grenze*] a une fonction fondamentale dans le cadre de la pensée transcendantale. En reconnaissant des limites à la raison humaine, Kant a fait de cette notion le pilier central de sa philosophie critique :

> La plus grande et peut-être la seule utilité de toute philosophie de la raison pure n'est donc sans doute que négative : car elle n'est pas un *organon* qui sert à étendre les connaissances, mais une discipline qui sert à en déterminer les limites, et, au lieu de découvrir la vérité, elle a le modeste mérite de prévenir les erreurs. (Kant 1980d; A795/B823; Ak III, 517)

Le problème de la limite se confond avec le projet même de la philosophie critique, dont l'un des buts est d'aboutir à déterminer les limites de l'usage de notre raison. La redéfinition de la tâche de la philosophie au travers d'une critique de la raison va dans le sens de délimiter l'espace du savoir scientifique théoriquement significatif par rapport à l'espace de la pensée spéculative dans son effort pour poursuivre l'absolument inconditionné. Dans la *Logique*, Kant met en évidence ce rôle majeur de la philosophie:

> La philosophie doit donc pouvoir déterminer :
> 1) la source du savoir humain,
> 2) l'étendue de l'usage possible et utile de tout savoir, et enfin,
> 3) les limites <*Grenzen*> de la raison.
> Cette dernière détermination est la plus indispensable, c'est aussi la plus difficile. (Kant, 1970 : 25 ; Logik, Ak IX, 25)

Depuis Kant la recherche sur les limites de l'usage significatif de la raison est devenue un signe de la démarche critique ou transcendantale. C'est par exemple par le biais de l'investigation des limites que Peter Strawson résume la problématique critique,

dans son essai sur la *Critique de la raison pure*, avec le titre suggestif *The bounds of sense.* Ainsi il affirme :

> Il y a des limites à ce que nous pouvons concevoir, ou rendre intelligible à nous-mêmes, en tant que structure générale possible d'expérience. La recherche sur ces limites, la recherche sur l'ensemble d'idées qui forme le cadre limiteur de toute notre pensée au sujet du monde et de l'expérience du monde, est, évidemment, une entreprise philosophique importante et intéressante. Aucun philosophe n'a fait un plus grand effort là-dessus que Kant.[29]

En fait, le problème de la limite peut être analysé au moins sous deux différents angles : épistémologique et métaphysique. Evidemment la recherche des critères épistémologiques permettant d'établir des frontières fixes entre la science et la métaphysique, ou le savoir et la croyance, ou même entre les différentes régions de la connaissance comme par exemple entre la physique et la mathématique, est l'un des problèmes majeurs de la réflexion kantienne. C'est sans doute ce côté épistémologique qui a été le plus remarqué non seulement par les néo-kantiens de Marbourg mais aussi par des philosophes de la science contemporaine comme Karl Popper. Celui-ci, dans le premier chapitre de la *Logique de la découverte scientifique,* intitulé « Examen de certains problèmes fondamentaux », parvient même à considérer son fameux problème de la démarcation comme le problème de Kant. Selon ses propres mots :

> Trouver un critère qui nous permettrait de distinguer les sciences empiriques, d'une part, et les systèmes mathématiques et logiques, de l'autre, constitue pour moi le *problème de la démarcation*.
> Ce problème fut connu de Hume qui tenta de le résoudre. Il devient avec Kant le problème central de la théorie de la connaissance.
> Si, à la suite de Kant, nous appelons le problème de l'induction « le problème de Hume », nous pourrions appeler le problème de la démarcation « le problème de Kant ». (Popper, 1973 : 30)

---

[29] "There are limits to what we can conceive of, or make intelligible to ourselves, as a possible general structure of experience. The investigation of these limits, the investigation of the set of ideas which forms the limiting framework of all our thought about the world and experience of the world, is, evidently, an important and interesting philosophical undertaking. No philosopher has made a more strenuous attempt on it than Kant". (Strawson, 1966:15)

En revanche, Heidegger (1953), en mettant en relief la condition métaphysique plutôt que celle épistémologique dans son œuvre *Kant und das Problem der Metaphysik,* préfère caractériser le problème de la limite de la raison comme le problème de la finitude humaine[30]. En contraste avec l'interprétation de Marburg (Cohen, Natorp et Cassirer), il conteste la thèse que la *Critique de la raison pure* soit un traité de la méthode ou un traité de la connaissance relative à la science de la nature[31]. Pour lui la première *Critique* de Kant est surtout un traité de métaphysique. Non d'une métaphysique qui discourt sur l'essence des choses en général ou sur la totalité des êtres. Il s'agit d'une métaphysique dont le thème central est justement le problème de la finitude humaine, dans le contexte de laquelle la finitude de la raison est déterminée. La finitude est ainsi la caractéristique essentielle de la nature humaine et non simplement une limitation factuelle. Elle réside dans la structure même de la connaissance. Cela veut dire que pour la dévoiler il faut explorer la structure de la connaissance. Le problème de la limite est ainsi traduit par Heidegger comme le problème de la finitude de la raison[32]. Celle-ci est mise en cause d'abord par la réceptivité de l'intuition, qui limite notre possibilité de connaissance aux phénomènes nous empêchant d'accéder au domaine de l'absolu ou de la chose en soi[33]. Deuxièmement et primordialement elle est

---

[30] « L'intention de la *Critique de la raison pure* est donc foncièrement méconnue lorsqu'on explique cette œuvre comme une « théorie de l'expérience » , ou encore comme une théorie des sciences positives. La *Critique de la raison pure* n'a rien à voir avec une « théorie de la connaissance ». Si l 'on pouvait admettre une interprétation de la *Critique de la raison pure* comme théorie de la connaissance, il faudrait dire : la *Critique de la raison pure* n'est pas une théorie de la connaissance ontique (expérience) mais de la connaissance *ontologique*. Mais même, une telle interprétation, pourtant déjà bien éloignée des explications dominantes à propos de l'esthétique et de l'analytique transcendantales, ne touche pas à l'essentiel. L'essentiel est que cette œuvre fonde et amène pour la première fois à elle-même, l'ontologie comme *metaphysica generalis*, c'est-à-dire comme pièce maîtresse de la métaphysique dans sa totalité. En posant le problème de la transcendance, Kant ne remplace pas la métaphysique par une « théorie de la connaissance » mais s'interroge sur la possibilité intrinsèque de l'ontologie ». (Heiddegger, 1953 : 76-77). Cf. aussi Heidegger (1971) et (1982)

[31] Cf. Cassirer & Heidegger (1972 : 28-51)

[32] « La raison pure *humaine* est, pour l'instauration du fondement de la métaphysique, la source fondamentale, - en sorte que le caractère humain de la raison, c'est-à-dire sa finitude, devient essentiel pour la problématique de l'instauration du fondement. Il convient donc que, en caractérisant le domaine d'origine, nous nous concentrions sur l'explication de l'essence de la finitude de la connaissance humaine. Cependant, la finitude de la raison ne consiste pas seulement et en premier lieu dans le fait que la connaissance humaine manifeste divers défauts tels que l'inconstance, l'imprécision et l'erreur, elle réside dans la structure essentielle de la connaissance elle-même. La limitation facticielle du savoir n'est qu'une conséquence de cette essence ». (Heiddegger, 1953 : 83)

[33] « La finitude de l'homme implique la sensibilité prise au sens d'intuition réceptrice. La sensibilité en tant qu'intuition pure, c'est-à-dire en tant que sensibilité pure, est un élément nécessaire de la structure de

centrée sur l'imagination transcendantale, celle qui permet l'unité de la synthèse de l'aperception en tant que source de l'homogénéisation entre intuitions et concepts. La fonction de l'imagination au travers de l'action des schèmes est de fournir des images à la conceptualisation. Mais il ne faut pas oublier que les schèmes chez Kant ne sont pas les images des objets. Ils sont ce qui rend possible la construction des images dans un espace de configuration qui permet à l'entendement la sensibilisation de ses concepts et à l'intuition la conceptualisation des données empiriques. L'importance majeure attribuée par Heidegger à l'imagination dans son analyse fait du chapitre sur le schématisme des concepts purs de l'entendement le cœur de toute la *Critique*.[34] Une fois qu'il admet que l'imagination transcendantale, dans la forme prise dans le schématisme, est l'essence même de la *critique de la raison* dans son processus de connaissance de soi, il est à un pas de considérer le temps en tant qu'essence de l'être et fondement de la finitude humaine. Cela parce que pour Kant « les schèmes ne sont donc autre chose que des *déterminations du temps a priori* d'après des règles » (Kant, 1980d : 890 ; A145/B184 ; AK III, 138). La temporalité est traduite par Heidegger comme l'essence de la finitude, c'est elle qui limite la raison en faisant une raison sensible.

Cette façon heideggerienne de définir le problème central de la *Critique de la raison pure,* a été fortement critiquée par Cassirer (1972). Cela a été exprimé dans le fameux débat de Davos qui, en 1929, a opposé Cassirer à Heidegger[35]. Pour le néo-kantien, l'analyse phénoménologique de Heidegger est très restreinte à l'analytique transcendantale et surtout à la doctrine de l'imagination productrice, en laissant de côté la dimension régulatrice de la raison, mise en évidence par Kant surtout dans la dialectique transcendantale. Une raison sensible, telle que Heidegger interprète la raison

---

la transcendance caractéristique de la finitude. La raison pure humaine est nécessairement une raison pure sensible. Cette raison pure doit être sensible en elle-même et non pas le devenir du seul fait de sa liaison à un corps en un sens transcendantal, c'est-à-dire métaphysique, que parce que la transcendance est en tant que telle sensible *a priori*. » (Heiddegger, 1953 : 228)

[34] « Le « principe suprême de tous les jugements synthétiques » englobait l'essence totale de la transcendance de la connaissance pure. L'imagination transcendantale s'est manifestée comme le fondement essentiel de cette essence. L'explicitation plus originelle qu'on vient de donner de l'essence de ce fondement essentiel montre la vraie portée du principe suprême. Celui-ci parle de la constitution essentielle de l'être humain en général, pour autant que cet être humain soit déterminé comme raison pure finie ». (Heiddegger, 1953 : 217)

[35] Pour des analyses sur le débat entre Kant et Cassirer, cf. C. Schrag, (1967), P. Aubenque (1990), F. Schalow (1996), M. Friedam(2000).

kantienne, est dans les mots de Cassirer 'un cercle carré' et une « violence exercée par Heidegger contre Kant » (Cassirer, 1972:74). Pour lui, la caractéristique de la raison chez Kant est d'être « la 'faculté' du suprasensible et du supratemporel ». Cassirer critique aussi le fait que Heidegger, au service de ses propos, a détaché du système kantien un moment particulier d'importance fondamentale, celui du schématisme, en négligeant la totalité du système et surtout les questions non moins importantes de la *Critique de la raison pratique* et de la *Critique du jugement*. Pour lui, Heidegger n'accorde pas une attention suffisante au fait que la raison a une capacité infinie de toujours transgresser les limites imposées par l'intuition à la spontanéité de l'entendement. L'activité spéculative de la raison a ainsi une fonction positive, non pas constitutive mais régulatrice, d'étendre le plus loin possible les bornes de la connaissance empirique.

Malgré leurs différences, tant Heidegger que Cassirer sont d'accord pour dire qu'il y a des limites infranchissables à la capacité de la raison de connaître une chose telle qu'elle est en soi. Comme Kant lui même l'affirme « ce serait une absurdité que d'espérer connaître d'un objet quelconque plus que ne renferme l'expérience possible de cet objet » (Kant, 1985a : 133 ; Proleg, §57, Ak IV, 350).Ces limites sont données du côté de la sensibilité par les conditions formelles de l'intuition et du côté de l'entendement par les catégories ou les principes synthétiques a priori.

> [Notre raison] doit plutôt être comparée à une sphère dont le diamètre peut être trouvé à partir de la courbure de l'arc à sa surface (à partir de la nature des propositions synthétiques *a priori*), et dont le contenu et la délimitation peuvent être aussi déterminés par là avec certitude. En dehors de cette sphère (le champ de l'expérience), il n'y a plus d'objet pour elle, et même les questions concernant ces prétendus objets ne concernent que des principes subjectifs d'une détermination complète des rapports qui peuvent se présenter, à l'intérieur de cette sphère, entre les concepts de l'entendement. (Kant, 1980d : 1333; A762, B790; AK III, 497).

Il faut penser cependant qu'il y a des limites dans les deux sens : tant par rapport à l'usage significatif de la raison, données par l'expérience sensible, que par rapport à notre expérience du monde en tant que limitée par la structure de notre esprit.

La limite est d'abord une notion négative utilisée par Kant pour dire que la raison ne peut connaître que le champ de l'expérience sensible. Kant reconnaît ainsi la finitude de la raison humaine par rapport à la connaissance de l'absolu. Dans cette perspective il nomme le concept de noumène concept limite [*Grenzebegriff*] qui sert à délimiter les prétentions de la connaissance sensible.

> Le concept d'un noumène est donc simplement un *concept limitatif*, pour restreindre les prétentions de la sensibilité, et il est donc d'un usage seulement négatif. Il n'est pas cependant une fiction arbitraire, mais il s'enchaîne à la limitation de la sensibilité sans toutefois pouvoir rien poser de positif hors de son champ. (Kant, 1980d : 984, A255/B311 ; Ak III, 212)

Néanmoins, Kant reconnaît, du point de vue de la raison, sa propension naturelle et illimitée d'aller au-delà du champ de l'expérience possible, pour arriver dans un domaine susceptible d'être pensé mais jamais connu[36]. La dialectique des antinomies, où la raison se découvre en conflit avec elle-même, révèle davantage, au-delà de l'interdiction cognitive, l'intérêt pratique de la raison dans ce conflit. A la racine même de ce conflit se trouve l'opposition entre la finitude de la raison, dans l'ordre spéculatif, et son autonomie, c'est-à-dire, son expérience de liberté, dans l'ordre pratique. Pour Cassirer, Heidegger ne privilégie que la première condition, celle de la limitation négative. Il néglige cependant le fait que l'infini, en tant qu'idée régulatrice, donne un rôle positif à la raison dans son processus cognitif. Celui de ne jamais accepter dans la régression empirique qu'une limite absolue soit imposée. Cette tâche positive se met à côte du fait négatif de la raison ne pouvoir jamais être satisfaite dans son désir d'attraper la totalité complète.

Kant fait ainsi usage d'une autre notion, celle de borne [*Schranke*] pour contraster justement les deux dimensions, positive et négative, présentes dans le processus de limitation de l'espace de notre connaissance. La distinction entre limite [*Grenze*] et borne [*Schranke*] contient à la fois l'impossibilité d'une extension spéculative de la raison et la nécessité de son extension pratique vers le champ de la

---

[36] A ce propos Strawson affirme : "Kant was not content merely to draw this general negative conclusion about the impossibility of transcendent metaphysics. He thought that the propensity to think in terms of ideas for which no empirical conditions of application could be specified was not merely a philosophers'

connaissance. « En toute limite, il y a aussi quelque chose de positif (par exemple, la surface est la limite de l'espace corporel, et cependant elle est elle-même la limite de la ligne, mais c'est pourtant toujours un lieu dans l'espace), tandis que les bornes ne contiennent que des négations ». (Kant, 1985a : 138 ; Proleg, Ak IV, 354). La limite suggère toujours un espace hors du lieu déterminé qu'elle indique, la borne elle, comme simple négation, ne dit rien de ce qui est au-delà. Dans le contexte de la physique et de la mathématique, Kant explicite la différence entre les deux notions.

> Dans la mathématique et la science de la nature, la raison humaine reconnaît certes des bornes, mais point de limites, c'est-à-dire qu'elle reconnaît assurément qu'il y a quelque chose hors d'elle, où elle ne peut jamais parvenir, mais non pas qu'elle puisse elle-même se parachever quelque part dans sa progression intérieure. L'extension des connaissances en mathématique et la possibilité d'inventions toujours nouvelles se poursuivent à l'infini ; de même, la découverte des propriétés de la nature, des forces de lois nouvelles, grâce à une expérience continue et à son unification par la raison. Mais, pourtant, on ne saurait ici méconnaître de bornes, car la mathématique ne porte que sur des *phénomènes*, et ce qui n'est pas un objet de l'intuition sensible, comme les concepts de métaphysique et de morale, se trouve tout à fait hors de sa sphère, et elle ne peut jamais y conduire ; d'ailleurs, elle n'en a non plus nul besoin. (Kant, 1985a : 136 ; Proleg, Ak IV, 352-3)

Kant discerne ainsi les deux dimensions à la fois rationnelle (*a priori*) et historique (*a posteriori*) de notre ignorance. Du côté rationnel, il y a toujours des limites (*Grenzen*) infranchissables, déterminées et inhérentes à notre condition, au-delà desquelles il n'y a pas de place pour une théorie vraiment significative dans le sens cognitif. Du côté historique, les bornes indéterminées (*Schranken*) de la connaissance, dont nous ignorons comment et jusqu'où elles peuvent être reculées, pourront toujours être élargies car des lois nouvelles et des principes nouveaux pourront être établis[37].

> La détermination des limites de notre raison ne peut donc se faire que d'après des fondements *a priori*, mais nous pouvons reconnaître aussi *a posteriori*

---

aberration, but a natural and inevitable propensity of human reason. It was even, in some ways a beneficial propensity". (Strawson, 1966:17)

[37] Pour une analyse détaillée de la notion de limite chez Kant : cf. C. Bonnet (2002).

> qu'elle est bornée, encore que ce ne soit là qu'une connaissance indéterminée d'une ignorance qu'on ne supprimera jamais entièrement, reconnaître, dis-je, qu'elle est bornée, grâce à ce qui, dans tout savoir, nous reste toujours encore à savoir. La première connaissance de l'ignorance de la raison, qui n'est possible que par la critique de la raison même, est donc une *science;* mais la seconde n'est qu'une *perception*, au sujet de laquelle on ne peut pas dire jusqu'où la conclusion peut atteindre par elle-même. (Kant, 1980d : 1331 ; A758/ B786, AK III, 495).

Dans le cadre de la mécanique quantique, plus spécifiquement de l'interprétation de Copenhague, la notion de limite a joué aussi un rôle tout à fait essentiel. Ainsi Bohr exprime la limitation inattendue imposée par la théorie quantique :

> L'étude de la constitution atomique de la matière a révélé en notre siècle une limitation inattendue du domaine où sont applicables les idées de la physique classique. Elle a ainsi éclairé d'une nouvelle lumière les conditions de l'explication scientifique, telles qu'elles ont été admises par la philosophie traditionnelle. Pour comprendre les phénomènes atomiques il est nécessaire de modifier les fondements de l'application non ambiguë de nos concepts élémentaires et cette modification conduit bien au-delà du domaine particulier de la physique. (Bohr, 1991 : 145)

Si chez Kant l'investigation sur les limites était la tâche première de la philosophie critique que les scientifiques pourraient se désobliger à poursuivre, pour Bohr et Heisenberg, cela s'imposait au physicien quantique comme une condition intrinsèque à la démarche de sa recherche. Et par ailleurs, on est en face à une limitation plus accentuée ou plus profonde que celle proposée par Kant, comme Bohr lui même la souligne :

> Il est intéressant de noter de ce point de vue que, même à la grande époque de la philosophie au siècle dernier, il a été question uniquement de savoir jusqu'à quel point l'on pouvait donner des arguments *a priori* en faveur de l'adéquation de la coordination spatio-temporelle et de la corrélation causale de l'expérience ; jamais on ne s'est occupé d'une généralisation rationnelle ni d'une limitation intrinsèque de ces catégories de la pensée humaine. (Bohr, 1991 : 246).

Dans une perspective transcendantale, c'est comme si la mécanique quantique infligeait une deuxième révolution copernicienne, vers une limitation plus accentuée de nos concepts élémentaires. Néanmoins, cette révolution a lieu non pas proprement dans le champ de la philosophie mais dans celui de la science physique. Bohr est bien conscient que les problèmes auxquels se heurte le physicien quantique ont une ampleur qui dépasse les bornes de sa théorie restreinte. Et si dans le passé les physiciens ont pu déléguer aux philosophes la tâche de s'occuper des questions fondamentales, maintenant ce rôle leur est imparti sous peine de ne pas avoir une théorie cohérente. Bohr (1932 : 95) reconnaît ainsi qu' « il est difficile d'échapper à la conviction que les faits révélés par la théorie quantique, inaccessibles à nos formes ordinaires d'intuition, nous fournissent un moyen d'investigation des problèmes philosophiques généraux ».

Bohr rejette l'idée selon laquelle la mécanique quantique implique tout simplement de renoncer à notre perception ordinaire, et par conséquent aux concepts dérivés de cette perception. Il a tenté d'exprimer les enjeux attachés à cette question en admettant d'une part que ces concepts sont des conditions nécessaires à tout usage des résultats expérimentaux, et d'autre part, que leurs frontières coïncident exactement avec celles de nos possibilités d'observation. Bohr développe ainsi une sorte très particulière d'argumentation transcendantale en cherchant au travers de son principe de complémentarité une issue philosophique à un problème éminemment scientifique[38]. Bohr reconnaît que les difficultés de la théorie quantique sont étroitement attachées à l'usage des concepts qui sont employés dans notre description de l'expérience ordinaire.

---

[38] Cf. par exemple la lettre de Bohr à Dirac de 24/03/28 : « I think, we can not too strongly emphasise the inadequacy of our ordinary perceptions when dealing with quantum problems. Of course I quite appreciate your remarks that in dealing with observations we always witness through some permanent effects a choice of nature between the different possibilities. However, it appears to me that the permanency of results of measurements is inherent in the very idea of observation; whether we have to do with marks on a photographic plate or with direct sensations the possibility of some kind of remembrance is of course the necessary condition for making any use of observational results. It appears to me that the permanency of such results is the very essence of the ordinary causal space-time description. This seems to me so clear that I have not made a special point of it in my article. What has been in my mind above all was the endeavour to represent the statistical quantum theoretical description as a natural generalisation of the ordinary causal description and to analyse the reasons why such phrases like a choice of nature present themselves in the description of the actual situation. In this respect it appears to me that the emphasis on the subjective character of observational is essential. Indeed I believe that the contrast between this idea and the classical idea of isolated objects is decisive for the limitation which characterises the use of all concepts in quantum theory." (BCW6: 44-45 républié aussi in BCW10: 495-496. L'article auquel il fait référence est: 'The quantum postulate and the recent development of atomic theory'.)

Comme Kant, à partir de la notion fondamentale de limite, Bohr a eu besoin de redéfinir le concept d'objet scientifique et de phénomène physique. En conséquence, une frontière entre le phénomène classique et le phénomène quantique a été tracée impliquant ainsi deux types de descriptions distinctes : une classique et une autre quantique. « L'histoire de la physique nous démontre ainsi comment l'exploration de domaines d'expériences toujours plus vastes nous révèle des limitations insoupçonnées de nos concepts habituels et nous ouvre des voies nouvelles pour restaurer un ordre logique. » (Bohr, 1991 : 261)

Ainsi l'un de ces problèmes philosophiques généraux apportés par la mécanique quantique est justement celui des limites de nos outils conceptuels sur lesquels les physiciens jusqu'au début du vingtième siècle ont pu compter sans restriction. De façon semblable à celle introduite par Kant, cette limitation présentée par la nouvelle mécanique a une double dimension. Dans le sens négatif, les limites sont comme des barrières infranchissables au-delà desquelles on ne peut jamais arriver. Mais dans sa dimension positive la notion de limite [*Grenze*] définit et éclaire le champ d'investigation de la science physique. On trouve aussi remise en question la notion des bornes indéterminées [*Schranke*], dont, comme l'affirme C. Bonnet (2002 : 398), « nous ignorons comment et jusqu'où elles peuvent être reculées ».

Le problème de la limitation de l'applicabilité de nos outils conceptuels issus de la théorie classique se révèle en différents niveaux :

a) les limites de nos intuitions spatio-temporelles
b) les limites de nos concepts classiques comme par exemple la position et la quantité de mouvement
c) les limites des images qu'on peut attribuer à l'objet physique
d) les limites de nos catégories fondamentales comme celles de la substance et de la causalité.
e) les limites du formalisme prédictif qui permet d'anticiper un résultat de mesure.

Au niveau de la théorie restreinte les limites sont bien déterminées par les lois et principes de la théorie même comme c'est le cas des relations d'incertitude, de la règle de Born ou du principe de complémentarité. Cependant, dans un niveau interprétatif supérieur, ou métathéorique, où intervient le rapport entre la description théorique et les

mesures effectivement réalisées sur le système quantique, les physiciens sont aussi obligés d'admettre, au-delà des limites, des bornes indéterminées. La reconnaissance de ces bornes est reconnue comme le problème de la coupure entre l'objet quantique et l'appareil de mesure classique. Il y a une certaine dose d'arbitraire dans la position de cette coupure. Le problème de la mesure, connecté avec ce problème, est révélateur des différences entre la physique quantique et classique. Ainsi à ce niveau métathéorique se manifestent :

a) des bornes entre les phénomènes classiques et les phénomènes quantiques
b) des bornes entre le système mesuré et l'instrument de mesure
c) des bornes entre l'instrument de mesure et l'observateur qui lit le résultat
d) des bornes entre la théorie classique et la théorie quantique
e) des bornes entre le microscopique et le macroscopique

Face à ces limites et à ces bornes imposées par la théorie quantique, quelques tentatives ont été faites pour les comprendre dans le cadre de la pensée kantienne. Cette partie de notre travail se rapporte à des interprétations qui ont essayé d'évaluer la pertinence de la philosophie de Kant vis-à-vis des changements apportés par la physique quantique. Par le biais de la notion de limitation on examine les options qui maintiennent inchangées les *a priori* kantiens sous la condition qu'on restreigne leur domaine d'application. C'est le cas des approches de Grete Hermann et Petter Mittelstaedt, mais aussi de l'interprétation que Bohr et surtout Heisenberg ont fait de la doctrine kantienne.

Chapitre 4
L'interprétation complémentaire de Bohr et la place des *a priori*

4.1. Introduction : de la pluralité d'interprétations en mécanique quantique

Depuis près d'une soixantaine d'années, on assiste à une irruption d'interprétations différentes de la théorie quantique. Sur la scène scientifique du débat quantique, se présentent, au-delà de l'interprétation de Copenhague, l'interprétation des états relatifs ou des mondes multiples (Everett, 1957 ; De Witt et Graham, 1973), l'interprétation à variables cachées (Bohm, 1952 ; Vigier, 1982), le réalisme des propensions à la Popper (1992, 1996), le réalisme ouvert à la d'Espagnat (1994), une variété d'interprétations modales (Van Fraassen, 1981, 1991 ; Kochen, 1985 ; Dieks, 1994 ; Healey, 1989 ; Bub, 1992), l'interprétation relationnelle (Rovelli, 1996), l'interprétation des histoires consistantes (Griffiths, 1984, 1996 ; Omnès, 1988 ; Gell-Mann et Hartle, 1990), l'interprétation en termes de corrélations (Mermin, 1998), l'interprétation des esprits multiples (Albert et Loewer, 1988, 1989), l'interprétation de l'environnement (Zeh, 1970 ; Joos et Zeh, 1985 ; Zurek, 1986). Devant cette multiplicité d'interprétations, une réponse univoque à la question de savoir ce que c'est que la théorie quantique, est loin d'être établie. Mara Beller (1999 : 106) dans son livre qui a le titre suggestif *Quantum dialogue,* caractérise cette situation comme une véritable polyphonie de la notion d'interprétation. La question de l'interprétation, prérogative précédemment attribuée aux sciences humaines, commence à faire partie de l'univers de la physique contemporaine.

Il s'agit, en effet, d'un événement épistémologique tout à fait nouveau dans le champ de la physique. L'espace public, où se déroulent les discussions et communications de la physique quantique, est devenu tellement peuplé d'interprétations les plus divergentes et éloignées d'un consensus que cela a provoqué une situation sans précédent. Toutefois, cette situation n'est pas si nouvelle dans le champ de

l'épistémologie. La pratique de la dissension philosophique était déjà une habitude dans ce domaine et ce n'est pas du tout étonnant que la communauté de philosophes de la science se divise par rapport à la signification qu'on peut donner à l'acte même d'interprétation d'une théorie. Ce qui surprend pourtant, c'est le fait que la communauté, non de philosophes, mais de physiciens soit loin d'un accord sur l'interprétation correcte de la mécanique quantique.

Cette irruption d'interprétations dans le domaine des sciences physiques a mis en cause la distinction entre sciences naturelles et sciences de l'esprit, élaborée au cœur de la tradition herméneutique de W. Dilthey, M. Heidegger et H. G. Gadamer, qui réservait à cette dernière l'exclusivité de l'activité interprétative. C'est d'abord W. Dilthey (1947), dans son ouvrage de 1883, *Einleitung in die Geisteswissenschaften*[39], qui en réaction au scientifisme de l'époque, propose la dichotomie entre *expliquer* et *comprendre* comme fondement de la distinction entre sciences de l'esprit (histoire, psychologie, etc) et sciences de la nature (physique, chimie et biologie). On *explique* la nature et on *comprend* le monde historique et social créé par l'homme. Dans le sens proposé par Dilthey, la notion d'interprétation appartiendrait à la méthode propre et exclusive aux sciences humaines, éminemment herméneutiques, et ne pourrait s'appliquer à la nature que dans un sens figuré et impropre. L'explication d'un phénomène physique, toujours extérieur à celui qui l'observe, était donnée par le recours à une loi qui préside à sa production. En revanche, la compréhension en sciences humaines s'obtiendrait par la mise en relation du phénomène avec celui qui lui donne un sens, dans une sorte d'imbrication inextricable entre le sujet qui interprète et son objet d'interprétation. La motivation principale de Dilthey était d'aller contre l'orientation positiviste d'importer les méthodes des sciences de la nature vers le champ des sciences humaines afin de leur accorder le statut de scientificité. Il voulait alors proposer quelque critère qui soit propre aux sciences de l'esprit et qu'on ne trouve pas ailleurs dans les domaines étrangers de la nature.

On remarque cependant que les événements épistémologiques survenus en mécanique quantique ont renversé complètement la distinction proposée par Dilthey. Il s'agit bien de l'inverse : ce sont les sciences de la nature qui paraissent « imiter » les

[39] Cf. traduction française : *Le monde de l'esprit*, W. Dilthey (1947).

méthodes des sciences de l'esprit. L'idée amplement partagée que nous expliquons la nature physique de l'extérieur et que pour cela nos méthodes d'accès ne se mélangent pas au contenu de notre recherche a été mise en doute non pas par l'analyse philosophique extrinsèque à la science, mais par les impasses accomplies à l'intérieur même de la démarche en physique quantique. Les sciences de la matière ont commencé à souffrir d'un malaise auparavant exclusif aux sciences de l'esprit, celles qui font de l'interprétation herméneutique le fondement de leur pratique[40]. Ce n'est pas par hasard que Michel Bitbol dans *L'aveuglante proximité du réel* consacre le chapitre sept à discuter de la question : « que signifierait 'comprendre la mécanique quantique' ? » (Cf. Bitbol, 1998 : 273-302).

Les interprétations de la mécanique quantique aspirent à comprendre la connexion entre le formalisme mathématique et quelque chose qui pourrait être ainsi nommé 'le monde', 'le phénomène physique', 'l'expérience' ou 'l'observation'. Le choix parmi ces appellations dépend déjà de la manière dont la question est posée par l'interprétation concernée. Dans ce sens, la corrélation entre les termes non-observables (théoriques) et les termes observables de la perception s'impose comme un des problèmes majeurs à résoudre afin d'éviter les paradoxes et les contradictions et d'arriver à une interprétation à la fois consistante et complète. Le problème de l'interprétation du formalisme est parfois identifié à un problème de traduction entre deux langages : un langage formel, constitué de termes mathématiques, et un langage ordinaire, constitué de termes qui peuvent être mesurés empiriquement[41]. La façon dont cette corrélation est comprise entraîne des engagements philosophiques qui donnent des réponses différentes à la question de savoir ce que c'est une théorie physique.

Parmi cette multiplicité d'interprétations, notre travail accorde une attention spéciale à l'interprétation de Copenhague, qui est considérée par certains auteurs comme l'interprétation kantienne de la mécanique quantique. On essayera justement de soulever les rapports entre la philosophie de Kant et la mécanique quantique. Néanmoins, l'interprétation de Copenhague est loin de représenter un ensemble

---

[40] Pour une analyse sur les dimensions herméneutiques des sciences naturelles cf. P. Heelan (1975, 1982, 1983) et J. Kockelmans (1986).

[41] Cf. Omnès (1994 :93) : "By an *interpretation*, we shall mean a translation of the empirical language describing the experiments and the phenomena in a way involving only the formal concepts of the theory."

cohérent d'idées. Sous son toit sont hébergés les partisans des visions philosophiques les plus variées et même opposées. Le travail historique de Max Jammer (1974 :87), montre bien que l'interprétation de Copenhague désigne plutôt un dénominateur commun pour une variété de points de vue. Et plus récemment Don Howard (2004) a développé une étude sur la mythologie de l'interprétation de Copenhague, en cherchant à montrer qu'en fait ce qui est fréquemment regardé comme attribué à cette interprétation a été une invention de Werner Heisenberg et diffère essentiellement du point de vue complémentaire de Niels Bohr.

Bien que Bohr et Heisenberg ne soient pas complètement d'accord au sujet de quelques points de l'interprétation du formalisme de la mécanique quantique, on peut au moins identifier quelques principes qui composent la base d'une approche disons minimale de cette interprétation. Ces principes sont : 1) Le postulat quantique ; 2) Le principe de correspondance; 3) L'interprétation statistique de la fonction d'onde ; 4) Les relations d'incertitude ; 5) Le principe de complémentarité. Parfois, le principe de réduction du paquet d'onde, supposé à la base du formalisme de l'espace d'Hilbert, est associé à l'interprétation de Copenhague. Bohr cependant a rarement utilisé ce formalisme. L'interprétation en termes de vecteur d'état et de collapse de la fonction d'onde est plutôt attachée à Heisenberg et à la formulation orthodoxe ou standard donnée par Dirac et von Neumann, chez qui ce principe a une place tout à fait importante[42]. Malgré cela, la désignation 'interprétation de Copenhague' est toujours associée à la pensée de Bohr et d'Heisenberg. Ainsi pour éviter des malentendus on a adopté dans ce chapitre le terme 'interprétation complémentaire' (*complementarity interpretation)*, proposé par Max Jammer (1974 : 87) pour mieux identifier les idées de Bohr. Dans ce même sens, J. Bub (1997 : 195) distingue l'interprétation complémentaire de l'interprétation orthodoxe de Dirac-von Neumann. Pour lui, l'interprétation complémentaire peut être comprise comme une interprétation parmi les interprétations anti-effondrement du paquet d'onde.

[42] Cf. P. Teller (1991).

4.2. Mécanique quantique et limites du kantisme

La philosophie kantienne a eu une place singulière dans l'interprétation complémentaire. Heisenberg, à plusieurs reprises, a examiné les limites de l'épistémologie kantienne dans l'interprétation de la mécanique quantique (Cf. *Les principes physiques de la Théorie des Quant,* chapitre 10 de *La partie et le tout*, *Physique et Philosophie et Le Manuscrit de 1942)*. Bohr, par contre, a pris soin de citer toutes sortes de philosophes en disant que la philosophie est un domaine pour lequel il n'a pas la moindre compétence. Mais même en refusant d'utiliser des références philosophiques dans ses analyses, Bohr utilise le schéma kantien sur le rapport entre intuitions et concepts pour rendre compte de la nouvelle situation épistémologique introduite par la mécanique quantique[43]. Il suggère, d'ailleurs, des modifications à ce schéma de façon à rendre intelligible la nouvelle situation, en discutant explicitement le nouveau rôle que doivent avoir les intuitions et les concepts en mécanique quantique. Catherine Chevalley (1994 : 34) affirme à ce propos: « Bohr n'appliquait clairement aucune doctrine philosophique spécifique ou systématique dans son travail. Cependant il se rendait également compte de l'importance générale du contraste entre *Anschauung* et *Symbol* dans la philosophie de son temps »[44].

Au sujet du rapport entre la philosophie kantienne et la mécanique quantique dans la pensée de Bohr et Heisenberg, nous devons tout d'abord prendre en considération la distinction entre le kantisme strict et des approches transcendantales non strictement kantiennes. Le premier a été l'objet de critiques par Bohr et Heisenberg face aux changements provoqués par la mécanique quantique. Malgré leurs positions critiques face à la doctrine kantienne, des lectures transcendantales, non réductrices au kantisme, sont souvent associées à la pensée de Copenhague. Le mélange de ces deux perspectives est souvent à l'origine de malentendus. On traitera dans ce chapitre de la façon dont Kant a été compris par Bohr et Heisenberg et de la place réservée aux

[43] Cette perspective d'analyse de la pensée de Bohr n'est pas partagée par certains interprètes, comme, par exemple, H. Folse (1978, 1985) qui considère que cette proximité entre Bohr et Kant n'est qu'apparente. Nous allons revenir sur ce thème dans le dernier chapitre de notre travail.

principes kantiens dans leur interprétation. Nous ne discuterons la deuxième perspective que dans le dernier chapitre de ce travail dans le cadre d'une conception pragmatico-transcendantale de la mécanique quantique. Cette différence de perspectives suppose la distinction méthodologique, défendue originellement par Cassirer[45], entre approche kantienne et approche transcendantale. Nous accordons une importance spéciale à cette distinction dans notre travail dans la mesure où la légitimité d'une perspective transcendantale en mécanique quantique se fonde justement sur la reconnaissance des limites de l'approche kantienne.

Dans le cadre des interprétations qui ont pris Kant comme point de référence pour comprendre les problèmes épistémologiques soulevés par la mécanique quantique, on envisage au moins quatre analyses transcendantales distinctes : 1) la solution donnée par Bohr et Heisenberg face au rapport kantien entre intuition et concept ; 2) les interprétations kantiennes ou quasi-kantiennes de la mécanique quantique (G. Hermann et P. Mittelstaedt) ; 3) les interprétations néo-transcendantales de la mécanique quantique (C. F. von Weizsäcker, J. Petitot, M. Bitbol) ; et 4) l'interprétation transcendantale de la pensée de Bohr (J. Honner, C. Chevalley, B. Falkenburg, C. Hooker, S. Brock). Les deux premières font l'objet de la partie présentement analysée et les deux dernières seront traitées dans les parties suivantes.

La manière dont Bohr et Heisenberg discutent les limites de l'approche kantienne de la connaissance se confond avec leur présentation sur les limites mêmes de la physique classique. Il y a ainsi des limitations imposées par la mécanique quantique qui concernent à la fois l'épistémologie kantienne et la physique classique. Le point de départ du débat épistémologique mené par les adeptes de la complémentarité présuppose déjà que la mécanique classique est mieux présentée en termes kantiens, c'est-à-dire, par l'enjeu entre l'intuition spatio-temporelle de la sensibilité et les catégories de l'entendement. Or, cette façon de présenter la problématique kantienne est sans doute réductrice, car elle semble négliger deux aspects d'importance capitale de la méthode transcendantale : le schématisme et la fonction régulatrice de l'idéal de la

---

[44] "Bohr was clearly not applying any specific or systematic philosophical doctrine in his work. However he was also aware of the general significance of the contrast between *Anschauung* and *Symbol* in the philosophy of his time".

[45] Cf. chapitre 7.

raison pure. Pourtant, elle permet d'introduire un problème fondamental mis en évidence par l'interprétation de Bohr, qui concerne la notion même de phénomène physique, contestée par la mécanique quantique.

La notion de phénomène est sans doute l'un des piliers de la démarche transcendantale. Kant avait mis en cause la notion de chose en soi en adoptant celle de phénomène physique pour comprendre justement les conditions de possibilité de la physique mathématique. La nouvelle situation de la mécanique quantique exige que d'autres limitations soient imposées à la notion de phénomène physique, qui touchent le cœur du kantisme. Ainsi, dans le cadre de l'interprétation complémentaire, une ligne de démarcation entre le phénomène classique et le phénomène quantique ou entre la description phénoménale classique et la description phénoménale quantique est suggérée.

Pour identifier le genre de limitation que la théorie quantique impose à la fois au schéma kantien et à la physique classique, on doit se tourner vers les cinq principes cités ci-dessus comme base de l'interprétation complémentaire : le postulat quantique, le principe de correspondance, l'interprétation statistique de la fonction d'onde soulevée par la règle de Born, le principe d'incertitude et le principe de complémentarité. Ces principes apportent de nouvelles contraintes à la théorie physique et à son interprétation. Le postulat quantique affirme que la constante de Planck établit une limite minimale aux actions qui ont lieu pour les phénomènes quantiques. Le principe de correspondance fixe une limitation entre les domaines classiques et quantiques. La règle de Born prescrit une limitation à toute possibilité d'anticipation déterministe des phénomènes quantiques. Le principe d'incertitude de Heisenberg impose une limitation aux mesures exactes des variables conjuguées. Enfin, le principe de complémentarité de Bohr inflige une limitation à une description spatio-temporelle univoque.

Le postulat quantique mis à part, le principe d'incertitude et la règle de Born ont un statut différent de ceux proposées par Bohr. Ce sont des lois physiques mathématiquement exprimées par des calculs précis, tandis que les deux principes bohriens, le principe de correspondance et le principe de complémentarité, sont plutôt des principes épistémologiques dont l'objectif est de restaurer une unité interprétative à la mécanique quantique. Nous allons voir dans le détail chacune de ces limitations

imposées dans notre compréhension du phénomène physique afin d'apprécier leur impact dans la doctrine kantienne.

4.3. La première condition de limitation : le postulat quantique

Le point de départ de Bohr dans sa fameuse conférence à Côme (Italie), en 1927, où il annonce pour la première fois son principe de complémentarité, était l'existence du quantum d'action. Ce dernier, exprimé par le postulat quantique, impose une discontinuité essentielle aux phénomènes quantiques, qui les individualise par rapport aux phénomènes classiques. Ainsi Bohr affirme :

> Il semble cependant (…) qu'il soit possible d'exprimer l'essence de la théorie à l'aide du « postulat quantique » ; d'après celui-ci, tout processus atomique présente un caractère de discontinuité, ou plutôt d'individualité, complètement étranger aux théories classiques et caractérisé par le quantum d'action de Planck. (Bohr, 1932 : 50; 'Le postulat quantique et le dernier développement de la théorie atomique' (1927))

Bohr à plusieurs reprises déjà en 1927 mais aussi, par exemple en 1937, déclare que le postulat quantique est la limitation la plus essentielle à la théorie quantique :

> En fait, l'existence du quantum élémentaire d'action exprime un nouveau trait d'individualité des processus physiques, qui est totalement étranger aux lois classiques de la mécanique ou de l'électromagnétisme et limite essentiellement leur validité aux phénomènes mettant en jeu des actions grandes par rapport au quantum, tel qu'il est donné par la constante de Planck. (Bohr, 1991 : 172)

Le quantum d'action a une valeur précise donnée par la constante de Planck (h), égale, dans le système international d'unités, à 6,6 x 10^{-34} Joule seconde. Le terme quantum d'action vient du fait que h a les dimensions d'une action[46]. Bien que Planck ait été le premier à établir en 1900[47] la valeur de la constante qui a porté son nom pour

---

[46] [Énergie] x [temps] = [action]

[47] Planck présente sa célèbre formule à la Société allemande de physique le 19 octobre 1900 et sa dérivation théorique le 14 décembre 1900, à Berlin. L'article est paru dans *Annalen de Physik*, 1901 : 553-563.

résoudre le problème du rayonnement du corps noir, la vraie signification de cette constante n'a pu être dégagée que petit à petit avec le développement même de la mécanique quantique. Beaucoup de physiciens avant Planck avaient sans succès essayé de résoudre le problème de dérivation de l'équation pour le rayonnement du corps noir[48]. Finalement, après que Wilhelm Wien (1896) ait produit une équation presque convenable aux données empiriques, Planck la modifie d'une façon simple parfaitement conforme aux résultats expérimentaux. La nouveauté essentielle dans la formule de Planck est la présence de la nouvelle constante *h*, telle qu'en la multipliant par la fréquence υ, on obtient l'énergie. La proportion entre énergie et fréquence, exprimée par la constante de Planck, a été confirmée par l'interprétation d'Einstein en 1905 de l'effet photoélectrique. En 1927, elle servira de pierre angulaire dans la formulation du Principe d'Incertitude d'Heisenberg. La constante de Planck apparaît comme l'expression quantitative d'une limite fondamentale imposée à la détermination des couples de variables conjuguées qui définissent l'état d'un système physique.

En effet, dans une certaine perspective majoritairement adoptée par les physiciens, la constante de Planck fait partie avec la vitesse de la lumière (*c*) et la constante de gravitation (*G*) du groupe des trois constantes fondamentales qui semble jouer un rôle plus essentiel que les autres constantes physiques. A proprement parler, il n'y a pas une seule signification soit philosophique soit physique pour la constante de Planck, mais plusieurs interprétations distinctes. Le consensus entre les physiciens est loin d'être établi. Le débat a été relancé récemment devant les nouvelles recherches en physique des hautes énergies qui indiquent une variation durant le temps d'évolution de l'univers de la constante de structure fine (J.K. Webb et al., 1999). A partir de cela une vive controverse a commencé pour savoir si le changement de la constante de structure fine est dû aux variations de *h, c* ou *G* (J-P. Uzan, 2002, 2003 ; M. Duff, L. B. Okun & G. Veneziano, 2002 ; Moffat, 2002 ; A. Peres, 2002). Ce débat a remis en cause le rôle des constantes fondamentales en physique et a en outre relancé les interrogations initiées par P. Dirac en 1937 sur la constance des constantes naturelles.

A l'heure actuelle le débat se divise en trois positions distinctes. Il y a ceux comme J-P. Uzan (2003) et L. Okun (1991) qui en dépit de la variation identifiée pour

[48] Sur la genèse et l'évolution de la théorie des quanta : Cf. M. Planck (1941 : 69-87)

la constante de structure fine et en distinguant les constantes sans dimensions telle que la constante de structure fine et les constantes dimensionnelles, telle que la constante de Planck, défendent que la nature ou notre connaissance de la nature est effectivement organisée autour des trois constantes fondamentales *c*, *h* et *G*. De son côté, le théoricien Gabriele Veneziano (1986) soutient que du point de vue de la théorie de cordes, il n'y a que deux constantes fondamentales, la longueur typique des cordes (λ_c) et la vitesse de la lumière (*c*), où la constante de Planck ne figure pas. Dans une position plus radicale, M. J. Duff (2002) déclare emphatiquement qu'il n'y a aucune constante fondamentale, dès lors que toutes les constantes en physique ne sont que des facteurs de conversion et, dans ce sens, il n'y a pas lieu d'attribuer plus d'importance à la triade *h*, *c* et *G* qu'à la dyade λ_c et *c*.

Malgré ces différences, les deux premières positions s'encadrent dans une perspective réaliste d'interprétation des théories physiques dans la mesure où elles attribuent à ces constantes un statut ontologique plus fondamental en les considérant comme l'expression d'une certaine structure cosmologique profonde. A l'opposé se situent ceux qui comme M. J. Duff, considèrent qu'il n'existe aucune constante fondamentale. Dans cette perspective qu'on pourrait nommer conventionnaliste, toutes les constantes physiques sans aucune hiérarchie d'importance ne sont que des conventions purement arbitraires des rapports entre grandeurs physiques. Nonobstant son antériorité historique, l'interprétation de Bohr est bien la troisième voie entre ces deux positions extrêmes lorsqu'il envisage plutôt le rôle épistémologique de la constante de Planck en tant que condition nécessaire et suffisante pour l'auto-consistance de la théorie quantique. Nous allons d'abord considérer les dimensions philosophiques des deux premières positions, la réaliste et la conventionnaliste, pour essayer de mieux préciser la conception bohrienne relative au rôle de la constante de Planck.

En utilisant le système international de mesures (SI), la valeur numérique de la constante de Planck semble très petite et arbitraire. Face à cela, certains ont spéculé sur ce à quoi ressemblerait le monde si la valeur de la constante de Planck était égale à zéro. Parmi les défenseurs de l'approche réaliste[49], il y a ceux qui associent la constante de

[49] Cf., par exemple, Robert John Russell (1999).

Planck à une certaine conception cosmologique de l'univers basée sur le principe anthropique. La physique quantique jouerait, dans cette approche, un rôle essentiel dans la variation génétique qui conduit à l'évolution biologique. Si la valeur numérique de la constante de Planck était légèrement différente, la vie n'aurait pas pu surgir sur une planète comme la nôtre. Dans ce cas, la constante de Planck serait liée au phénomène de la vie comme une partie responsable par la contingence des processus biologiques. Pendant les premières fractions de seconde après le Big Bang l'univers, étant microscopique, aurait été régi par une interaction fondamentale phénoménalement quantique. Si la valeur de la constante de Planck était différente, l'univers ne pourrait jamais avoir produit les conditions astrophysiques et géologiques justes pour la création de la vie biologique. De cette façon, la valeur de la constante de Planck est essentielle pour le caractère physique général et macroscopique de l'univers. Elle déterminerait tant le global que les caractéristiques microscopiques de nature. Les lois de la nature pourraient donc avoir été différentes de ce qu'elles sont si la valeur de la constante de Planck était autre.

A l'opposé, on trouve la conception déflationniste du rôle de la constante de Planck. D'après celle-ci, les constantes physiques comme celle de Planck n'ont pas d'existence réelle. En opposition tant à des approches réalistes qu'à l'interprétation de Bohr du postulat quantique, la constante de Planck n'est pas une constante universelle de la nature indépendante et d'importance fondamentale dans la physique quantique. Les constantes physiques sont en fait composées d'un certain nombre de facteurs de façon purement conventionnelle. La constante de Planck, spécifiquement, n'est rien qu'un composé de trois attributs arrangés conformément aux dimensions de ML^2T^{-1}. Ainsi sa seule signification est d'exprimer une proportion dans une équation où le rapport entre les côtés gauche et droit de la proportion ont les dimensions de l'action. On peut, néanmoins, par une espèce de magie mathématique, la faire disparaître en utilisant un système d'unité basé sur ses attributs. Dans ce cas-là, elle prendrait la valeur unitaire[50]. Ainsi on n'a pas besoin d'utiliser la constante de Planck dans une équation si l'on change de système d'unité. Dans l'essence, les constantes physiques n'existeraient pas. Elles ont été créées par les physiciens dans un contexte théorique pour exprimer

[50] Cf. Duff, Okun & Veneziano (2002) et Duff (2002).

une proportion qui reste constante dans une équation. Dans ce sens la réelle signification des constantes physiques devient apparente. Elles sont en effet des produits de l'invention de l'esprit scientifique, et non pas des découvertes de la nature. La conception réaliste selon laquelle la constante de Planck, en tant qu'universelle, existerait dans la nature depuis toujours et que Planck l'aurait découverte en temps opportun pendant la naissance de la théorie quantique est ainsi mise en échec. Dans cette perspective déflationniste la question de savoir comment serait l'univers si la constante était égale à zéro est sans signification. Cela parce que, pour être égale à zéro, au moins l'une des unités de mesure doit être nulle, ce qui est impossible car la valeur d'une unité de mesure ne peut pas être égale à zéro. Nous pouvons rendre la valeur de la constante de Planck énorme ou prendre n'importe quelle valeur positive désirable, mais pas le zéro. Tout dépend du système de mesures utilisé. Si la valeur de la constante de Planck était zéro, la lumière ne se déplacerait pas, les électrons seraient sans masse et la longueur d'onde d'une onde électromagnétique serait égale à zéro.

En contraste net soit avec l'interprétation de fond réaliste, soit avec l'interprétation conventionnaliste de la constante de Planck, Bohr la considère comme une condition de limitation qui a un rapport avec notre mode de connaissance. Elle a une dimension empirique qui empêche qu'on l'assimile à une convention purement arbitraire, mais, en revanche, elle fait partie de la manière dont nous, êtres de langage, organisons notre connaissance du monde.

Selon Bohr, le fait que la constante de Planck ait une valeur non nulle permet de tracer une frontière bien définie entre les domaines classiques et quantiques. Elle délimite précisément le champ d'application des concepts classiques en établissant ainsi la limite de validité des théories classiques[51]. Le quantum d'action impose pour ce fait des bornes entre deux types de phénomènes, les phénomènes classiques, où la constante de Planck n'intervient pas, et les phénomènes quantiques, en révélant une individualité intrinsèque de ces derniers. Bohr interprète cette individualité comme la marque du fait qu'en physique quantique l'interaction entre l'objet et l'appareil ne peut être arbitrairement petite. L'interaction doit au moins comprendre un quantum. Ainsi on ne peut pas observer une particule microscopique sans lui transférer un tant soit peu

[51] Le quantum d'action symbolise « la limitation de la mécanique classique » (Bohr, 1991 : 153).

d'énergie et si l'on veut une grande précision spatio-temporelle, on doit lui communiquer une énergie d'autant plus élevée que la précision souhaitée est élevée. A ce propos il affirme :

> La découverte du quantum d'action, en effet, ne nous apprend pas seulement que la physique classique a une limite naturelle, mais elle nous place dans une situation sans précédent en physique, soulevant sous une forme nouvelle le vieux problème philosophique de l'existence objective des phénomènes indépendamment de nos observations. (Bohr, 1932 : 110 ; 'La théorie atomique et les principes fondamentaux de la description des phénomènes' (1929))

Ainsi pour Bohr le postulat quantique a une portée pratique capitale pour les situations expérimentales. Il est, par ailleurs, révélateur du fait « que toute observation des processus atomiques entraîne une interaction finie avec l'instrument d'observation ; on ne peut par conséquent attribuer ni aux phénomènes ni à l'instrument d'observation une réalité physique autonome au sens ordinaire du mot » (Bohr, 1932 : 51). C'est là pour lui la différence essentielle qui s'établit entre la physique classique et quantique : « Tandis que dans le cadre de la physique classique, l'interaction entre l'objet et l'apparat peut être négligée où, si nécessaire, compensée, en mécanique quantique cette interaction forme ainsi une partie inséparable du phénomène »[52]. Cette condition fait qu'une réalité indépendante dans le sens physique classique ne peut être attribuée ni aux phénomènes, ni aux agents d'observations.

Les phénomènes classiques concernent donc les événements qui peuvent être traités indépendamment de nos moyens d'observation. En revanche, les phénomènes quantiques mettent en cause la contextualité. L'exigence du quantum d'action fait qu'on ne peut jamais faire abstraction des instruments de mesure pour décrire les systèmes physiques. Les phénomènes sont décrits classiquement si, dans une échelle comparative, la constante de Planck peut être regardée comme infiniment petite. Pour les expériences dont le quantum d'action devient essentiel, nous ne pourrons pas négliger l'intervention de nos systèmes d'observation. Le quantum d'action est clairement pour Bohr une limite qui rend invalide la description classique des phénomènes. Comme lui-même

[52] "While, within the scope of classical physics, the interaction between object and apparatus can be neglected or, if necessary, compensated for, in quantum physics this interaction thus forms an inseparable part of phenomenon" (Bohr, 1958: 311).

l'affirme : la découverte du quantum universel d'action révèle que « les théories physiques classiques sont des idéalisations, dont la validité concerne seulement les phénomènes où toutes les actions mises en jeu sont assez grandes pour qu'on puisse négliger le quantum » (Bohr, 1991 : 255).

Ainsi Bohr attribue l'individualité des processus atomiques à l'existence du quantum d'action. L'individualité des phénomènes quantiques est caractérisée par l'impossibilité « de séparer nettement un comportement non perturbé des objets atomiques de leur interaction avec les instruments de mesure indispensables pour cette analyse » (Bohr, 1991 : 174)[53]. Dans l'article 'Unité de la connaissance', Bohr parle de l'interaction comme partie intégrante du phénomène. Il ne s'agit pas, dans les processus quantiques, d'un phénomène isolé à être observé par les instruments de mesure, mais ce qu'on appelle 'phénomène' est le résultat même de son interaction avec les dispositifs d'observation. Toute observation, toute mesure, est une interaction entre un objet et un appareil impliquant un transfert d'énergie, pendant un intervalle de temps. Le postulat quantique, établit par Planck, affirme que l'action mise en jeu, égale au produit de ce transfert d'énergie par l'intervalle de temps, ne peut pas être inférieure au quantum d'action.

Ainsi dans le cadre de l'interprétation bohrienne, contrairement à la perspective réaliste, la frontière imposée par la constante de Planck, ne signifie pas du tout une frontière ontologique entre deux mondes, le monde microscopique et le monde macroscopique, mais une frontière qui limite nos moyens d'accès aux phénomènes, tant au niveau théorique, d'application de nos concepts, qu'au niveau pratique, d'obtention des résultats dans un processus de mesure quelconque. La constante de Planck traduit dans ce cadre une limitation fondamentale qui s'impose à tout 'sujet connaissant' dans son rapport cognitif avec la nature. Le postulat quantique exige une nouvelle façon de décrire des phénomènes physiques. Cette nouvelle façon, appelée par Bohr « complémentarité », fait que les modèles impliquant une description spatio-temporelle

---

[53] Cf aussi la réponse de Bohr (1935 : 697) au fameux article EPR où il affirme : « l'interaction finie entre l'objet et les instruments de mesure, conséquence immédiate de l'existence du quantum d'action, entraîne – parce qu'il est impossible de contrôler la réaction de l'objet sur les appareils – la nécessité de renoncer définitivement à l'idéal classique de causalité et de modifier de fond en comble notre attitude à l'égard du problème de la réalité physique ». Position réaffirmée dans l'article de 1949, *Discussion avec Einstein sur des problèmes épistémologiques de la physique atomique* (Bohr, 1991 : 237).

ne peuvent être appliqués intégralement aux phénomènes atomiques, que d'une façon partielle.

L'importance que Bohr attribue au postulat quantique et le caractère éminemment empirique de la valeur de la constante de Planck, ont induit certains à interpréter la pensée de Bohr dans un sens plutôt empiriste que kantien. Cela est sans doute une autre sorte de malentendu. Il est bien connu que chez Kant il n'y a pas de science sans la matière empirique qui se présente à l'intuition sensible. Le fait empirique de la constante de gravitation universelle n'a pas été un problème pour Kant. Mais, comme Kant l'a bien compris, ce fait ne trouve de signification qu'à l'intérieur d'un cadre théorique. L'impact le plus important pour la philosophie de Kant n'aurait pas du tout été la découverte empirique de la valeur de la constante en tant que telle, même si cette valeur a une dimension conventionnelle liée au système d'unités adopté, mais la limitation imposée par le postulat quantique. Cette limitation fait du phénomène qui se présente en physique atomique un tout indivisible et pour cela on ne peut pas considérer le résultat d'une mesure comme une manifestation autonome de l'objet lui-même indépendamment du contexte de mesure. Or, cela est d'une conséquence tout à fait nouvelle vis-à-vis de la doctrine kantienne. Même si pour Kant le concept d'objet ne peut être assimilé sans les conditions de la subjectivité et même s'il paraît être le premier à penser cette espèce d'imbrication intrinsèque entre sujet et objet, ce nouveau concept de phénomène soulevé par l'interprétation de Bohr du quantum d'action est loin d'être comprise dans les cadres du kantisme strict.

Dans la philosophie de Kant, l'objet constitué par les conditions du sujet, présuppose comme condition transcendantale que la représentation que nous formons de l'objet permette de le constituer tout à fait comme quelque chose qui se présente indépendamment de nos moyens pratiques d'observation et qu'on puisse lui attribuer une image univoque spatio-temporelle. Dans ce sens, Kant affirme : « Par le moyen du sens externe (une propriété de notre esprit), nous nous représentons des objets comme étant hors de nous et placés tous ensemble dans l'espace. En lui, leur figure, leur grandeur et leur rapport réciproque sont déterminés ou déterminables » (Kant, 1980d : 784 ; Ak III, 51-55). Or, cette condition prise dans l'absolu ne se vérifie plus en mécanique quantique. On doit considérer qu'une nouvelle sorte de limitation s'impose en rendant impossible une séparation rigoureuse entre le comportement des objets et

leur interaction avec les moyens d'observation. Pour Bohr, cette limitation est l'une « des conséquences directes de l'existence respective d'une quantité minimum de n'importe quelle action » (Bohr, 1939 : 26).

En effet, le postulat quantique, comme on le verra par la suite, est présupposé comme fondement non seulement du principe de complémentarité mais aussi des trois autres qui constituent la base de l'interprétation complémentaire de Bohr.

4.4. La deuxième condition de limitation : le principe de correspondance

Bohr soutient l'idée de réduction de la mécanique quantique à la mécanique classique par une espèce de limite de correspondance. Cette limite s'approche justement quand la constante de Planck tend vers zéro. Si un phénomène est décrit en termes classiques, la constante de Planck n'apparaît pas dans cette description. Bohr a essayé d'exprimer ce lien entre la théorie classique et la théorie quantique à travers son principe de correspondance. En effet, il veut traduire le fait que le formalisme mathématique de la mécanique quantique tend vers celui de la mécanique classique pour les systèmes physiques qui ont des dimensions considérablement plus grandes que celles des atomes.

Une étude détaillée de ce principe a été faite par L. de Broglie (1938). Il exemplifie l'application de ce principe en mettant en correspondance des interprétations classiques de plusieurs phénomènes avec des interprétations quantiques dans des situations comme l'ancienne théorie des quanta, les nouvelles mécaniques, les phénomènes de diffusion cohérente et de dispersion, les effets Raman, Compton et photoélectrique. De Broglie reconnaît que l'idée basique de ce principe a été lancée par Bohr en 1916 qui justifiait la différence entre la théorie classique et la théorie quantique par le fait que la constante de Planck a une valeur finie. A cette époque-là la correspondance entre les deux théories était pensée en termes d'une approximation asymptotique lorsqu'il s'agissait de considérer un nombre énorme de quanta d'action. Ainsi de Broglie exprime l'idée primitive que Bohr avait du principe de correspondance :

> En particulier, dans les phénomènes mettant en jeu un nombre énorme de quanta d'action, on doit retrouver asymptotiquement les résultats de la théorie classique puisqu'alors tout se passe comme si *h* était infiniment petit. En d'autres termes, les théories classiques on été construites pour représenter des phénomènes à grande échelle où interviennent un nombre considérable de quanta d'action et comme elles ont été vérifiées pour ces phénomènes les théories quantiques, où l'on tient compte de la discontinuité de l'action, doivent les retrouver comme cas limites valables pour les grands nombres de quanta. (L. de Broglie, 1938 : 34)

L'étude plus récente de Hans Radder (1991), où est présentée une analyse détaillée du développement du principe de correspondance en tant que principe heuristique, soutient, cependant, qu'une des premières versions plus restreintes du principe de correspondance doit être attribuée à Max Planck. Celui-ci, en 1906, avant Bohr, a montré, qu'à la limite, les conclusions théoriques de la théorie quantique convergent vers les résultats classiques[54]. Puis dans une conférence donnée à Copenhague en 1913, publiée en 1914[55], Bohr présente une nouvelle version de ce principe appliquée à l'atome d'hydrogène, selon laquelle pour les nombres quantiques suffisamment grands on peut retrouver des résultats classiques. Mais c'est en 1923 que Bohr[56] exploite systématiquement ce principe en relation à la théorie quantique en tant que règle générale et principe heuristique, en le poussant en dehors du domaine défini par les grands nombres quantiques. La mécanique classique a alors été prise comme guide dans l'élaboration et l'interprétation de la théorie quantique. Bohr considère que la théorie classique est macroscopiquement correcte, mais qu'elle ne l'est plus dans l'explication des phénomènes microscopiques, où l'apparition du discontinu intervient. Mais à la limite, où les discontinuités sont considérées comme infiniment petites par rapport au quantum d'action, les prédictions classiques et quantiques coïncident.

Bohr, dans son article de 1925, décrit le principe de correspondance comme suit:

> Cependant, cette représentation intuitive des états stationnaires au moyen d'images mécaniques est de nature à faire ressortir une analogie profonde entre

---

[54] Cf M. Planck (1959 : 143) : "the classical theory can simply be characterized by the fact that the quantum of action becomes infinitesimally small".

[55] Pour la traduction française de cette conférence : cf. Bohr (1923 : 5-27).

> la théorie quantique et la théorie mécanique. On a été mis sur la trace de cette analogie en examinant de plus près ce qui se passe dans la phase initiale du processus de liaison dont nous venons de parler, dans laquelle les mouvements correspondant aux états stationnaires successifs diffèrent relativement peu l'un de l'autre. Dans ce cas en effet, il a été possible de mettre en évidence une concordance asymptotique entre le spectre et le mouvement. Cette concordance a permis d'établir une relation quantitative exprimant la constante de la formule de Balmer pour le spectre d'hydrogène en fonction de la constante de Planck, de la charge de l'électron et de sa masse. La validité de ces considérations a été confirmée notamment lorsqu'on a pu vérifier que les spectres dépendent de la charge du noyau de la manière prévue par la théorie. (…)
> La concordance asymptotique entre le spectre et le mouvement, ainsi mis en évidence, a conduit à l'établissement du « principe de correspondance » ; ce principe exige, pour la production d'un processus de transition donné, accompagné de rayonnement, la présence dans le mouvement de l'atome de la composante harmonique de fréquence « correspondante » : cette fréquence concorde asymptotiquement, à la limite où les énergies des états stationnaires successifs deviennent très voisines, avec la fréquence de la transition, calculée à l'aide des postulats. En outre, à cette limite, les amplitudes des composantes harmoniques considérées fournissent une mesure asymptotique de la probabilité des processus de transition correspondants, et par suite, de l'intensité des lignes spectrales que l'on observe. Le principe de correspondance se présente comme l'expression de la tentative que nous faisions, malgré l'antagonisme essentiel des deux théories, d'utiliser pour l'édification de la théorie quantique chaque trait de la théorie classique, convenablement modifié. (Bohr, 1932 : 34-35 ; 'La théorie atomique et la mécanique' (1925))

A cette idée d'approximation asymptotique, exprimée par le principe de correspondance, Bohr ajoute celle de l'usage analogique en théorie quantique des concepts classiques, comme par exemple les concepts de masse et de charge électrique. Néanmoins, la signification classique ne peut à la limite être attribuée à ces concepts que lorsque la constante de Planck devient négligeable. Ainsi nous explique Bohr :

---

[56] Bohr, *Zeitsch f. Phys*., **13**, 1923. [Pour la trad. anglaise : Bohr (1924 : 1-42) ; réédité *BCW*, 3, 458-499].

> En effet, utiliser des concepts tels que masse ou charge électrique, c'est évidemment faire appel à des lois mécaniques ou électrodynamiques. Cependant, on peut régler l'emploi de ces concepts même en dehors du domaine de validité des théories classiques en postulant que la description quantique se rattache directement au mode de description ordinaire dans le domaine-limite où l'on peut faire abstraction du quantum d'action. On s'efforce donc dans la théorie quantique de faire usage de tous les concepts classiques en leur donnant une interprétation nouvelle qui satisfait à ce postulat sans être en conflit avec le principe de l'indivisibilité du quantum d'action ; ce qui exprime le « principe de correspondance ». Cependant, pour arriver à une description strictement conforme au principe de correspondance, il a fallu surmonter de nombreuses difficultés, et ce n'est que dans ces dernières années qu'on est arrivé à une mécanique quantique logiquement cohérente ; celle-ci, qui peut être considérée comme une généralisation naturelle de la mécanique classique, remplace l'enchaînement causal de cette dernière par un mode de description essentiellement statistique. [Bohr, 1932 : 104 ; 'La théorie atomique et les principes fondamentaux de la description des phénomènes' (1929)]

Au delà de son importance explicative pour établir le lien entre les deux types de description, quantique et classique, le « principe de correspondance » a joué un rôle heuristique remarquable dans le développement de la mécanique quantique. Plusieurs auteurs considèrent, en effet, qu'Heisenberg semble avoir procédé suivant ce principe pour atteindre sa mécanique des matrices. L'idée était que le formalisme classique de l'Hamiltonien pourrait être préservé dans la mécanique quantique sous la condition que les quantités physiques soient représentées par des opérateurs qui ne commutent pas.

De Broglie affirme à ce sujet :

> Guidés par l'idée de correspondance, les théoriciens de l'école de Copenhague, élèves de M. Bohr, sont parvenus à développer des théories parfois un peu bâtardes, mais qui on été très utiles parce qu'elles ont préparé la voie aux théories actuelles. C'est ainsi que MM. Kramers et Heisenberg sont parvenus à la première théorie quantique de la dispersion et à la formule qui porte leur nom (…). Partant de là et toujours guidé par la méthode de correspondance, M. Heisenberg a développé avec beaucoup d'originalité sa théorie des matrices. (L. de Broglie, 1938 : 38-9)

Pour ce rôle heuristique le principe de correspondance est tout à fait intéressant aussi bien du point de vue physique que du point de vue philosophique[57]. Il soulève des questions d'ordre épistémologiques comme par exemple : Comment une nouvelle théorie est-elle formée par rapport à des théories plus anciennes? Un principe heuristique dans un tel processus est-il simplement une question de psychologie, ou comporte-t-il des éléments logiques ou raisonnables? Qu'est-ce qui est abandonné, et qu'est-ce qui est innové dans un tel processus de changement de théorie? L'utilisation par Bohr du principe de correspondance illustre bien ces questions mais les réponses sont encore en cours de formation en mécanique quantique.

Dans un contexte épistémologique plus général, H. Post (1971) défend ce principe comme exemple qui justifie rationnellement l'Heuristique, en tant que champ de recherche légitime. Pour lui, contrairement aux positions de beaucoup de philosophes de la science comme P. Feyrabend, T. Kuhn, K. Popper et tous les représentants de l'empirisme logique, l'heuristique constitue l'une des meilleures parties de la philosophie de la science. Il soutient ainsi qu'il est possible et approprié de définir une procédure pour la construction de nouvelles théories scientifiques. Son importance s'étend au-delà des limites de la mécanique quantique. Le principe de correspondance est un exemple que les processus heuristiques sont bien plus qu'une procédure d'essai et d'erreur, sans importance pour l'analyse logique de la science, comme le soutenait K. Popper (1973).

En portant sur le problème de la limite entre la mécanique classique et la mécanique quantique, ce principe jette de l'huile sur le feu dans le débat sur l'incommensurabilité des théories scientifiques. Il semble être en contradiction évidente avec la conception d'incommensurabilité développée par T. Kuhn (1962) et P. Feyerabend (1979) dans les années soixante et soixante-dix. Selon Kuhn la révolution conceptuelle accomplie par la mécanique quantique, comme toutes les révolutions scientifiques, réside non seulement dans l'aboutissement d'une nouvelle théorie, mais aussi dans un changement radical du champ de problèmes scientifiques étudiés, des méthodes de recherche et de l'appareil conceptuel de la discipline concernée.

---

[57] Pour des études critiques sur le rôle du principe de correspondance : voir H. R. Post (1971), W. Krajewski (1977), E. Zahar (1983), W. L. Fadner (1985). Cf. aussi les articles dans l'ouvrage collectif en l'honneur de H. R. Post édité par S. French & H. Kamminga (1993).

Feyerabend de son côté nous présente une série d'exemples d'incommensurabilité quand la nouvelle théorie est incommensurable avec l'ancienne, les deux se rapportant au même secteur de la réalité. Il est bien connu, que Bohr lui-même a été convaincu de l'incommensurabilité des concepts classiques et quantiques, mais bien sûr pas de la même manière que Kunh et Feyerabend.

En se basant sur le principe de correspondance, Erhard Scheibe (1976) argumente contre la thèse d'incommensurabilité soutenue par Feyrabend et Kuhn[58]. Il défend l'idée qu'il y a du progrès et de la continuité dans le développement de la physique. Il a réexaminé les exemples historiques donnés par Feyerabend dans le but de corriger la notion de commensurabilité. Pour lui on ne peut pas nier l'existence d'incommensurabilités, mais on ne peut pas non plus nier l'existence de correspondances entre concepts qui sont accompagnées d'approximations numériques[59].

Une autre étude réalisée par W. L. Fadner (1985) déclare que le principe de correspondance a une base scientifique forte dans les théories physiques depuis Newton. Pour Fadner le principe de correspondance n'a pas sa place entre des théories, mais entre les équations opérationnelles des nouvelles et des anciennes théories. Il parle ainsi de la correspondance entre termes ou concepts de différentes théories mais pas d'une invariance de sens. Comme Scheibe, Fadner accepte aussi certains changements de la signification des concepts physiques. Dans ce débat qui oppose les partenaires de la correspondance à ceux de l'incommensurabilité, Scheibe et Fadner défendent une position intermédiaire lorsqu'ils parlent par exemple d'approximations numériques des équations opérationnelles et des concepts qui peuvent différer dans leurs relations soit par rapport à la correspondance soit par rapport à l'incommensurabilité.

Du point de vue transcendantal, Kant réserve une place tout à fait importante à des principes qui, comme celui de correspondance, ont cette fonction heuristique de

---

[58] Cf. E. Scheibe, 1976: 566: « even in the cases of incommensurable theories T and T', the following can be observed: (1) there is a certain correspondence between the concepts (or the sorts of variables and the formulas) of T and T', and (2) this correspondence can be made the basis of an approximate comparison of T and T' or, putting the approximations in temporally fixed limitations of the accuracy of measurement, of a comparison on the line of our P-conditions in their 'correspondence'-formulation. The concepts of classical physics were not altogether extinguished by quantum mechanics and the theories of relativity. Rather they themselves, and not only classical physics as a whole, had their successors in quantum and relativistic physics".

[59] E. Scheibe, 1976: 567: "Besides the fact of incommensurabilities, there is the other fact of concept-by-concept-correspondence accompanied by the possibility of numerical approximations".

pousser la recherche scientifique vers la découverte du nouveau. Mais contrairement à des positions comme celle de Popper (1973), les principes heuristiques n'appartiennent pas au champ du subjectivisme psychologique, mais à celui de la logique transcendantale, comme Kant le définit dans sa dialectique. Les principes heuristiques ont avant tout une force régulatrice, dont la valeur est celle d'une règle de la progression et de l'extension maximale du champ théorique de l'expérience possible. La fonction régulatrice des idées heuristiques ont, selon Kant, un usage hypothétique :

> L'usage hypothétique de la raison tend donc vers l'unité systématique des connaissances de l'entendement, et cette unité est la pierre de touche de la vérité des règles. Réciproquement l'unité systématique (comme simple idée) n'est qu'une unité projetée, qu'on ne doit pas considérer comme donnée, mais seulement comme problème, et qui sert à trouver un principe au divers et à l'usage particulier de l'entendement, et par là à diriger cet usage vers les cas qui ne sont pas donnés, et ainsi à le rendre suivi. (Kant, 1980d : 1250 ; A 647/B675 ; Ak III, 429).

Kant évidemment ne parle pas du principe de correspondance, principe qui concerne entièrement le rapport entre théories scientifiques successives. Ce rapport n'était pas un problème qui méritait son regard philosophique, car la seule théorie de la physique mathématique dont il disposait, était la mécanique newtonienne. Cette caractéristique mathématique fondamentale de la physique de Newton marquait aux yeux de Kant son absolue incommensurabilité avec la physique aristotélicienne. Nous avons a vu dans la première partie de ce travail que Kant a été confronté au problème du choix entre deux théories scientifiques rivales concernant la constitution de la matière. Cependant ce problème est d'ordre différent de celui de la succession des théories de la physique mathématique. Mais même si Kant n'avait pas envisagé la correspondance entre théories successives, sa critique positive des idées de la raison nous aide à comprendre le rôle des principes heuristiques du point de vue de la régulation de l'objectivité scientifique. Nous reviendrons sur ce point dans la troisième partie de cette thèse.

4.5. La troisième condition de limitation : la règle de Born et l'interprétation probabiliste de la fonction d'onde

Max Born a gagné en 1954 le Prix Nobel spécialement pour son interprétation statistique ou probabiliste de la fonction d'onde[60]. Dans un article de cinq pages[61], il a proposé pour la première fois, en 1926, son interprétation, l'année même où Schrödinger présente sa mécanique ondulatoire et quelques mois avant la formulation du principe d'indétermination par Heisenberg.

En s'opposant à l'interprétation réaliste que Schrödinger avait donné à la fonction d'onde, Max Born a offert une approche alternative qui, acceptée dans l'essentiel par Bohr et par Heisenberg, est devenue l'interprétation orthodoxe de la fonction d'onde. D'un côté, les expériences de diffraction d'électrons (expérience de la double fente) paraissaient indiquer que la fonction devait être quelque chose de physiquement réel et non simplement une représentation de notre connaissance, en montrant des phénomènes ondulatoires réels pour les systèmes microphysiques. Néanmoins, pour Max Born le caractère multidimensionnel de la fonction d'onde et de sa valeur complexe empêchaient de la considérer comme la représentation d'une onde réelle, comme le prétendait Schrödinger. Il était possible, toutefois, d'attribuer une signification expérimentale au carré de la valeur absolue de la fonction d'onde, qui sera toujours un nombre réel non négatif. Comme Born (1964 : 262) lui-même dans sa conférence pour le prix Nobel en 1954 l' admet, c'était Einstein qui lui avait donné l'idée, lorsqu'il avait précédemment interprété la dualité onde- particule dans le cas du photon en considérant que le carré de l'ampleur de l'onde lumineuse (c'est-à-dire, son intensité) donnait la densité de probabilité de l'existence de photons dans ce point. Max Born a appliqué cette idée à la fonction d'onde et a interprété $\varphi|^2$ comme la densité de probabilité de trouver un électron ou une autre particule quelconque dans un certain volume.

Il faut bien noter que $|\varphi|^2$ se réfère à un résultat obtenu dans un processus de mesure et non à une réalité microscopique objective : il s'agit de la probabilité qu'un

---

[60] Cf. Max Born (1964).

[61] Cf. M. Born (1926) et pour la traduction anglaise de cet article : cf. Wheeler & Zurek , 1983 : 52-55.

observateur trouve la particule s'il effectue une mesure, et non de la probabilité que la particule soit là tout simplement. Dans ce cadre interprétatif le problème de l'effondrement de la fonction d'onde, soulevé par von Neumann, en 1932, ne se pose pas. Il n'y a nul effondrement d'aucune onde réelle provoqué par notre mesure, mais un simple changement parfaitement explicable en notre état de connaissance sur le système : de l'état de ne pas savoir quelle valeur prendra une certaine variable, nous passons à l'état de connaître sa valeur avec exactitude. Ainsi selon l'interprétation probabiliste proposée par Born, la fonction d'onde était une expression de notre connaissance sur un événement et non la représentation des événements eux-mêmes.

Malgré toute discussion sur la référence réelle de la fonction d'onde, dans le Congrès de Solvay en 1927, la plupart des participants ont été disposés à maintenir l'interprétation probabiliste si le carré de la fonction d'onde était utilisé comme un instrument mathématique pour calculer les résultats possibles d'une mesure.

Des décennies plus tard, Heisenberg présente une autre possibilité d'accorder un certain type de réalité à la fonction, en parlant d'ondes de probabilité comme expression quantitative du concept aristotélicien de *potentia*. Pour Heisenberg, « l'onde de probabilité », dont le carré ($|\psi|^2$) indique la probabilité d'occurrence d'un événement, combine des éléments objectifs et subjectifs. Elle serait quelque chose comme une possibilité ou tendance, qui est actualisée par l'action de l'observateur. Ainsi, il affirme :

> La fonction de probabilité combine des éléments objectifs et des éléments subjectifs : elle contient des énoncés sur les possibilités, ou sur les tendances, les plus probables (*potentia*, dans la philosophie d'Aristote), et ces énoncés sont complètement objectifs et ne dépendent aucunement de l'observateur; et elle contient des énoncés concernant ce que nous connaissons du système, lesquels sont naturellement subjectifs dans la mesure où ils peuvent différer d'un observateur à un autre (Heisenberg (1961 : 48).

Ce rôle donné par Heisenberg à l'observateur a été critiqué par certains philosophes, comme K. Popper (1996), pour qui, il conduisait à une espèce d'interprétation philosophique subjectiviste de la mécanique quantique. Néanmoins, cette subjectivité dont parle Heisenberg doit être comprise dans un sens très particulier

et non pas dans le sens selon lequel le système observé dépend d'une certaine manière de la conscience de l'observateur.

> La théorie quantique ne comporte certes pas de caractéristiques vraiment subjectives, car elle n'introduit pas l'esprit du physicien comme faisant partie d'un phénomène atomique ; mais elle part de la division du monde entre « objet » et reste du monde, ainsi que du fait que nous utilisons pour notre description les concepts classiques, du moins en ce qui touche le reste du monde. (Heisenberg (1961 : 51-2).

En contraste avec l'interprétation proposée par Bohr, Heisenberg fait référence à quelque chose d'objectif qui serait inhérent à l'objet avant d'être observé. Bohr, de son côté, interprète le caractère probabiliste de la fonction d'onde, mis en évidence par la règle de Born, comme dû au fait que le quantum d'action est indivisible. Ce que nous pouvons connaître de l'objet observé est toujours le résultat de son interaction avec les instruments d'observation. C'est pour cela que les processus élémentaires mettant en jeu une action égale au quantum d'action ne peuvent pas être prédits de manière déterministe à l'aide des équations différentielles de la mécanique classique. La seule prédictibilité possible concernant ces processus est *probabiliste*. Tous les concepts quantiques, même quand ils sont censés décrire un système dépendant d'un petit nombre de degrés de liberté, ont donc un contenu probabiliste inaliénable. La fonction d'onde n'a ainsi pour Bohr aucun contenu réel, mais est tout simplement un outil prédictif qui nous permet d'anticiper de façon probabiliste les résultats expérimentaux.

Du fait qu'on n'a plus de prédictions déterministes, non seulement Bohr, mais la majorité des physiciens concluent que la mécanique quantique entraîne nécessairement à renoncer à une description causale des processus microphysiques. Cette conclusion, comme nous allons le voir, ne sera pas partagée par les néokantiens G. Hermann et E. Cassirer, qui considèrent que la prédiction déterministe et la description causale ne sont pas identifiables.

4.6. La quatrième condition de limitation : le principe d'incertitude

Les relations d'incertitude d'Heisenberg constituent une composante essentielle de l'interprétation complémentaire de Bohr et de celle usuellement appelée de Copenhague. Dans son célèbre article, rédigé en 1927, pendant la période où il a été à l'Institut de Physique Théorique, dirigé par Bohr, à l'Université de Copenhague, Heisenberg nous introduit ses fameuses relations. L'article, intitulé '*Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik',* a été publié cette même année[62]. Les relations d'incertitude, nommées aussi inégalités d'Heisenberg, généralisent l'inégalité introduite par la loi de Planck à d'autres couples de variables dont le produit a la dimension d'une action. Ces couples peuvent être, par exemple, une coordonnée spatiale et la composante correspondante de l'impulsion, le moment cinétique et l'orientation angulaire ou l'énergie et le temps. Dans le cadre de l'interprétation complémentaire, la limitation principale introduite par ces inégalités est essentiellement liée au contexte expérimental. Elles signifient que certaines paires de variables ne peuvent être mesurées simultanément avec des précisions arbitraires : la précision sur la mesure de l'une entraîne l'imprécision sur la mesure de l'autre.

Ainsi Heisenberg résume la relation d'incertitude entre la position et l'impulsion pour une particule subatomique comme un électron : « plus la position est déterminée avec précision, moins précisément l'impulsion est connue et vice versa »[63].

A cause des implications profondes tant scientifiques que philosophiques introduites par les relations d'Heisenberg, on parle souvent d'un principe d'incertitude, appelé aussi de principe d'indétermination. Néanmoins, c'est une matière controversée de savoir si les relations d'incertitude expriment vraiment un principe de la mécanique quantique. J. Bub (2000), par exemple, dans sa proposition de reconstruction de la mécanique quantique comme une théorie qui se fonde sur des principes, n'utilise pas les relations d'incertitude comme un de ses principes fondamentaux. Bien avant, Karl Popper (1967), avait argumenté philosophiquement que les relations d'incertitude ne pouvaient pas soutenir le statut de principe dans la mesure où elles ont été dérivées de la

---

[62] Pour la traduction anglaise de cet article : cf. Wheeler & Zurek , 1983 : 62-84.

[63] "The more precisely the position is determined, the less precisely the momentum is known, and conversely". (Heisenberg (1927), 1983 : 64)

théorie et non vice versa. En revanche, on trouve d'autres arguments en faveur de la thèse selon laquelle les relations de Heisenberg constituent vraiment l'un des principes fondamentaux de la théorie quantique[64]. Si du point de vue scientifique la question est ainsi très discutée, c'est, par contre, clairement sûr qu'elles constituent un des principes de l'interprétation de Copenhague ou, comme on a choisi de l'adopter, de l'interprétation complémentaire de la mécanique quantique.

Les relations d'incertitude établissent alors que le produit des dispersions sur la mesure de deux variables conjuguées est toujours supérieur ou égal à une constante positive. Ainsi pour la position et l'impulsion nous avons la relation suivante:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

La caractéristique la plus étrange de cette inéquation se manifeste quand on se demande ce qui doit arriver à un objet au moment d'une mesure pour que cette inéquation reste vraie. Si on fait, par exemple, une mesure très précise de position, de façon à ce que la dispersion des valeurs de la position devienne zéro, alors la dispersion de l'impulsion doit devenir infiniment grande. Ainsi, la détermination de l'endroit exact où se trouve l'objet fait que l'impulsion devient complètement incertaine. Analogiquement, si après une mesure précise de l'impulsion est effectuée, c'est-à-dire si la dispersion des valeurs de l'impulsion est rendue nulle, alors la dispersion des valeurs de la position doit devenir infiniment grande. Les relations de Heisenberg établissent ainsi que pour des paires de variables canoniques les expériences en physique atomique ne peuvent jamais être complètement déterminées.

Pour exemplifier cette idée, Heisenberg considère l'expérience de pensée par la mesure de la position d'un électron à travers un microscope électronique. La détermination d'une telle mesure est limitée par la longueur d'onde de la lumière qui illumine l'électron. Ainsi, il est possible, en principe, de mesurer la position avec la précision que l'on veut, mais à condition d'utiliser une source de lumière de longueur d'onde très petite, comme, par exemple les rayons γ. Néanmoins pour les rayons de ce type, l'effet Compton ne peut pas être ignoré. Ainsi l'interaction entre l'électron et la lumière qui l'illumine doit donc être considérée comme une collision d'au moins un photon avec l'électron. Dans cette collision, l'électron souffre un recul qui perturbe son

[64] Cf, par exemple, Hilgevoord, J. &Uffink, J. (1985).

impulsion. Heisenberg montre au moyen de sa relation d'incertitude qu'au moment où la position de l'électron est précisément déterminée, l'impulsion ne peut pas être précisément connue[65].

La façon dont il interprète l'incertitude soit de la position soit de l'impulsion de l'électron, dans cet article de 1927, prend la forme d'un principe épistémologique qui du point de vue kantien a des conséquences intéressantes. Ce principe établit des limites à ce qu'on peut connaître à propos de l'électron. Il impose aussi des restrictions à l'usage de nos concepts classiques. Pour justifier l'incertitude intrinsèque aux processus atomiques, Heisenberg admet, dans son article, une définition opérationnelle, très proche de celle adoptée par Bohr, pour des termes issus du vocabulaire classique comme c'est le cas pour la 'position d'une particule'. Selon lui, un terme comme cela n'a de signification que si l'on spécifie l'expérience dont la 'position de la particule' peut être mesurée :

> Si on veut être clair au sujet de ce que signifie « position d'un objet », par exemple d'un électron (relativement à un cadre donné de référence), alors on doit indiquer les expériences définies par lesquelles la « position d'un électron » peut être mesurée ; autrement ce terme n'a aucune signification[66].

Ainsi selon Heisenberg tous les concepts de la mécanique classique sont aussi bien définis dans le domaine des processus atomiques, mais à la condition d'être limités à un cadre expérimental bien spécifié. Les expériences qui servent à la définition d'un concept sont soumises à certaines indéterminations qui obéissent aux relations d'incertitude. Celles-ci ne permettent pas une définition simultanée des deux variables canoniques conjuguées. Heisenberg parle ainsi, comme le fait aussi Bohr, d'une limite à la définition des concepts. On peut voir cela, dans une perspective transcendantale, comme un déplacement des conditions de possibilité de la connaissance de ce qu'on

---

[65] "At the instant of time when the position is determined - therefore, at the moment when the photon is scattered by the electron - the electron undergoes a discontinuous change in momentum. This change is the greater the smaller the wavelength of the light employed – that is, the more exact the determination of the position. At the instant at which the position of the electron is known, its momentum therefore can be known up to magnitudes which correspond to that discontinuous change. (Heisenberg (1927), 1983: 64).

[66] "When we want to be clear about what is to be understood by the words "position of the object", for example of an electron (relative to a given frame of reference), then one must specify definite experiments by with whose help on plans to measure the "position of an electron"; otherwise this word has no meaning ."(Heisenberg (1927), 1983 :64)

peut connaître à ce qu'on peut dire avec sens sur une particule. Ce déplacement du sens même du transcendantal doit s'accomplir pour rendre compte de la formulation contenue dans le principe d'incertitude. Cette question, qui implique un changement par rapport au transcendantal kantien, sera analysée en détail dans la partie finale de ce travail. Pour l'instant nous sommes intéressés par les limitations imposées au projet original kantien.

Une autre conséquence épistémologique intéressante qui découle de cette limitation réciproque de la précision de la valeur de deux variables conjuguées concerne sa portée exclusivement prédictive. Elle a été bien analysée par Michel Bitbol (1996 : 270-275) qui rattache le sens de précision contenu dans les relations à celui de prévision :

> Quelle que soit la *précision* que l'on pourra atteindre lors de la mesure consécutive de Q, la *prévision* de la valeur qu'elle donnera est par conséquent rendue extrêmement aléatoire par la grande précision de la mesure préalable de P. On peut dire si l'on veut que la *prévision* de la valeur de Q est rendue « imprécise » par la grande précision de la mesure antérieure de P. La prévision de la valeur est imprécise et non pas la valeur elle-même. (Bitbol, 1996 : 273)

C'était d'ailleurs Heisenberg lui-même qui avait soutenu que les relations d'incertitude ne sont pas valables pour le passé. En effet lorsque Heisenberg se réfère à l'incertitude d'une quantité physique, il veut dire que la valeur de cette quantité ne peut pas être indiquée à l'avance. Dans l'expérience de pensée qu'il propose, l'incertitude de l'impulsion, après que se soit produite la mesure de la position, se rapporte à l'idée que la valeur de l'impulsion n'est pas fixée avant que la mesure de l'impulsion finale ait lieu. Une fois que cette mesure est effectuée, en indiquant une valeur P_f, la relation d'incertitude ne tient plus ; ces valeurs appartiennent alors au passé. Heisenberg est donc clairement concerné par *l'imprévisibilité*: le point n'est pas que l'impulsion d'une particule change, en raison d'une mesure de position, mais plutôt qu'il change d'une quantité imprévisible. Il est, toutefois, toujours possible de mesurer, avec une précision arbitraire, et par conséquent de définir, la dimension du changement dans la mesure suivante de l'impulsion finale. Bien qu'Heisenberg admette que nous pouvons de façon consistante attribuer des valeurs à l'impulsion et à la position d'un électron dans le passé, il voit peu de mérite dans un tel entretien. Il précise que ces valeurs ne peuvent

jamais être employées en tant que conditions initiales pour la prévision du comportement futur de l'électron ni même être soumises à la vérification expérimentale.

Pour expliquer cependant pourquoi la mesure d'une quantité physique change la dérivation des valeurs d'autres quantités, Heisenberg, dans son article de 1927, a suggéré l'hypothèse de la perturbation. Cela consiste à dire que la mesure dérange ou perturbe l'objet. A cause de la mesure de la position, par exemple, l'impulsion de l'électron changerait d'une manière incontrôlable[67]. Ainsi la limitation théorique exprimée par le principe d'indétermination serait due à une limitation de type pratique : la perturbation inévitable que produisent les instruments de mesure sur le système microphysique dans tout acte d'observation[68]. Cela empêcherait d'augmenter la précision au-dessus de la limite prescrite. En physique classique la perturbation causée par les instruments sur le système observé était calculable et, en principe, évitable au moyen des améliorations expérimentales adéquates, passible même d'être minimisée, jusqu'à la rendre insignifiante. En revanche, en physique quantique, l'individualité du quantum d'action et son importance dans le contexte atomique, transformait cette perturbation en quelque chose d'irréductible et d'incontrôlable. Cette explication présupposait que le système microphysique possédait avant l'observation des valeurs déterminées pour les variables considérées et que ces valeurs seraient modifiées par l'action de nos instruments dans l'acte d'observation. A cause de cela les valeurs en soi du système quantique deviendraient inconnues pour toujours. L'indétermination ne serait donc pas une caractéristique du système, mais une limitation dans notre capacité à le connaître. Cette présupposition était l'idée sous-jacente au moins dans l'exemple de Heisenberg du microscope de rayons gamma. Or, une telle explication ouvre les portes à la possibilité d'imaginer des mesures qui ne perturbent pas le système, comme, par exemple, celle qu'ont décrite Einstein, Podolsky et Rosen (1935) dans la célèbre expérience de pensée.

---

[67] "For plainly even in classical theory only the probability of a definite position for the electron can be given as long as we do not know the phase of [the motion of the electron in] the atom. The distinction between classical and quantum mechanics consists rather in this: classically we can always think of the phase as determined through suitable experiments. In reality, however, this is impossible, because every experiment for the determination of phase perturbs or changes the atom" [Heisenberg (1927), 1983 : 66].

[68] Cette thèse de la perturbation a été aussi défendue vigoureusement par von Neumann, dans son œuvre de 1932. Il affirme, par exemple : « Or, remarquons tout d'abord que ses dernières affirmations sont

Ainsi quelques difficultés s'imposent à l'hypothèse « perturbatrice ». Si la cause de la déviation était les dispositifs de mesure, il serait cependant difficile de comprendre pourquoi les différents instruments de mesure accomplissent la même inéquation. On peut en principe mesurer n'importe quelle quantité avec différents appareils de mesure. Mais, les dispositifs divers ne dérangeraient-ils pas le système observé de différentes manières? Néanmoins, les relations d'incertitude de Heisenberg sont valables pour tous les appareils de mesure; jusqu'ici personne n'a pu trouver une dépendance de la dispersion à l'égard d'un appareil de mesure spécifique.

En fait, si l'interprétation « perturbatrice » était correcte, alors il conviendrait de penser, comme l'a fait Einstein, que la théorie quantique n'était pas une théorie complète, parce qu'elle aurait été incapable d'expliquer pourquoi il y a certaines valeurs bien définies du système et d'autres qui ne le sont pas. Dans sa réponse à EPR, Bohr (1935) s'est chargé immédiatement de lever tout doute à ce sujet. Il a cherché à attirer l'attention sur l'impossibilité de traiter l'instrument de mesure et le système quantique observé comme deux organismes indépendants.

Arthur Fine (1986) soutient c'était la réponse de Bohr au paradoxe EPR qui a conduit à l'abandon de l'explication « perturbatrice », que lui même avait défendue lors du Congrès de Solvay en 1927. Il conclut que « l'article de EPR a réussi à neutraliser la doctrine de Bohr de la perturbation. Il a forcé Bohr à s'enfermer dans une notion de perturbation purement sémantique et, de ce fait, il a enlevé la base physique plausible et intuitive des idées de Bohr »[69]. Ainsi selon Fine, Bohr au début a accepté l'explication perturbatrice parce qu'elle était la meilleure explication pour l'indétermination quantique et c'est le paradoxe EPR que l'a fait changer d'avis et comprendre son erreur.

Contrairement à Fine, H. Folse (1985) soutenait déjà que l'explication « perturbatrice » venait de Heisenberg et non de Bohr et que celui-ci l'a réprouvée dès le début, à partir du moment où il s'est aperçu du choc avec son principe de complémentarité. H. Folse (1985) nous présente la position bohrienne de la façon suivante :

---

fausses, parce que nous n'avons aucunement tenu compte du fait que la mesure perturbe nécessairement le système sur lequel elle opère » (Von Neumann, 1946 : 209)

[69] "I think it is fair to conclude that the EPR paper did succeed in neutralizing Bohr's doctrine of disturbance. It forced Bohr to retreat to a merely semantic disturbance and thereby it removed an otherwise plausible and intuitive physical basis for Bohr's ideas" (Fine, 1986: 35).

> Au lieu de supposer, comme l'a fait l'interprétation « perturbatrice », que le concept classique d'état du système représente de fait le système mais que le principe d'incertitude montre que celui-ci ne peut pas être connu, Bohr a essayé de montrer que le concept classique d'état du système est un but passible d'être attendu seulement si on suppose qu'il est possible d'appliquer au système en même temps le mode de description spatio-temporel et le mode de description causal. Puisque le postulat quantique implique que ceci est précisément ce qui ne peut pas être fait, le concept classique d'état mécanique d'un système n'est plus bien défini dans l'application aux objets de la description quantique. [70]

Bohr s'est montré très critique envers cette façon qu'a Heisenberg d' exprimer le problème de l'incertitude des variables conjuguées. Heisenberg lui-même dans son article de 1927 a ajouté une preuve additionnelle à la fin de son article, en référence aux remarques critiques de Bohr, qui n'a vu l'article qu'après son envoi aux éditeurs. L'un des points de désaccord était l'interprétation concernant l'expérience de pensée du microscope. Pour Bohr l'important n'était pas le changement d'impulsion de l'électron, mais plutôt les circonstances qui faisaient que ce changement ne pouvait pas être précisément déterminé au cours d'une même expérience[71]. Même avant 1935, dans sa fameuse conférence donnée à Côme (Italie), en 1927, publiée en 1928, Bohr présentait sa propre version de la dérivation des relations d'incertitude où ses différences par rapport à la vision de Heisenberg sont déjà présentes. Il déclare explicitement que l'incertitude n'est pas justifiée en termes de changement discontinu de l'électron pendant le processus de mesure. Il met l'accent plutôt sur la possibilité même de

---

[70] "Instead of assuming that the classical concept of the state of the system does indeed represent the system but that the uncertainty principle shows this cannot be known, as does the "disturbance" interpretation, Bohr tried to show that this classical concept of the system's state in an attainable goal only by assuming that it is possible to apply both spatio-temporal and causal modes of description to the system at the same time. Since the quantum postulate entails that this is precisely what cannot be done, the concept of the classical mechanical state of the system is no longer well-defined in application to the objects of quantum mechanical description" (Folse , 1985 : 132).

[71] "After the conclusion of the foregoing paper, more recent investigations of Bohr have led to a point of view which permits an essential deepening and sharpening of the analysis of quantum-mechanical correlations attempted in this work. In this connection Bohr has brought to my attention that I have overlooked essential points in the course of several discussions in this paper. Above all, the uncertainty in our does not arise exclusively from the occurrence of discontinuities, but is tied directly to the demand that we ascribe equal validity to the quite different experiments which show up in the corpuscular theory on one hand, and in the wave theory on the other hand." (Heisenberg, 1983: 83).

définition de ces quantités, comme on peut le lire dans le manuscrit daté du 12-13 octobre 1927 :

> Ces relations réciproques d'incertitude ont été décrites dans un article récent de Heisenberg comme expression de l'élément statistique qui, dû au dispositif de la discontinuité implicite dans le postulat quantique, caractérise n'importe quelle interprétation des observations au moyen de concepts classiques. Il doit se rappeler, cependant, que l'incertitude en question n'est pas simplement une conséquence d'un changement discontinu d'énergie et d'impulsion pendant une interaction entre la radiation et les particules matérielles dans la mesure des coordonnées spatio-temporelles des entités individuelles. Selon les considérations ci-dessus la question est plutôt celle de l'impossibilité à définir rigoureusement un tel changement quand la coordination spatio-temporelle des individus est également considérée.[72]

Bohr rejette ainsi l'argument de Heisenberg selon lequel les relations d'incertitude sont dues à la perturbation discontinue impliquée par l'acte de mesure. A cause des remarques critiques de Bohr, Heisenberg semble avoir abandonné cette explication, même si beaucoup de scientifiques et de manuels de physique continuent à la lui attribuer comme si elle était son avis définitif. Ainsi, par exemple, Heisenberg répond à ceux, qui comme Einstein, prétendaient trouver l'ancien idéal de décrire ce qui se passe réellement indépendamment de nos observations :

> Demander que l'on « décrive ce qui se passe » dans le processus quantique entre deux observations successives est une contradiction *in adjecto*, puisque le mot « décrire » se réfère à l'emploi des concepts classiques, alors que ces concepts ne peuvent être appliqués dans l'intervalle séparant deux observations et ne peuvent l'être qu'aux points d'observation. (Heisenberg, 1961 : 188)

Ainsi le mot « décrire » est relatif à une situation expérimentale donnée, où ne nous pouvons pas faire abstraction de l'appareillage de mesure. L'explication décidée

---

[72] These reciprocal uncertainty relations were given in a recent paper of Heisenberg (Zs. F. Phys. [**43**, 172-198] 1927) as the expression of the statistical element which, due to the feature of discontinuity implied in the quantum postulate, characterizes any interpretation of observations by means of classical concepts. It must be remembered, however, that the uncertainty in question is not simply a consequence of a discontinuous change of energy and momentum say during an interaction between radiation and material particles employed in measuring the space-time coordinates of the individuals. According to the

finalement par Bohr et Heisenberg sur le principe d'indétermination se base sur la thèse de Bohr du holisme phénoménal, c'est-à-dire le phénomène quantique considéré comme un tout inséparable, formé par le système quantique et l'instrument de mesure. Cependant, un peu plus tard, Heisenberg (1961) essayera d'attribuer un certain type de réalité « potentielle » aux propriétés du système avant l'observation.

Néanmoins, pour Bohr, puisqu'il ne convient pas de considérer séparément le système observé et l'instrument employé, il ne convient pas non plus de parler des propriétés du système comme si elles étaient indépendantes de l'instrument de mesure. Avant de mesurer, il n'est pas du tout possible d'attribuer au système microphysique certains attributs de façon définie. Seulement après l'acte de mesure, et dans le contexte de la situation expérimentale complète, il peut être dit que le système acquiert une valeur définie pour ces attributs. Autrement dit, avant que quelqu'un l'observe, un'électron n'a pas de position ou de vitesse concrétisées ; quand on mesure sa position ou sa vitesse, le même processus de mesure fait que l'électron acquiert une position ou une impulsion déterminées, mais si on mesure sa position avec une grande exactitude la situation expérimentale exclut de faire la même chose pour la mesure de l'impulsion (et vice versa), puisque dans chaque cas des différentes interactions sont en jeu.

Dans son article publié en français en 1939, intitulé 'Le problème causal en physique atomique', il critique aussi une autre idée de son collaborateur qui croit que le processus de mesure crée des attributs physiques comme c'est le cas de l'exemple de la trajectoire donné par Heisenberg. Selon celui-ci une mesure sert non seulement à donner une signification à une quantité physique, mais elle *crée* une valeur particulière pour cette quantité. Par exemple, il écrit, « je crois qu'on peut formuler l'émergence de 'l'orbite' classique de la façon suivante : 'l'orbite' se produit seulement quand nous l'observons »[73] . A ce propos Bohr remarque :

> Le caractère inaccoutumé de la situation devant laquelle on se trouve en théorie quantique nécessite la plus grande prudence dans toutes les questions de terminologie. Parler, comme on le fait souvent, de la perturbation d'un phénomène par l'observation ou même de la création, par des processus de

---

above considerations the question is rather that of the impossibility of defining rigorously such a change when the space-time coordination of the individuals is also considered. (Bohr, 1985: 93; *BCW*6)

> mesure, d'attributs physiques aux objets, peut en effet prêter à confusion, puisque toutes les phrases semblables impliquent un écart aux conventions de base du langage qui, bien que parfois pratique par souci de brièveté, ne peut jamais être sans équivoque. (Bohr, 1939: 25)

Et dans son article de 1949, 'Discussion avec Einstein sur des problèmes épistémologiques de la physique atomique', Bohr revient sur ce point de façon très incisive :

> Je mis tout particulièrement en garde contre des formulations que l'on rencontre souvent dans la littérature physique comme « perturber les phénomènes par l'observation » ou « créer par la mesure des attributs physiques des objets atomiques ». Ces tournures, qui peuvent servir à rappeler les paradoxes apparents de la théorie quantique, sont aptes en même temps à créer la confusion, car des mots tels que « phénomène » et « observation », aussi bien qu' « attributs » et « mesures » sont utilisés d'une façon difficilement compatible avec le langage ordinaire et leur définition pratique. (Bohr, 1991 : 244).

Bohr désapprouve aussi les formulations du principe d'incertitude en termes d'inexactitude de la mesure expérimentale :

> Il ne serait en particulier pas hors de propos à cet égard de mettre en garde contre un malentendu qui surgit probablement lorsqu'on essaye d'exprimer le contenu des relations bien connues de l'indétermination de Heisenberg -(...)- par une phrase telle que : « la position et l'impulsion d'une particule ne peuvent pas simultanément être mesurées avec une précision arbitraire ». Selon une telle formulation cela serait comme si nous devions faire une renonciation arbitraire de la mesure de l'un ou de l'autre des deux attributs bien définis de l'objet, ce qui n'exclurait pas la possibilité d'une future théorie tenant compte des deux attributs sur les lignes de la physique classique. A partir des considérations ci-dessus il devient clair que la situation entière de la physique atomique prive de

[73] "I believe that one can fruitfully formulate the origin of the classical "orbit" in this way: the "orbit" comes into being only when we observe it" (Heisenberg (1927), 1983 :73).

> toute signification de tels attributs inhérents comme on attribuerait à l'objet les idéalisations de la physique classique[74].

Bohr défendait, plus sûrement que Heisenberg, l'usage essentiellement pragmatique des concepts classiques. Toute tentative d'attribution d'éléments de réalité à ces concepts amène à des ambiguïtés insolubles :

> Il convient de rappeler ici que, même dans la relation d'indétermination, nous avons affaire à une conséquence du formalisme qui défie toute expression non ambiguë par des mots adaptés aux images de la physique classique. Ainsi une phrase telle que « nous ne pouvons pas connaître à la fois l'impulsion et la position d'un objet atomique » pose immédiatement des questions sur la réalité physique de tels attributs de l'objet ; et ces questions ne peuvent trouver de réponse que si l'on se réfère aux conditions nécessaires à un usage non ambigu des concepts d'espace et de temps d'une part, et, de l'autre, des lois dynamiques de conservation. (Bohr (1949), 1961 : 209).

Selon Bohr, les inégalités d'Heisenberg font ressortir une nouvelle conception du phénomène physique selon laquelle on ne peut plus faire abstraction des conditions de l'observation. Ainsi, si par exemple les conditions de l'observation sont adaptées à la mesure de la position elles ne le sont pas à celle de l'impulsion.

> On peut considérer cette incertitude essentielle comme l'expression des représentations intuitives dans la description des phénomènes atomiques ; c'est cette limitation qui s'était présentée sous l'apparence d'un dilemme dans la question de la nature de la lumière et de la matière. (Bohr, 1932 : 103-4 ; 'La théorie atomique et les principes fondamentaux de la description des phénomènes' (1929))

D'une manière générale Bohr a considéré les relations de Heisenberg comme une expression de sa notion générale selon laquelle notre compréhension des phénomènes

---

[74] "It would in particular not be out of place in this connection to warn against a misunderstanding likely to arise when one tries to express the content of Heisenberg's well known indeterminacy relations -(…)- by such a statement as : "the position and momentum of a particle cannot simultaneously be measured with arbitrary accuracy." According to such a formulation it would appear as though we had to do with some arbitrary renunciation of the measurement of either the one or the other of two well-defined attributes of the object, which would not preclude the possibility of a future theory taking both attributes into account on the lines of the classical physics. From the above considerations it should be clear that the whole situation in atomic physics deprives of all meaning such inherent attributes as the idealizations of classical physics would ascribe to the object". (Bohr 1937a: 292-3)

atomiques s'établit sur des descriptions complémentaires. C'est cette notion de complémentarité, essentiellement philosophique, qui selon Bohr est à la mécanique quantique, comme la notion de causalité est à la mécanique classique, le pilier central de l'approche bohrienne.

4.7. La cinquième condition de limitation : le principe de complémentarité

C'est à Côme en 1927 que Bohr (1928)[75] a présenté pour la première fois ses idées selon lesquelles certaines descriptions mutuellement exclusives seraient complémentaires. A la différence du principe d'incertitude, qui peut être mathématiquement dérivé des relations de commutation du formalisme quantique, le principe de complémentarité est un principe philosophique général dont le but est de fournir une interprétation cohérente des processus quantiques. Son ampleur, d'ailleurs, transcende les limites de la théorie quantique. Bohr lui-même a généralisé l'idée de la complémentarité pour d'autres domaines de la connaissance très variés tels que, par exemple, les relations complémentaires entre la conscience et le cerveau, l'instinct et la raison, la nature et la culture. En effet, Bohr a étendu le concept de complémentarité au-delà de la physique à trois autres domaines : ceux de la psychologie (Bohr, 1939b, 1955) de la biologie (Bohr, 1937b) et de l'anthropologie (Bohr, 1939b).

Dans le contexte de la mécanique quantique, où le concept a été originellement employé et de façon plus rigoureuse, Bohr le considérait comme une conséquence nécessaire de l'individualité du quantum d'action. A cause de celui-ci les concepts de la physique classique ne sont pas sans restriction applicables dans le domaine atomique. L'application de certains concepts classiques dans la description d'un phénomène quantique exclut l'applicabilité d'autres concepts qui dans la physique classique peuvent accompagner sans problème les premiers. On peut effectuer, par exemple, une caractérisation spatio-temporelle d'un système microphysique (déterminer sa position à un instant donné), mais on ne peut pas en revanche déterminer les valeurs de l'énergie et

[75] Cette conférence a été publiée en plusieurs versions, dont la traduction française apparaît en 1932 sous le titre 'Le postulat quantique et le dernier développement de la théorie quantique' dans le livre *La théorie atomique et la description de phénomènes.*

de l'impulsion, qui sont nécessaires pour caractériser des processus causaux du système par l'application des lois respectives de conservation ; et vice versa, si l'on détermine les valeurs de ces dernières (énergie et impulsion), on ne peut pas faire la même chose aux premiers (position et temps). De même, il est possible de déterminer le comportement du système en tenant compte à ses aspects corpusculaires, ou bien en tenant compte de ses aspects ondulatoires, puisqu'un système microphysique permet les deux possibilités, mais il n'est pas possible de déterminer les deux aspects simultanément. Les conditions expérimentales dans lesquelles le système est susceptible d'être décrit comme particule excluent les conditions expérimentales dans lesquelles il est susceptible d'être décrit comme onde.

Bohr appelle ces possibilités alternatives des 'descriptions complémentaires '. Elles sont complémentaires dans un sens très particulier. Il se réfère avant tout à une relation d'exclusion mutuelle entre deux termes qui ne se trouvent jamais ensemble dans une même description. Et en même temps, étant mutuellement exclusifs à chacune des deux descriptions distinctes, ils sont tous les deux nécessaires pour donner une caractérisation complète du système microphysique. Mais il n'y a en cela aucune contradiction, puisque pour Bohr ces descriptions se rapportent au phénomène quantique, c'est-à-dire, à l'ensemble du système observé et de l'instrument d'observation, qui ne peuvent être considérés indépendamment l'un de l'autre, et non à la réalité objective. Si elles étaient des descriptions de la réalité objective, il faudrait leur attribuer la possession simultanée de caractéristiques contradictoires. Les descriptions classiques en termes d'onde ou de particule ne seraient pas applicables pour ce motif à une réalité extérieure. Elles ne peuvent se rapporter qu'à la manière dans laquelle la réalité nous apparaît dans le contexte des conditions expérimentales. C'est seulement dans ce cas qu'elles sont applicables de manière complémentaire.

Il est intéressant de remarquer que Bohr a énoncé de plusieurs façons différentes son principe de complémentarité dans le contexte de la discussion sur les fondements de la mécanique quantique. On le trouve parfois formulé en termes de complémentarité entre deux formes de description du monde : corpusculaire et ondulatoire. Il a aussi présenté son principe en exprimant la complémentarité entre l'usage des concepts classiques comme la position et l'impulsion. Néanmoins, une formulation qui nous intéresse pour l'instant est celle énoncée en termes essentiellement kantiens. C'est cette

dernière formulation qu'il a choisie de présenter pour la première fois en public à l'occasion de sa conférence à Côme, en parlant de la complémentarité entre les deux formes de structuration de la connaissance : l'intuition spatio-temporelle et le principe de causalité. Bohr (1932 : 50) affirme en effet : le postulat quantique « nous oblige à renoncer à une description à la fois causale et spatio-temporelle des phénomènes atomiques ».

Catherine Chevalley (1991a : 72) résume l'application bohrienne du clivage intuition/concept dans les contextes classique et quantique par le tableau suivant :

Physique Classique	***Théorie quantique***
présentation du phénomène dans l 'espace et le temps [idéalisation] **et** principe de causalité [définition]	présentation du phénomène dans l 'espace et le temps [idéalisation] **ou** principe de causalité [définition]

On voit que cette façon de présenter, soit par la conjonction classique, soit par la disjonction quantique, entre l'intuition spatio-temporelle et le principe de causalité, même si Bohr ne mentionne pas le nom de Kant, c'est déjà placer les choses sous le paradigme kantien. Comme nous l'avons vu dans la partie précédente de ce travail, le caractère nécessaire et *a priori* de la physique classique est rendu compréhensible chez Kant par la synthèse entre intuition et concepts. Une synthèse attribuée par Kant à l'imagination transcendantale afin de rendre possible l'action de l'entendement sur la sensibilité. Maintenant, vis-à-vis de la nouvelle situation de la mécanique quantique, Bohr propose à travers la notion de complémentarité, une limitation radicale à la notion même de synthèse transcendantale. Cette limitation atteint le cœur de la doctrine kantienne du schématisme, puisque l'exigence de la composition simultanée des deux ingrédients basiques de la cognition (intuition plus concepts) pour constituer l'objet de la connaissance ne se vérifie plus. Néanmoins, en utilisant les mêmes ingrédients, Bohr

propose une autre espèce de synthèse très particulière. Une synthèse, disons, disjonctive ou complémentaire, où les deux exigences ne peuvent pas être présentes à la fois, mais qui sont toutes les deux nécessaires pour rendre compte de façon complète du processus quantique. Il n'y a pas ainsi un renoncement du principe de causalité ou de l'intuition spatio-temporelle, comme on la trouve parfois cité, mais un renoncement à la description simultanément causale et spatio-temporelle.

Heisenberg dans *Les principes physiques de la Théorie des Quanta* exprime le caractère complémentaire entre l'intuition spatio-temporelle et le concept de causalité de la manière suivante :

> Associer une cause déterminée à un effet déterminé n'a de sens que si nous pouvons observer à la fois cause et effet sans en même temps intervenir et troubler leur relation. La loi de causalité sous sa forme classique ne peut donc, à cause de son caractère même, être définie que pour des systèmes fermés. Mais, en général, dans la physique atomique, toute observation est accompagnée d'une perturbation finie et en partie incontrôlable comme on devait s'y attendre dans cette physique du très petit. D'autre part, toute description d'un fait physique dans l'espace et le temps nécessite son observation ; il en résulte que la description des faits dans l'espace et le temps d'une part, et la loi classique de causalité d'autre part, représentent des aspects des faits complémentaires et qui s'excluent l'un l'autre. (Heisenberg, 1932 : 51-52)

L'approximation qu'on peut établir au début entre les fondateurs de la mécanique quantique et Kant identifiée dans l'usage du vocabulaire kantien des termes 'intuition' et 'concept', semble être rompue après la lecture de ce passage du texte de Heisenberg. C'est l'unité même du schématisme qui se trouve brisée, donc la synthèse transcendantale entre intuition et concepts. Or, le schème transcendantal représente bien la médiation entre le côté intellectuel, celui des catégories, et le côté sensible, celui de l'intuition (Cf. Kant, 1980d : 884-5 ; A138/B177 ; Ak III, 134). Quand on dissocie l'intellectuel du sensible, c'est un coup mortel au fondement même de la méthode transcendantale kantienne.

Heisenberg lui-même résume l'exclusion mutuelle entre l'intuition spatio-temporelle et la catégorie de causalité exigée par le principe de complémentarité dans le tableau suivant :

<table>
<tr><th>Théorie Classique</th><th colspan="3">Théorie des Quanta</th></tr>
<tr><td></td><td>Soit</td><td></td><td>Soit</td></tr>
<tr><td>Description des phénomènes dans l'espace et le temps</td><td>Description des phénomènes dans l'espace et le temps</td><td rowspan="2">Alternatives reliées statistiquement</td><td>Schéma mathématique ne correspondant ni à l'espace ni au temps</td></tr>
<tr><td>Causalité</td><td>Relations d'indétermination</td><td>Causalité</td></tr>
</table>

Ainsi Bohr et Heisenberg admettent une limite de validité des notions *a priori* kantiennes, fixée par le principe de complémentarité. Si d'une part ils reconnaissent l'impossibilité de toute sorte de description intuitive des événements microphysiques, étant donné que le formalisme de la théorie quantique ne se déroule pas dans l'espace tridimensionnel habituel, mais dans un espace de phases multidimensionnel, d'autre part, ils affirment l'impossibilité d'éliminer totalement les représentations intuitives classiques de l'observation physique. Le principe de complémentarité définit justement pour ainsi dire la place des images intuitives dans les phénomènes atomiques.

Pour Bohr, les concepts de la physique moderne sont essentiellement une prolongation de notre langue ordinaire et des moyens de communiquer les résultats de nos expériences même s'ils semblent très abstraits et subtils. Ce sont les résultats obtenus dans des circonstances expérimentales bien définies que Bohr appelle les « phénomènes » :

> Il est certainement beaucoup plus conforme à la structure et à l'interprétation du symbolisme de la mécanique quantique, ainsi qu'au principes épistémologiques élémentaires, de réserver le mot « phénomène » à la compréhension des effets observés sous des conditions expérimentales données. (Bohr, 1939: 25-26)

Le phénomène quantique est donc le résultat de l'interaction entre l'objet physique et le dispositif de mesure dans une situation expérimentale concrète, exprimé par les termes de notre langage ordinaire :

> Dans cette situation, nous sommes confrontés à la nécessité d'une révision radicale des fondements de la description et de l'explication des phénomènes physiques. Ici, il faut surtout reconnaître que, toutefois si loin que ce soit les effets quantiques dépassent la portée de l'analyse de la physique classique, le récit de l'arrangement expérimental et le registre des observations doivent toujours être exprimés en langage commun complété par la terminologie de la physique classique. Cela est une simple demande logique, étant donné que le mot « expérience » ne peut en essence qu'être utilisé en rapport à la situation où nous pouvons parler aux autres ce que nous avons fait et ce que nous avons appris. [76].

Un phénomène est, selon Bohr, toujours décrit en termes classiques[77]. Néanmoins, dans chaque phénomène l'interaction entre l'objet et l'appareil comporte au moins un quantum. Mais la description du phénomène doit employer les notions classiques dans lesquelles le quantum d'action ne se produit pas. Par conséquent, l'interaction ne peut pas être analysée dans cette description. En outre, le caractère classique de la description nous permet de parler en termes d'objet lui-même. Au lieu de dire : 'l'interaction entre une particule et une plaque photographique a eu comme conséquence une tache noire dans un certain endroit sur la plaque', on renonce à mentionner l'appareil et on dit tout simplement: 'la particule a été trouvée à cet endroit'. Le contexte expérimental, plutôt que le changement ou la perturbation des propriétés préexistantes de l'objet, définit ce qui peut être dit significativement au sujet de l'objet.

Puisque l'interaction entre l'objet et l'appareil est laissée de côté dans notre description du phénomène, nous n'obtenons pas l'image descriptive du phénomène quantique toute entière. Cependant, toute tentative de prolonger notre description en effectuant la mesure sur une quantité observable différente, produit toujours un nouveau

---

[76] In this situation, we are faced with the necessity of a radical revision of the foundation for the description and explanation of physical phenomena. Here, it must above all be recognized that, however far quantum effects transcend the scope of classical physical analysis, the account of the experimental arrangement and the record of the observations must always be expressed in common language supplemented with the terminology of classical physics. This is a simple logical demad, since the word "experiment" can in essence only be used in reffering to a situation where we can tell others what we have done and ahat we have learned. (Bohr, 1948: 313; BCW7, 331)

[77] E. Scheibe (1973 : 24) a considéré cette condition comme un autre postulat de l'interprétation complémentaire que Bohr, lui même, n'a pas nommé. Scheibe a appelé ce postulat de « postulat amortisseur » (*buffer postulate*). 'Amortisseur' dans le sens d'empêchement du quantum de pénétrer dans

phénomène et nous sommes à nouveau confrontés à la même situation. En raison de l'interaction inanalysable dans les deux mesures, les deux descriptions ne peuvent pas, généralement, être unies dans une image simple. Elles sont ce que Bohr appelle des descriptions complémentaires :

> [le postulat fondamental de l'indivisibilité du quantum d'action]... nous conduit, en raison de la connexion entre les phénomènes et leur observation, à un mode de description *complémentaire* ; ce mode de description est ainsi appelé parce que toute application de concepts classiques y exclut l'emploi simultané de certains autres concepts classiques, tout aussi nécessaires en d'autres circonstances à l'explication des phénomènes. (Bohr, 1932: 9)

En outre, la limitation introduite par le principe de complémentarité n'est pas surmontable. Cela veut dire qu'on ne peut pas tout simplement remplacer ces concepts classiques par d'autres concepts nouveaux, parce que l'expression des expériences obtenues à travers nos instruments d'observation ne peut pas se passer d'eux. P. Feyerabend (1981) a synthétisé cette condition de la façon suivante :

> Les concepts ondulatoires et les concepts corpusculaires sont les seuls concepts disponibles pour la description du caractère de la lumière et de la matière. La dualité démontre que ces concepts ne peuvent pas être appliqués de façon générale, mais qu'ils ne peuvent servir que pour la description de ce qui succède sous certaines conditions expérimentales. En utilisant des termes familiers de l'épistémologie cela signifie que la description de la nature de la lumière et de la matière doit être remplacée maintenant par une description du mode selon lequel la lumière et la matière apparaissent sous certaines conditions expérimentales.[78]

Nous sommes ainsi face à un paradoxe : nous utilisons des concepts classiques intuitifs, dans le sens du schématisme kantien, mais qui sont en même temps incapables d'une description cohérente de « ce qui se passe réellement ». Nous utilisons ainsi les

---

la description classique : un phénomène doit toujours être décrit en termes classiques; la constante de Planck n'arrive jamais dans cette description.

[78] "The wave concepts and the particle concepts are the only concepts available for the description of the character of light and matter. Duality shows that these concepts cannot any more be applied generally, but can serve only for the description of what happens under certain experimental conditions. Using familiar terms of epistemology this means that the description of the *nature* of light and matter has now to be

concepts schématisés par l'intuition pour décrire la situation expérimentale (macroscopique), mais l'intuition ne peut pas du tout rendre compte de la situation microphysique. Cependant l'idée même de remplacer les concepts classiques par d'autres mieux adaptés à décrire la situation quantique, afin d'éliminer le paradoxe, est une hypothèse qui, selon Heisenberg (1961 : 52) « repose sur une erreur d'interprétation ». Car, selon lui, le physicien quantique est obligé à utiliser notre langage journalièr, transcendantalement intuitif, comme base essentielle de toutes les sciences de la nature. Il fait partie du concept même d'expérience qu'elle puisse être décrite et communiquée dans le langage ordinaire. Dans ce sens il affirme : « il est inutile de discuter de ce qui pourrait se faire si nous étions d'autres êtres ; nous en sommes arrivés à comprendre que, comme l'a dit Weizsäcker, 'la Nature a précédé l'homme, mais l'homme à précédé les sciences de la Nature' » (Heisenberg, 1961 : 53).

Malgré le fait que nous avons besoin du cadre catégoriel intuitif, nous devons abandonner complètement l'espoir d'utiliser l'intuition spatio-temporelle pour décrire la situation microphysique.

4.8. Quelques remarques sur les divergences parmi les interprètes de Copenhague

Nous avons vu que pour Bohr les concepts qu'emploie la physique ne se réfèrent pas directement à une réalité extérieure (qui, toutefois, n'est pas niée), mais à un objet phénoménal qui est le résultat de la conjonction de deux systèmes physiques mutuellement dépendants - l'instrument de mesure et le système observé -, inséparablement intégrés dans une totalité qui peut seulement être scindée comme abstraction. Nous avons vu aussi qu'Heisenberg a modifié ses idées initiales pour les mettre en accord avec celles de Bohr. Pour tous les deux ainsi que pour Max Born la fonction d'onde est une procédure de calcul qui délimite la probabilité d'obtenir certains résultats expérimentaux, en exilant le déterminisme dans le champ du réalisme de la mécanique classique, malgré Einstein. Néanmoins Heisenberg s'est éloigné de

---

replaced by a description of the way in which light and matter *appear* under certain experimental conditions." (Feyerabend, 1981 : 316-7).

l'instrumentalisme de Bohr, qui laissait au formalisme de la théorie le seul rôle d'un outil prédictif sans aucun référent phénoménal ou réel.

En effet, on trouve chez Heisenberg (1976, 1990a) deux conceptions neo-classiques de la nature qui diffèrent essentiellement de l'interprétation de Bohr. Dans le premier cas, son origine remonte à Platon et, dans le deuxième cas, à Aristote. Comme Bohr, Heisenberg a repoussé toutes les idées qui voulaient instaurer à nouveau quelque sorte de réalisme de propriétés spatio-temporelles. Dans le contexte de la dualité d'onde-particule il a exprimé son avis qu'aucune description de la réalité basée sur des images serait possible. Néanmoins, à sa place, il a proposé une espèce de réalisme symbolique et non intuitif des structures mathématiques. Pour lui l'idée de symétrie, sur laquelle se base les théories de la physique élémentaire, est la preuve la plus frappante de la réalité des structures mathématiques. Des symétries sont caractérisées par des invariants pendant les transformations ; ceci signifie qu'il y a des structures constantes pendant les modifications du système. Ainsi, par exemple, un système peut exhiber une symétrie de rotation lorsque après l'opération il révèle la même structure ou les mêmes résultats empiriques qu'avant.

Il est connu que pour Platon les entités mathématiques auraient une vraie existence et que la matière obtiendrait son existence par des idées. La matière terrestre se composerait ainsi de quatre entités géométriques : cube, tétraèdre, octaèdre, et icosaèdre. La matière du ciel comprendrait le dodécaèdre. Heisenberg (1976) partageait l'opinion que les symétries étaient les caractéristiques de ces structures géométriques, et il les a donc associées aux symétries de la physique. Par conséquent il a décrit la nature des particules élémentaires de la façon suivante :

> Si nous désirons comparer les résultats de l'actuelle physique des particules avec les philosophies anciennes, la philosophie de Platon semble être la plus adéquate. Les particules de la physique moderne sont des représentations de symétries de groupe et sur ce point elles ressemblent aux corps symétriques de la philosophie de Platon[79].

[79] "If we wish to compare the results of present-day particles physics with any of the old philosophies, the philosophy of Plato appears to be the most adequate: The particles of modern physics are representations of symmetry groups and to that extent they resemble the symmetrical bodies of Plato`s philosophy" (Heisenberg, 1976: 38).

En fait Heisenberg a accepté la notion de Bohr selon laquelle toutes les expériences et leurs résultats devraient être décrits dans la langue de la physique classique. Mais, pour lui, le formalisme mathématique était plus qu'un schéma symbolique pour la prévision des résultats de mesure qui n'auraient aucun objet de référence. Il doit correspondre à une autre espèce de réalité non spatio-temporelle. La probabilité représenterait justement ce nouveau type de réalité physique symboliquement objective. Pour lui, ce concept de probabilité est étroitement lié au concept de possibilité (*potentia)* de la philosophie aristotelicienne. Il exprime d'une certaine manière la transformation de l'ancien concept de possibilité d'une forme qualitative en une forme quantitative (Cf. Heisenberg, 1961: 48). Cette potentialité était quelque chose de réel pour Heisenberg, mais elle ne pouvait pas être décrite avec des concepts classiques et spatio-temporels, et donc elle ne pouvait pas être décrite au-delà du formalisme mathématique. L'état de superposition d'un objet avant une mesure représenterait cette potentialité, qui est actualisée pendant le processus de mesure.

Heisenberg semble n'avoir rien indiqué au sujet du rapport entre ces deux idées néo-classiques : l'interprétation des particules élémentaires en tant que symétries mathématiques platoniciennes, et l'interprétation du processus de mesure en tant qu'actualisation aristotelicienne des potentialités. Dans le manuscrit de 1942, un livre au contenu essentiellement philosophique et qui n'a jamais été édité pendant son vivant, Heisenberg (1998 : 250-255) parle des différentes régions de la réalité et des multiples rapports qui peuvent exister entre ces différents niveaux. Il considère que les rapports d'un niveau non intuitif produisent des images de leurs effets lorsqu'ils sont projetés dans l'espace et le temps. Par conséquent, nous pourrions interpréter Heisenberg de telle manière que des particules élémentaires basées sur les symétries symboliques platoniques hors de l'espace-temps sont projetées dans l'espace-temps pendant la mesure quand ils sont transformés de la potentialité en actualité.

Une autre conception qui s'éloigne de l'interprétation complémentaire de Bohr est celle soutenue par von Neumann, dans son œuvre influente *Fondements mathématiques de la mécanique quantique*, publiée en 1932. Von Neumann établit dans cet ouvrage une formalisation axiomatique de la mécanique quantique dans laquelle les états atomiques sont caractérisés par des vecteurs dans l'espace abstrait de Hilbert. L'axiomatisation de Von Neumann obtient, entre autres, deux importants résultats.

D'une part, elle permet de dériver la mécanique matricielle d'Heisenberg et la mécanique ondulatoire de Schrödinger comme cas particuliers. D'autre part, elle fournit à von Neumann la base de sa célèbre preuve de la complétude de la mécanique quantique, ou plus précisément, de son essai de l'impossibilité de compléter au moyen de variables cachées la mécanique quantique afin de la transformer en une théorie déterministe[80].

Mais du point de vue philosophique on obtenait dans cette œuvre une conclusion particulièrement intéressante. Elle introduira un nouvel élément dans l'interprétation de la théorie quantique qui la poussera vers un certain idéalisme subjectif, qu'on ne trouve pas chez Bohr. Von Neumann a mis l'accent sur le rôle central de la conscience dans l'acte de mesure :

> La mesure elle-même, c'est-à-dire le phénomène de perception subjective qui lui est associé, constitue une entité nouvelle, distincte de l'univers physique qui entoure l'observateur et qui ne peut s'y ramener. En effet, tout acte de mesure nous fait sortir de cet univers physique ; ou plus exactement, il nous fait pénétrer dans la vie intérieure, dans l'esprit même de l'observateur sur lequel nous n'avons aucun contrôle, puisque toute tentative de contrôle doit déjà postuler son existence et ses propriétés. (von Neumann, 1946 : 287).

Selon lui, le phénomène quantique, plus qu'un tout inanalysable, forme un composé dans lequel la frontière entre l'objet observé et l'instrument de mesure peut arbitrairement être déplacée. Von Neumann donne comme exemple le cas de la mesure d'une température. Von Neumann envisage au moins quatre niveaux distincts où la frontière entre le système, dont on cherche à mesurer une propriété telle que la température, et l'instrument peut être placée. La température peut être mesurée : I) par le thermomètre ; II) par l'observateur qui voit la longueur de la colonne de mercure ; III) par la rétine de l'observateur qui enregistre l'image ; IV) par l'observateur qui perçoit les modifications chimiques produites dans les cellules de son cerveau. On peut encore imaginer une autre conscience qui observe le premier observateur et continuer *ad infinitum* en supposant une série d'observateurs. Dans ce sens, von Neumann affirme :

---

[80] Nous allons revenir sur ce thème dans le prochain chapitre.

> Cependant, si loin que nous allions : jusqu'au réservoir du thermomètre, jusqu'à son échelle, jusqu'à la rétine de l'observateur, ou à son cerveau, il faut de toute façon nous arrêter à un certain moment et dire : *et ceci est perçu par l'observateur*. Cela signifie que nous sommes toujours obligés de séparer dans l'univers deux parties, l'une le système observé, l'autre l'observateur. Dans la première partie nous pouvons toujours suivre d'aussi près que possible tous les phénomènes physiques qui s'y passent, (au moins théoriquement) ; dans la seconde partie une telle préoccupation n'aurait aucun sens. La frontière entre ces deux domaines n'est pas définie une fois pour toutes ; sa position est largement arbitraire. (…) En particulier, la partie de l'univers que nous considérons comme « observateur » ne doit pas nécessairement être identifiée avec le corps même de l'individu qui observe et mesure un phénomène ; dans l'exemple précédent nous avons même incorporé une fois à l' « observateur » le thermomètre lui-même, tandis qu'une autre fois nous avons supposé qu'il n'avait ni nerfs, ni yeux, lesquels étaient comptés dans le système observé. (von Neumann, 1946 : 288)

Comme la frontière est mobile, il n'y a pas un secteur de la réalité qui peut être classé comme classique et l'autre comme quantique. Par conséquent l'instrument classique de mesure peut aussi être traité, contrairement à ce que Bohr pensait, comme un système quantique, représenté par la fonction d'onde. Ceci signifie que ce n'est pas dans l'instrument que cette fonction s'effondre. Et par conséquent, ce ne peut être que la conscience de l'observateur qui dans l'acte de mesure fait que le système observé passe soudainement de la superposition d'états, qui évoluent de manière causale selon l'équation de Schrödinger, à un seul de ces états. La conscience de l'observateur serait cette espèce de « lieu » où l'effondrement de la fonction d'onde se produit ou, pour être cohérent avec la terminologie de Von Neumann, où se réduit le vecteur d'état. Il ne s'agit plus de dire seulement, comme l'avait proposé Bohr, que les lois de la mécanique quantique, ne font plus référence à la réalité extérieure indépendante, mais à notre connaissance phénoménale, c'est-à-dire, à la totalité formée par le système observé et le dispositif expérimental. Avec Von Neumann, tout ce que la physique peut appeler 'réalité', dans le niveau quantique, est déterminé par la conscience humaine en exercice.

La différence entre cette solution et les thèses de Bohr est évidente. Néanmoins, quelques malentendus ont été générés à partir de cela. Un des points les plus importants

de l'interprétation complémentaire de Bohr, que nous avons souligné plus haut, en opposition soit au réalisme symbolique de Heisenberg soit à l'idéalisme subjectiviste implicite dans la conception de von Neumann est son refus à parler des niveaux de réalité et des ambiguïtés liées à l'emploi du terme 'réalité'. Bohr sans doute met l'accent sur des niveaux de descriptions - le classique et le quantique – mais pas sur des niveaux de réalité, comme s'il y avait une ontologie qui divisait l'univers en deux parties. La complémentarité entre les niveaux de descriptions ne peut jamais être « ontologisée », sous peine de rendre l'approche bohrienne insoutenable. Nous reviendrons sur ce point dans la dernière partie de ce travail.

Ces oscillations et ces hésitations expliquent pourquoi les différentes significations de la fonction d'onde sont attribuées comme propres à l'interprétation de Copenhague. C'est pour cela que ce qui est habituellement appelé 'Interprétation de Copenhague' ne peut pas consister en une doctrine clairement exposée et systématisée, ni être comprise de manière égale dans tous ses aspects par ceux qui déclarent l'accepter. Elle se ressemble plutôt, comme dit Max Jammer (1974 : 87) « à un dénominateur commun pour une variété de points de vue mis en rapport », qui ne sont même pas « nécessairement liés à une position philosophique ou idéologique spécifique »[81].

4. 9. Ce qui reste de Kant

Dans les discussions épistémologiques en mécanique quantique menées par Bohr et Heisenberg, la doctrine kantienne est invoquée à chaque fois que l'aspect descriptif attribué aux théories classiques est en débat. La possibilité de description des phénomènes est fréquemment associée aux conditions transcendantales selon lesquelles les phénomènes sont donnés dans une intuition spatio-temporelle et pensés au travers de la structure conceptuelle. Dans cette caractérisation minimale de Kant, tout le monde pourrait se mettre d'accord. Pourtant l'édifice kantien ne tient plus lorsque Bohr et

[81] "As we shall see, the Copenhagen Interpretation is not a single, clear-cut, unambiguously defined set of ideas but rather a common denominator for a variety of related viewpoints. Nor is it necessarily linked with a specific philosophical or ideological position." Max Jammer (1974 : 87)

Heisenberg essaient de découper les deux niveaux transcendantaux afin de les appliquer à la situation épistémique de la mécanique quantique, en associant à chacun un aspect descriptif, comme si l'on avait du côté expérimental, une description intuitive spatio-temporelle, et du côté théorique formel, une description causale déterministe. Ainsi ce programme visant à prolonger la validité de la philosophie de Kant à partir d'une limitation des conditions d'application de ses principes conduit à un certain nombre de confusions qu'il faut dissiper.

Dans un premier temps nous voudrions seulement signaler que dans le cadre de l'épistémologie kantienne, il devient très problématique de parler de description des phénomènes dans l'espace et dans le temps, au niveau de la sensibilité, isolée du système des principes de l'entendement, dont fait partie le principe de causalité. On ne peut pas oublier que pour la constitution de l'intuition chez Kant on doit nécessairement considérer les deux principes mathématiques de l'entendement pur : les axiomes de l'intuition et les anticipations de la perception. Ceux-ci sont les principes qui justifient la constitution d'une physique mathématique de la nature et qui répondent à la question de la possibilité d'une description mathématique de la nature. Comme nous l'avons vu dans la première partie de ce travail, l'une des révélations les plus remarquables de l'interprétation de l'Ecole de Marburg est celle du caractère inintelligible de l'esthétique transcendantale lorsqu'elle est prise isolément, sans principalement les deux principes mathématiques de l'entendement.

En outre, on ne peut pas non plus oublier que la causalité en tant que deuxième analogie de l'expérience doit toujours avoir un rapport avec l'intuition. Le principe de succession chronologique suivant la loi de causalité est une règle qui intervient « toujours dans la perception de ce qui arrive » et qui « rend *nécessaire* l'ordre des perceptions successives (dans l'appréhension de ce phénomène) » (A193 – B238). Ainsi considérer l'équation de Schrödinger comme l'exemple d'une loi causale n'a, à notre avis, rien à voir avec le principe de causalité kantien, qui ne s'applique qu'à la succession dans l'ordre des perceptions. En dehors du contexte expérimental la deuxième analogie perd sa force justificatrice. Si on ne considère pas cette limitation de la causalité on prend le risque de tomber dans une contradiction performative, au sens de Karl-Otto Apel, comme l'a fait von Neumann en utilisant le principe causal pour ensuite le nier. Dans son analyse du processus de la mesure, il soutient par exemple que

le saut acausal est *causé* par l'intervention de l'observateur. Von Neumann se sert de l'expression *transformation acausale* pour mettre en relation deux états qui ont des natures épistémiques tout à fait distinctes : un état qui n'est pas lié à une perception avec un autre qui se présente dans une perception lorsqu'une mesure est effectuée. Le premier est décrit par une superposition d'états dynamiques du système, qui ne peut pas se présenter dans aucune intuition possible. Comme dans l'histoire du chat de Schrödinger où les deux propriétés, être vif et mort, se trouvent dans un état superposé. Le deuxième l'état du système, après la mesure, se réduit à l'une des propriétés, qui, dans la histoire de Schrödinger, correspond à la situation où le chat se trouve soit vif, soit mort. A la différence du premier, ce dernier état se présente dans une intuition sensible. Von Neumann considère alors que cet effondrement du vecteur d'état d'une superposition statistique à une valeur bien déterminée est causé en dernière instance par l'intervention de la conscience de l'observateur.

Nous trouvons ainsi mélangés deux sens différents de causalité. L'un correspond au principe philosophique général selon lequel tout changement perceptible a une cause, elle aussi perceptible. On doit alors trouver une cause qui explique le changement du vecteur d'état. Von Neumann a bien fait cela. Nous ne voulons pas ici entrer dans le mérite de cette interprétation qui est devenue la pierre de touche du problème traditionnellement connu comme le problème de la mesure. Ce que nous voulons souligner c'est l'usage d'un principe philosophique qu'on suppose n'avoir aucun rôle en mécanique quantique et même être nié par la théorie physique. Le deuxième sens de causalité est celui identifié à l'évolution temporelle continue de l'état dynamique du système, parfaitement prévisible, en l'absence de toute intervention externe. Cette évolution cesse d'être causale dès que le système se trouve soumis à une observation. Néanmoins, à notre avis, la question qui mérite d'être analysée est celle de savoir si l'évolution du vecteur d'état peut être assimilée tout simplement à la loi causale. Nous avons vu dans la partie antérieure de ce travail que chez Kant le principe qui règle l'évolution temporelle continue selon le calcul différentiel n'est pas la deuxième analogie, mais le principe des anticipations de la perception. Malgré son importance cruciale, ce principe semble avoir été oublié dans les discussions épistémologiques de la mécanique quantique. Nous allons revenir sur ce point après avoir discuté les

élucidations fournies par G. Hermann et Cassirer au sens transcendantal du principe de causalité.

Chapitre 5
Grete Hermann et la loi de causalité à rebours

5.1. Introduction

Grete Hermann ou Grete Henry-Hermann[82] (1901- 1984) est sans doute une des pionnières dans l'élucidation des fondements philosophiques de la théorie quantique et de ses rapports avec la philosophie critique. Sa valeur dans l'histoire des interprétations philosophiques de la mécanique quantique est reconnue entre autres par Max Jammer (1974 : 209) dans son essai sur l'histoire des interprétations des la mécanique quantique. Dans les années 30, elle a publié une série de trois essais[83] qui anticipent certaines réponses apparues, un peu plus tard, dans le domaine de la théorie de la connaissance en général aussi bien que dans celui des fondements de la théorie quantique.

Sur le plan de la théorie de la connaissance, ses travaux ont apporté des éclaircissements intéressants et originaux au sujet principalement de la notion de causalité. Hermann part du principe que la causalité, en tant que condition transcendantale à toute connaissance et à toute expérience possible, doit aussi rester valable en mécanique quantique. Mais comment rendre compatible l'indéterminisme et le caractère probabiliste de la théorie quantique avec l'universalité et la nécessité du principe de causalité ? La solution hermannienne se trouve dans l'élimination de ce qui n'appartient pas de manière inhérente au concept de connexion nécessaire, comme c'est le cas du principe déterministe de prévisibilité par le calcul. Si l'on dissocie le principe universel de causalité de son critère déterministe d'application, la deuxième analogie de Kant demeure également valide en mécanique quantique. Hermann met en évidence la contextualité du principe de causalité vis-à-vis de la mécanique quantique, en la considérant comme condition de possibilité de l'expérience contextuellement dépendante des dispositifs expérimentaux. Par ailleurs, en conséquence de la séparation

---

[82] Après son mariage avec l'anglais Eduard Henry en 1937, Grete Hermann a signé ses articles G. Henry ou G. Henry-Hermann.

[83] Cf. G. Herman (1935a, 1935b et 1937).

proposée entre la causalité et son critère déterministe d'application, la dissymétrie entre explication et prédiction, sera aussi mise en relief avant même la publication du fameux essai de N. R. Hanson (1958) sur ce sujet.

Néanmoins, ce n'est qu'une petite partie de ses écrits qu'elle a dédié aux fondements de la physique et à la théorie de la connaissance. En effet, pour avoir mené une vie militante tout à fait dévouée à la cause socialiste et à la lutte contre le nazisme, l'essentiel de ses travaux intellectuels porte sur les relations entre éthique, politique et socialisme dans une démarche fondée sur les lignes directrices de la philosophie pratique de Léonard Nelson (1882-1927)[84], avec qui elle a travaillé comme assistante privée au cours des années 1925 à 1927. Editrice principale de *Gesammelte Schriften* de Nelson, elle est devenue l'une des responsables pour la préservation de sa mémoire et de son travail. G. Hermann a fait sienne la tâche de son maître, celle d'actualiser la philosophie kantienne en poursuivant les efforts initiés par Jacob Friedrich Fries (1773-1843) et son disciple Ernst Friedrich Apelt (1815-1859).

En dépit de sa condition d'héritière de la tradition néo-kantienne de Fries et de Nelson, Grete Henry-Hermann, dans ses derniers écrits, sera très critique à l'égard des principes de l'épistémologie friesienne. Son rejet de l'idée de connaissance immédiate et de la doctrine friesienne de connaissance immédiate non-intuitive, soutenue aussi par Nelson, se manifeste dans son article «The significance of Behaviour Study for the Critique of Reason » (1973). Article dans lequel Hermann corrobore l'accusation de psychologisme dirigée contre la philosophie de Jakob Fries, que le travail de Nelson a essayé de réfuter. Fidèle à Kant, qui a nié les issues psychologiques des doctrines de Descartes et de Berkeley, elle réaffirme le caractère paradoxal de ce qui peut être appelé ' connaissance immédiate'.

Sur le plan des fondements de la mécanique quantique, ses écrits de jeunesse ont été fondamentaux pour le développement de l'approche relationnelle de la théorie quantique soutenue surtout par Bohr[85]. Le traducteur anglais de l'un des articles de G. Hermann (1999 : 35), Dirk Lumma, attire l'attention sur le caractère contemporain de l'approche hermannienne qu'il considère être plus radicale que celle de Bohr et où se trouve déjà la clef pour la formulation des états relatifs proposée par Everett en 1957.

---

[84] Cf. G. Hermann (1976) et L. Nelson (1982).

L'idée, attribuée à Bohr dans ses premiers essais, que l'objet système soit perturbé par l'acte d'observation, est d'une certaine façon mise en question par G. Hermann. Dans la mesure où elle affirme le lien inextricable entre le système étudié et le contexte de sa mesure, parler d'un système objet sans rapport à l'appareillage instrumental est devenu très problématique. Elle a apporté aussi des arguments puissants en faveur de la complétude de la théorie quantique, en démontrant la vanité de l'hypothèse des variables cachées si l'on dispose d'une adéquate conception de causalité. Pour des raisons de nature tout à fait différentes de celle de von Neumman (1932), l'argument hermanien contre les variables cachées s'appuie sur sa compréhension relationnelle de la description quantique. Pour Grete Hermann, la célèbre preuve de von Neumann repose sur une *pétition de principe*, dont la circularité résiderait dans le quatrième théorème de la démonstration. A peine trente ans plus tard, la réfutation définitive de la preuve de von Neumman contre le critère d'adoption de variables cachées en mécanique quantique, viendra avec John Bell (1966), qui choisira le même théorème, accentué par Hermann comme problématique, en tant que point de départ pour sa réfutation.

Ses idées sur le caractère relatif et contextuel de la théorie quantique, la complétude et la nécessité des explications causales sont exposées dans son long essai, publié en 1935, intitulé *Die naturphilosophischen Grundlagen der Quantenmechanik*[86], où elle cherche aussi à développer un concept de causalité compatible à la fois avec l'épistémologie kantienne et la théorie quantique. C'est dans cet essai que nous examinerons sa position épistémologique très particulière de défense de la validité transcendantale de la loi de causalité pour la mécanique quantique, malgré les avis contraires partagés par presque tous les physiciens de l'époque.

---

[85] Cf. Max Jammer (1974 : 207).

[86] Un abrégé de cet essai a été publié la même année, sous le même titre. La traduction française n'est parue qu'en 1996, accompagnée d'une présentation et d'une postface critique hautement éclairantes de Lena Soler. Cf. G. Hermann (1996).

5.2. La séparation entre causalité et déterminisme

Dans le chapitre intitulé « La mécanique quantique et la philosophie kantienne » de *La partie et le tout*, Heisenberg (1972: 163-173) nous fait part de ses discussions avec Friedrich von Weizsäcker et Grete Hermann sur ce sujet, pendant l'année 1934 à Leipzig. Au début des années 30, Leipzig se révélait comme l'un des plus grands centres de recherche sur les aspects formels de la mécanique quantique et ses applications aussi bien que sur les fondements épistémologiques de la théorie quantique. Les discussions philosophiques qui ont eu lieu au cours du séminaire dirigé par Heisenberg ont été surtout motivées, comme lui même le remarque, par la présence de la jeune philosophe Grete Hermann. Elle est venue de Göttingen, le cœur de l'école kant-friesienne, spécialement pour trouver, à la source, la solution à la contradiction entre le caractère *a priori* et universel de la loi causale et l'apparent échec de cette loi dans le domaine de la théorie quantique. Heisenberg expose le problème de la causalité posé par Hermann de la manière suivante :

> Dans la philosophie de Kant, la loi de causalité n'est pas une affirmation empirique qui pourrait être soit justifiée soit réfutée par l'expérience ; elle est au contraire la condition de toute expérience, elle fait partie de ces catégories de pensée que Kant appelle 'a priori'. En effet, les impressions sensorielles qui nous sont communiquées par le monde extérieur ne constitueraient qu'un ensemble subjectif de sensations, auxquelles ne correspondrait aucun objet, s'il n'existait pas une règle en vertu de laquelle les impressions résultent d'un processus qui les a précédées. Cette règle, à savoir la connexion univoque entre la cause et l'effet, doit donc être admise *a priori* si l'on veut objectiver les perceptions, autrement dit si l'on veut affirmer que l'on a éprouvé ou expérimenté quelque chose, que ce soit un objet ou un processus. D'un autre côté, la science traite d'expériences, et précisément d'expériences objectives ; seules les expériences qui peuvent également être contrôlées par d'autres, qui sont donc objectives dans ce sens précis, peuvent faire l'objet de la science. Il s'ensuit obligatoirement que toute science doit supposer la loi de causalité ; et que la science ne peut exister que dans la mesure où la loi de causalité existe. Cette loi est donc en un certain sens l'outil de notre pensée, à l'aide duquel nous essayons de transformer le matériau brut de nos impressions sensorielles en

> expérience. Et ce n'est que dans la mesure où nous réussissons à effectuer cette transformation que nous possédons un objet pour notre science. Comment peut-il donc se faire que la mécanique quantique tende d'un coté à rendre moins stricte la loi de causalité, et d'un autre côté prétende encore rester une science ? (Heisenberg, 1972: 164-165).

G. Hermann résume ainsi la question: « *Dans le cadre des conquêtes physiques du 20ème siècle, s'agit-il du triomphe de l'expérience face à toute sorte de jugement ou de préjugé a priori ?* » . A première vue, l'avènement de la mécanique quantique en tant que fait scientifique historique semble contredire le caractère universel et nécessaire du principe synthétique *a priori* de la causalité. Pour la philosophe kantienne, la loi de causalité est un jugement synthétique *a priori* et comme tel elle ne peut être réfutée par aucune expérience ou par aucune connaissance empirique. Si la physique contemporaine avait porté un coup mortel à la loi causale, toute la déduction transcendantale des jugements synthétiques *a priori* serait un raisonnement réalisé par Kant complètement à tort et l'empirisme aurait raison contre n'importe quelle sorte de philosophie transcendantale. Mais Hermann se méfie de cette opinion majoritairement adoptée par les physiciens aussi bien que par les philosophes de la science. Elle se lance donc dans l'examen du principe de causalité face aux nouvelles situations expérimentales proposées par la mécanique quantique. Selon ses propres mots :

> il serait peu opportun d'abandonner les exposés philosophiques de ces principes *a priori* en alléguant qu'ils sont dépassés ; mais le philosophe n'aborderait pas non plus adéquatement les problèmes qui surviennent ici, s'il ne répondait à la critique physique que par une répétition critique de la déduction *philosophique* des principes *a priori*. (Hermann, 1996: 63).

Pour Grete Hermann, la source majeure des malentendus quand on interprète les résultats de la mécanique quantique réside dans une identification trompeuse du principe de causalité à celui du déterminisme. Le déterminisme, symbolisé par l'idée du démon de Laplace[87], a comme présupposé le principe de prévisibilité par le calcul. Cela

---

[87] « Nous devons donc envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur, et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui pour un instant donné connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir

veut dire qu'une fois que l'on connaît, pour un événement quelconque, la loi physique et les conditions initiales, qui en mécanique classique sont données par la position et l'impulsion, le passé comme le futur se trouvent absolument déterminés. Le déterminisme est ainsi une conséquence nécessaire du principe de prévisibilité par le calcul. Reste à vérifier si cette conséquence s'étend donc au principe de causalité. Pour Grete Hermann, celui-ci a une extension beaucoup plus large que le principe de prévisibilité et c'est précisément ce dernier que la mécanique quantique a mis en échec. Le rejet par la théorie quantique de la prévisibilité déterministe en tant que construction théorique universellement applicable à toute sorte d'expérience n'est pas en question. La structure même du formalisme quantique a imposé des bornes infranchissables à toute prévision possible. Cependant, le problème à examiner soigneusement est donc celui de savoir si ce rejet atteint aussi le principe de causalité. Grete Hermann propose ainsi de revoir la loi causale et son applicabilité devant la nouvelle situation mise en évidence par la mécanique quantique.

L'analyse de cette situation révèle deux résultats apparemment contradictoires par rapport à l'applicabilité de la loi causale : d'une part, on constate que la prévisibilité d'événements futurs est par principe impossible à calculer de manière déterministe et, d'autre part, « il n'y a aucun événement dont on ne puisse pas indiquer, dans le cadre du formalisme de la mécanique quantique, les causes auxquelles il a nécessairement succédé »[88]. G. Hermann essaie de montrer que telle contradiction n'est qu'apparente si l'on regarde le fondement même de la loi causale. En considérant le type de légalité que cette loi prétend imposer à la nature, une analyse plus approfondie révèle que le concept de prévisibilité ne découle pas forcément du concept d'enchaînement causal. Néanmoins Hermann reconnaît le lien étroit entre ces deux concepts. La valeur explicative d'une hypothèse physique est jugée en fonction justement de sa possibilité de prévision d'événements futurs. La capacité de prédire, c'est ce qui donne à la science un contrôle sur les processus naturels et légitime les rapports causaux. Toutefois, ce lien a conduit à l'illusion que ces concepts étaient identiques. Ainsi, une forte mais fausse

---

comme le passé serait présent à ses yeux. L'esprit humain offre, dans la perfection qu'il a su donner à l'Astronomie, une faible esquisse de cette intelligence. » (Pierre-Simon Laplace , 1921: 3).

[88] G. Hermann, 1996: 97.

impression d'identité a été créée, en assumant trompeusement que pour deux événements *A* et *B*:

[La dépendance causale de *A* par rapport à *B*] = [*B* peut être prédit dès lors que *A* est connu]

Selon Hermann, si l'on admet que « tout événement naturel observable peut être prédit par le calcul à partir d'autres événements qui, dans cette mesure, peuvent lui être associés comme ses causes », alors les deux résultats de la mécanique quantique en ce qui concerne l'applicabilité de la loi causale se contredisent d'une manière insoluble. On pourrait croire qu'il n'y a pas de cause à des événements par principe imprévisibles par le calcul. Ce qui n'a aucun sens. Si l'on veut éviter la contradiction, la relation cause/effet ne peut pas être identifiée à la prévision de l'effet à partir de la cause. La possibilité de prévoir l'enchaînement des événements n'est qu'un critère d'applicabilité de la loi causale et non la loi causale elle-même. Hermann conclut donc que la loi causale doit être séparée de son critère d'application et de cette manière elle reste parfaitement valide pour la mécanique quantique :

> Si nous séparons les deux concepts, si donc nous formulons d'abord la loi de causalité indépendamment du critère de son applicabilité, nous obtenons alors cette affirmation : rien ne se produit dans la nature qui ne soit causé par des processus antérieurs, autrement dit qui ne suive d'eux avec nécessité, et ce, pour toutes les caractéristiques physiques susceptibles d'être constatées. En ce sens, la causalité sans lacune, sans borne, n'est pas seulement compatible avec la mécanique quantique mais, comme on peut le prouver, elle est même présupposée par cette dernière. (Hermann, 1996: 98-9).

Dès lors que causalité et prédiction ne sont pas identiques, on peut bel et bien avoir une théorie prédictivement indéterministe et rétrodictivement causale, comme c'est le cas de la théorie quantique. Avec son principe de causalité médiate rétrodictive, Hermann justifie alors pourquoi et comment une théorie de type indéterministe n'exclue pas une identification *post factum* des causes d'un résultat particulier de mesure.

A ce propos, Cassirer (1956 : 65) partage avec Hermann l'avis que la causalité et le déterminisme sont deux principes tout à fait distincts. Par contre, en allant plus loin que Hermann, il considère que même dans le cadre de la physique classique,

l'identification entre causalité et prédiction ne peut pas être maintenue. Pour lui, Helmholtz, par exemple, dans le contexte classique, avait déjà développé un concept de causalité dans un sens fortement éloigné de la formule laplacienne. Le concept d'une complète prédiction du futur à partir du passé n'a aucun rôle décisif dans les considérations de Helmholtz qui, pour Cassirer, a présenté la formulation la plus développée et la plus mûre de la signification du principe de causalité dans le contexte de la physique classique. Cette conception différente du principe de causalité suppose la distinction au sein de la doctrine kantienne entre causalité empirique et causalité transcendantale. Cependant cette distinction ainsi que la signification pour Helmholtz et Cassirer du principe de causalité seront étudiées dans le chapitre cinq. (Cf. Cassirer, 1956 : 65)

5.3. Le critère de prédiction de la causalité médiate rétrodictive

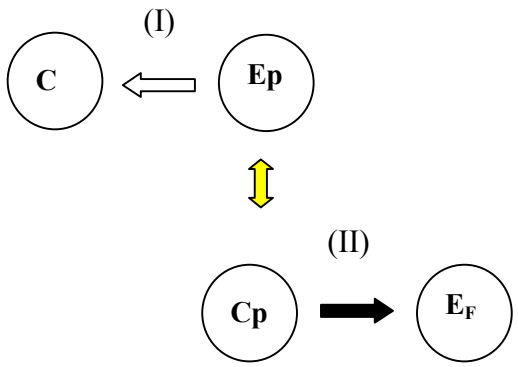
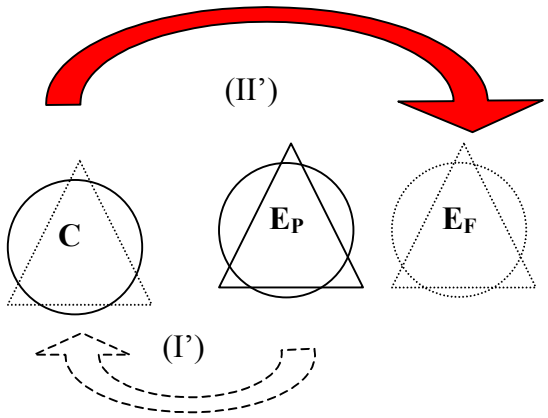
En renonçant au déterminisme classique en tant que critère universel du principe de causalité, un autre critère d'applicabilité de la loi causale qui soit valable pour la mécanique quantique doit être trouvé. Pour définir un critère de causalité en accord avec l'incertitude et la probabilité des processus en mécanique quantique Hermann s'appuie sur l'expérience de pensée conçue par von Weizsäcker en 1931 pour illustrer le principe d'indétermination de Heisenberg. Von Weizsäcker imagine alors une situation expérimentale d'un événement microphysique observé à travers un microscope dont le but serait la détermination de l'état d'un électron après la collision avec un quantum de lumière. Le photon dévié par l'électron après le choc entre eux passerait à travers le microscope et serait ensuite reçu sur une plaque photographique. Il arrive à la conclusion que la position de la plaque pendant l'acte d'observation change complètement le type de prévision qui pourra être fait de l'état futur de l'électron.

Cette expérience est exemplaire pour Hermann pour mettre en évidence justement comment l'usage de la notion de causalité a changé en mécanique quantique vis-à-vis de la physique classique. Ce changement concerne uniquement le critère d'application de la loi causale et ne représente pas un échec de la loi causale elle même. Dans les expériences classiques, la prédiction de l'effet à partir d'une cause connue se

donne de façon immédiate. C'est-à-dire, on estime en physique classique que la cause aussi bien que l'effet sont des événements qui se présentent immédiatement à l'observateur détachés de la façon dont il les observe. Cependant, la situation expérimentale décrite par l'expérience de von Weizsäcker impose un nouveau critère, non plus immédiat, mais médiat pour la déduction causale. Cela parce que le processus causal en mécanique quantique requiert la médiation de l'acte d'observation, qui suppose au-delà des formes spatio-temporelles de l'intuition de l'observateur, communes tant aux expériences classiques que quantiques, l'interaction intriquée entre les dispositifs expérimentaux et le système objet. C'est seulement après l'observation de l'effet de noircissement de la plaque photographique qu'on peut remonter à rebours dans la chaîne causale à l'interaction de l'électron avec le photon et ensuite prédire l'état futur de l'électron. A partir de l'analyse de l'expérience de von Weizsäcker, Hermann généralise le critère qui doit être valable pour toute situation en mécanique quantique: on part d'abord d'un événement qui est présenté dans une situation expérimentale et qui par conséquent implique une interaction de l'objet observé avec l'instrument de mesure. Après, on remonte à sa cause pour ensuite seulement déduire la prédiction d'un événement futur qui pourra, avec une certaine probabilité, être observé expérimentalement. Ainsi Hermann explique son critère :

> Dans tous les cas d'événements par principe imprévisibles par le calcul, la mécanique quantique propose une explication causale qui ne se laisse contrôler que par [la procédure suivante] : de ces événements, on conclut, à rebours et médiatement, à leurs causes ; ensuite, à partir de la supposition qu'il y avait cette cause, on déduit des prédictions sur les événements futurs, dont l'avènement peut être contrôlé empiriquement. Ainsi, dans l'exemple traité, le noircissement de la plaque est imputé aux processus qui se sont déroulés lors du choc de l'électron et du quantum de lumière ; à partir d'eux, on peut inférer, selon un cheminement inverse, l'état, encore accessible à l'observation, de l'électron. (Hermann, 1996: 99).

Le tableau ci-après montre les rapports entre la loi causale et son critère d'applicabilité en physique classique et en mécanique quantique. Les triangles superposés sur les cercles à droite représentent les états intriqués entre le dispositif expérimental et le système objet.

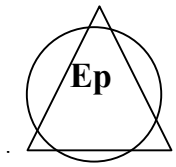
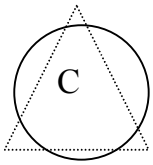
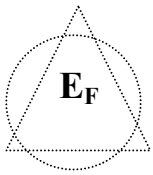
Le critère immédiat de causalité en physique classique	***Le critère médiat de causalité en mécanique quantique***
	
I : Connexion nécessaire entre l'effet présent (**Ep**) et la cause (**C**). II : Prédiction immédiate de l'effet futur (**E_F**) à partir de la cause présente (**C_P**)	I' : Connexion nécessaire entre l'effet présent (**Ep),** médiatisé par les dispositifs de mesure, et la cause (**C**). II' : Prédiction médiate d'un événement futur par une déduction causale à rebours

Cette schématisation nous permet de mettre en évidence trois caractéristiques essentielles des rapports causaux en physique classique qui ne se maintiennent plus en mécanique quantique : 1) l'action négligeable de l'instrument de mesure ; 2) la condition de permutation entre la cause et l'effet, dans le sens où ce qui se produit comme effet présent pour la détermination de la cause peut se montrer comme cause présente pour la détermination de l'effet futur ; et 3) la symétrie entre le rapport causal et la prédiction de l'effet futur.

En revanche, en mécanique quantique, l'acte d'observer univoque est pour sa part déterminé par les conditions expérimentales selon lesquelles le physicien l'exécute. Ainsi dans l'expérience de pensée de von Weizsäcker, deux situations expérimentales distinctes sont envisagées. Dans la première, en plaçant la plaque photographique dans le plan image du microscope, le physicien obtiendra la position précise de l'électron. Pour reconstruire l'explication causale, il doit faire usage de l'image ondulatoire dans laquelle le quantum de lumière aurait été réfléchi par l'électron et aurait pénétré dans le microscope comme une onde sphérique se propageant dans toutes les directions. L'état

de l'électron immédiatement après le choc est alors caractérisé par une fonction d'onde indiquant une position précise mais une impulsion indéterminée, car il n'y a pas de direction déterminée dans une onde sphérique. Dans la deuxième situation, le physicien fixe la plaque photographique sur le plan focal du microscope en obtenant sur la plaque le registre d'un point. Il doit faire usage de l'image d'un faisceau de rayons parallèles qui convergent sur un seul point du plan focal, après être passés à travers les lentilles du microscope. Cela détermine la direction selon laquelle le photon a pénétré dans le microscope, et, par conséquent la variation de l'impulsion. L'impulsion du photon avant le choc avec l'électron est passible d'être connue par le positionnement convenable de la source lumineuse. Dans ce cas-là, la position du plan dont émane la lumière, c'est-à-dire le lieu du choc entre le photon et l'électron, reste indéterminée, car on ne peut pas associer un point déterminé à un faisceau de rayons parallèles. Si l'on applique la loi de conservation de la quantité de mouvement en utilisant l'image corpusculaire pour le système constitué par le photon et l'électron, on obtient la variation de l'impulsion subie par l'électron. Ainsi, la fonction d'onde pour l'état de l'électron immédiatement après le choc est caractérisée d'une manière tout à fait différente du cas précédent en indiquant une impulsion précise et une position indéterminée. Puisque le système, c'est-à-dire, l'électron à l'instant qui succède immédiatement au choc avec le photon, est le même dans les deux situations expérimentales, la fonction d'onde ne peut pas être attribuée au système 'en soi' mais dépend de la position de la plaque photographique et doit donc caractériser non le système mais la situation expérimentale dont le système n'est qu'une partie.

Le tableau suivant synthétise la déduction causale à rebours appliquée à ces deux situations expérimentales de l'expérience de pensée de Weizsäcker.

E T A P E S	**Déduction causale à rebours**		**Situation expérimentale I :** plaque photographique sur le plan de l'image du microscope	**Situation expérimentale II :** plaque photographique sur le plan focal du microscope
I		L'observation de l'effet	Le noircissement de la plaque photographique en un seul point du plan image	Le noircissement de la plaque photographique en un seul point du plan focal
II		La cause	L'entrée de la lumière comme une onde sphérique se propageant dans toutes les directions à partir du lieu du choc : la détermination de la position de l'électron (Traitement ondulatoire)	L'entrée de la lumière selon une direction déterminée comme un faisceau de rayons parallèles : la détermination de la variation d'impulsion subie par le photon (Traitement corpusculaire)
III		La prédiction d'un événement futur accessible de façon médiate par l'observation	La caractérisation de l'état de l'électron après le choc par une fonction d'onde indiquant une *position* précise et une *impulsion* indéterminée, qui permet des prédictions probabilistes.	La caractérisation de l'état de l'électron après le choc par une fonction d'onde indiquant une *impulsion* précise et une *position* indéterminée, qui permet des prédictions probabilistes.

En résumé, le but de l'analyse réalisée par G. Hermann de l'expérience de von Weizsäcker/Heisenberg est alors de montrer que la loi causale, médiatisée par les dispositifs expérimentaux, et son critère prédictif d'application restent parfaitement compatibles avec le principe d'indétermination. Par ailleurs, ce qui est plus intéressant c'est le fait que, pour un même dispositif expérimental, on peut avoir des explications causales et aussi des prédictions distinctes dépendant de l'emplacement choisi par le physicien pour mettre la plaque photographique.

5.4. La causalité rétrodictive et le rôle des images intuitives: en scène les principes de correspondance et de complémentarité

En tant que condition transcendantale de toute la connaissance, la causalité pour G. Hermann repose sur des bases épistémiques et non pas sur des bases ontologiques. Ainsi son principe est loin d'être identifié à une réalité suprasensible microscopique, dont les caractéristiques physiques ne sont pas susceptibles d'être mesurées. Il n'est pas non plus assimilé à la fonction d'onde continue qui appartient au schéma formel de la théorie, comme le font les interprètes de Copenhague. Néanmoins, Hermann (1996 : 87) fait appel à une théorie classique causale de la mesure, qui repose uniquement sur les concepts classiques. Comme dans le cas de l'expérience de von Weizsäcker, la déduction causale à rebours, fondée sur l'observation unique de l'appareil de mesure, prend en compte la dualité des deux images classiques d'interprétation des phénomènes physiques, l'ondulatoire et la corpusculaire, dont les limites sont imposées par les principes bohriens de complémentarité et de correspondance.

Cependant, Hermann est bien consciente du fait que les changements cruciaux opérés par la mécanique quantique ne se laissent pas déchiffrer par le principe de causalité. Comme elle-même l'affirme : ce n'est pas « au niveau du principe de causalité que s'est opéré le bouleversement décisif qui a marqué le développement de la théorie physique » (Hermann, 1996 : 103). Ce qui est prodigieux c'est que l'universalité de la causalité s'affirme en mécanique quantique devant la disparition définitive de nos représentations univoques et intuitives des processus microphysiques.

> L'effort des recherches classiques pour obtenir une représentation adéquate des processus naturels au moyen de constructions intuitives a échoué : à la description intuitive des événements naturels se substitue l'attribution formelle d'un fonction d'onde ; une telle attribution rend difficile, sinon impossible, toute interprétation intuitive, ne serait-ce que du fait qu'elle s'effectue non pas dans l'espace tridimensionnel habituel, mais dans un espace des phases multidimensionnel. (Hermann, 1996 : 103)

La validité du principe de causalité doit donc être examinée en considérant les deux faits apparemment conflictuels : d'un côté le fait que les représentations intuitives font leurs preuves et de l'autre côté le fait qu'elles échouent. C'est ainsi tant sur la ligne

de jonction entre physique classique et mécanique quantique, explicitée par le principe de correspondance, que sur ses points de rupture, mis en évidence par le principe de complémentarité, que l'analyse doit être menée. Pour elle :

> Si l'on considère l'évolution spécifique de la mécanique quantique, les représentations classiques d'un côté font leurs preuves, de l'autre échouent. Dans les présentations de Bohr, ces deux côtés trouvent leur expression la plus prégnante d'une part dans le principe de correspondance, d'autre part dans les rapports de complémentarité inhérents à toute la mécanique quantique. (Hermann, 1996: 104).

D'une part, G. Hermann reconnaît l'impossibilité des descriptions intuitives des événements microphysiques, étant donné que le formalisme de la théorie quantique ne se déroule pas dans l'espace tridimensionnel habituel, mais dans un espace de phases multidimensionnel. D'autre part, elle affirme, avec Bohr et Heisenberg, l'impossibilité d'éliminer totalement les représentations intuitives classiques de l'observation physique. Les deux principes, de correspondance et de complémentarité, définissent justement la place des images intuitives dans les phénomènes atomiques et limitent le champ d'application du principe de causalité.

Le principe de correspondance, pour Hermann, établit la liaison entre les données de la perception et le formalisme de la théorie au moyen des représentations intuitives et classiques. « Ce sont ces représentations intuitives qui livrent la clef pour interpréter les formules non intuitives de la mécanique quantique ; et qui rendent par là possible l'application, de ces dernières à l'expérience » (Hermann, 1996: 104-5). Ainsi contre les interprètes de la mécanique qui nient complètement le rôle de l'intuition dans le domaine microphysique, Hermann soutient, en s'appuyant sur Bohr et Heisenberg, la nécessité de nos représentations intuitives.

> Malgré ce caractère non intuitif, le formalisme de la mécanique quantique ne signifie pas en définitive un *détachement de l'intuition* ; pour l'interprétation de toute perception, pour tout passage d'un rapport à l'observation à un autre, il assure, comme le montre le principe de correspondance, le raccordement sans lacune aux constructions intuitives spatio-temporelles de la physique classique. Vouloir éliminer ces constructions reviendrait alors à se barrer l'accès à l'intuition, et du même coup l'accès à une mise en correspondance significative

> entre les données de la perception et les schémas formels d'une théorie physique. (Hermann, 1996: 108-9).

Néanmoins, ses représentations ne sont plus de façon univoque rapportées aux phénomènes microphysiques. Le principe de complémentarité révèle, à son tour, les limites de ces représentations. En même temps qu'il affirme la nécessité de l'usage des deux images classiques mutuellement excluantes, l'ondulatoire et la corpusculaire, il nie la possibilité de construire une nouvelle image intuitive de la nature microphysique, homogène et harmonique. C'est justement l'échec de l'interprétation du formalisme de la mécanique quantique en termes d'images données à l'intuition spatio-temporelle qui a amené Bohr[89] à la formulation de son principe de complémentarité. Bohr reconnaît la nécessité de l'usage des images intuitives, non pas à l'égard du formalisme de la fonction d'onde, mais pour décrire la situation expérimentale dont le physicien doit rendre compte. La représentation complémentaire s'impose avec une nécessité liée à notre capacité toujours limitée d'observation des phénomènes atomiques. Pourtant, afin d'éviter les paradoxes, son principe établit qu'on ne peut pas mélanger les comportements ondulatoire et corpusculaire dans une même situation expérimentale. Hermann non seulement partage ce même point de vue que Bohr, mais elle prend justement le principe de complémentarité allié au principe de correspondance pour justifier à la fois la condition universelle du principe de causalité et les conditions de limitation du critère de prévision par le calcul.

5.5. L'approche relationnelle de la théorie quantique

Hermann voit dans cette limitation du critère de prévision par le calcul, critère qui ne vaut pleinement que pour la physique classique, la révélation de la relativité de la description quantique par rapport à l'acte d'observation du physicien vis-à-vis de son objet. Elle considère que le principe déterministe était possible en physique classique justement parce que ce caractère relatif de la description des processus naturels ne lui était pas propre. En abandonnant la croyance dans le caractère absolu de la connaissance

[89] Cf. Bohr (1991:193).

de la nature, la mécanique quantique a servi à éclaircir une confusion entre des principes épistémologiques distincts. Ainsi, associer le principe selon lequel tout événement dans la nature a des causes qu'il suit nécessairement à celui de la prévisibilité par le calcul a été auparavant possible parce que la connaissance classique de la nature supposait la croyance dans l'indépendance de la description par rapport à l'observation.

> La mécanique quantique contraint à dissiper cette confusion entre des principes distincts de la philosophie de la nature, à abandonner l'hypothèse du caractère absolu de la connaissance de la nature, et à utiliser le principe de causalité indépendamment de cette hypothèse. Elle n'a donc pas réfuté la loi de causalité, mais l'a éclaircie et libérée d'autres principes qui ne lui sont pas liés de manière nécessaire. (Hermann, 1996: 103).

Ce caractère relationnel de la théorie est pour Hermann une conséquence du fait que la mécanique quantique a rompu avec toute tentative d'objectivation soit au sens réaliste soit au sens kantien classique. Le bouleversement plus profond opéré dans la physique contemporaine a été provoqué par la rupture avec l'objectivation plutôt que par celle du principe de causalité.

> Plus profonde encore est la rupture avec la conception classique selon laquelle les systèmes physiques et leurs interactions peuvent être appréhendés objectivement, autrement dit indépendamment de la manière dont l'observateur en prend conscience. A une telle description de la nature, homogène et objective, se substituent des représentations qui ne valent que relativement au rapport à l'observation considéré, qui ne peuvent plus être appliquées à de nouvelles observations, et qui sont alors remplacées par de nouvelles descriptions. (Hermann, 1996: 104).

Max Jammer[90] considère que, avant Bohr, Grete Hermann a été la première qui a conçu ce caractère relationnel. Pour lui la conception relationnelle de la théorie quantique de Hermann est même plus radicale que celle que Bohr avait introduit dans son article de 1935, en réponse au défi lancé par Einstein, Podolsky et Rosen. Comme nous avons vu dans le chapitre précédent, le phénomène quantique est, pour Bohr,

---

[90] Cf. Max Jammer (1974 :207) : "Was Bohr really the fist to express the relational nature of quantum process? Digressing into the history of the complementary interpretation we find that, to some extent at least, he was preceded by Grete Hermann".

toujours relatif au type d'appareil caractéristique d'une certaine situation expérimentale. Dans son essai, Hermann radicalise encore plus cette notion de relativisation, car pour elle le phénomène quantique est non seulement relatif au dispositif expérimental d'observation, mais également au cas concret particulier où le résultat d'observation se produit[91].

A la différence de Bohr qui a opposé complémentarité à causalité, la démonstration de Hermann du caractère relationnel de la description des événements naturels, loin de rejeter la causalité universelle, la considère comme une condition *a priori* pour rendre compte de l'expérience.

Pourtant, avec Bohr et Heisenberg, Hermann estime que c'est justement ce caractère relationnel de la théorie qui justifie la nécessité des représentations complémentaires. L'idée selon laquelle un nouveau modèle homogène et intuitif qui prendrait en compte les traits de la propagation ondulatoire et du mouvement corpusculaire en substitution aux deux modèles est mis en échec, n'a pas de sens. La raison pour cela s'appuie sur le fait qu'une interaction incontrôlable entre le système objet et l'instrument de mesure établit des bornes infranchissables pour l'applicabilité des concepts classiques. Toutes nos expériences sont alors contraintes au cadre intuitif spatio-temporel. C'est pour cela que nous utilisons des concepts associés à des images, conformément au schématisme kantien. Néanmoins, à cause de l'interaction incontrôlable entre le système et l'appareil de mesure, nous sommes limités à un usage complémentaire de nos concepts classiques, dont la description exhaustive est conditionnée à une observation précise. Cette interaction est aussi la cause de la limitation des outils formels de prévision, en donnant un sens médiatisé au principe de causalité et limitant son critère d'application.

> La signification de cette opposition se déduit du caractère seulement relatif de la description quantique. Comme toute description et explication de processus physiques ne vaut que relativement à chaque rapport à l'observation, le calcul (par exemple la trajectoire d'un corpuscule) qui rassemble en une seule représentation les déterminations issues de différents rapports à l'observation,

[91] Cf. Max Jammer (1974: 211) : "In concluding our historical digression we must point out that Grete Hermann's relationalism was, strictly speaking, even more radical than Bohr's. In her view, this description, to become fully effective, has to take into consideration not only the experimental setup of the situation but also the precise outcome to the observation".

> demeure physiquement vide, justement dans la mesure où il outrepasse les relations d'indétermination : il est incontrôlable, et ne fournit aucun point de repère qui permettrait des prévisions par le calcul. (Hermann, 1996: 101).

Il n'y a pas alors de description possible indépendamment de l'observateur et de sa manière d'observer. Pourtant si l'on veut donner à cette description le statut d'une explication de la nature, elle ne peut servir selon G. Hermann qu'en tant qu'analogie. Cela parce qu'un seul modèle ne suffira jamais à caractériser complètement le système physique. Aucun des modèles complémentaires ne correspond à des propriétés objectives du système, mais sont toujours relatifs à ses propres procédures d'observation.

5.6. La dissymétrie entre explication et prédiction

Hermann adopte l'idée selon laquelle si A cause B, alors A *explique* B. Ainsi dès qu'on a identifié le rapport nécessaire qui lie un certain résultat de mesure à sa cause antérieure, on a trouvé l'explication de pourquoi ce résultat est intervenu. Une fois identifiée la cause, cela ne signifie pas que la prédiction déterministe d'un effet futur est assurée. Cette dissociation entre causalité et prévisibilité a été également et indépendamment comprise par N. R. Hanson (1958, 1963), dans sa critique de la thèse de la symétrie logique entre expliquer et prédire soutenue par C. G. Hempel (1942). C'est Max Jammer (1974 : 207) qui attire notre attention sur ce point.

Pour Hempel la justification de la prédiction de P est symétrique à l'explication de P[92]. Par ailleurs, une explication ne peut pas être considérée complète si elle ne fonctionne pas en tant que prédiction. Hanson, dans sa critique, a souligné, sans aucune référence aux écrits de G. Hermann, que les thèses de Hempel semblent satisfaire l'idéal

---

[92] Cf. Hempel, 1942 : 36-38 : ". The scientific explanation of the event consists of a set of statements asserting the occurrence of certain events C1, … Cn at certain times and places, a set of universal hypotheses, such that the statements of both groups are reasonably well confirmed by empirical evidence, from the two groups of statements the sentence asserting the occurrence of event E can be logically deduced. (…) The scientific prediction consists in deriving a statement about a certain future event from statements describing certain known conditions and suitable general laws. Thus, the logical structure of a scientific prediction is the same as that of a scientific explanation (…). In particular, prediction no less than explanation throughout empirical science involves reference to universal empirical hypotheses"

des *Principia* de Newton mais qu'ils sont par contre absolument inadéquats pour la microphysique[93]. Il suggère encore, en utilisant le même genre d'argument qu'Hermann, que la symétrie hempelienne entre explication et prédiction est une conséquence du déterminisme classique.

Grete Hermann, comme nous allons voir dans la suite de ce chapitre, sépare le principe de causalité de la loi de continuité qui suppose la chaîne temporelle des états voisins instantanés. Néanmoins elle considère que l'application de la notion de causalité à la chaîne temporelle continue a un sens inexact et ne pourra être employée que de façon analogique. De son côté, Hanson, pour qui la notion de causalité est une explication rationnelle de l'effet, comme Hermann l'admet aussi, propose d'abandonner la dernière conception en termes de maillons-dans-une-chaîne d'ascendants et de descendants, de causes et d'effets, qui pour lui ne tient pas même en tant qu'analogie.

> Que souvent on rend compte des événements en termes de cause et d'effet ne signifie pas nécessairement que l'univers est enchaîné au moyen de fers ineffables, mais cela signifie que l'expérience et la réflexion nous ont donné de bonnes raisons d'attendre un Y chaque fois que nous avons affaire à un X. (Hanson, 2001 : 82)

Hanson admet le caractère théoriquement contextuel du terme 'cause', qui suppose l'attachement à un certain modèle conceptuel. « Les questions concernant la nature de la causalité sont, à un degré surprenant, des questions concernant la manière dont certaines expressions descriptives associées en des contextes définis, se complètent et s'enchaînent en une configuration organisationnelle d'autres expressions » (Hanson, 2001 : 78-9). Le terme cause, théoriquement chargé, n'a pas le même statut que le terme 'effet', celui-ci étant moins riche en théorie.

---

[93] Cf, par exemple, Hanson 1963 : 29 : "This situation is, however, totally different in quantum physics. Here the facts run against the schemata suggested by Hempel. True, given any single quantum phenomenon P it can be completely explained *ex post facto*. One can understand fully just what kind of event occurred, in terms of the well established laws of the composite quantum theory of Jordan, Dirac, Heisenberg, and the later developments of Dyson, Schwinger and Tomonaga. These laws give the meaning of 'explaining single micro-events'. Philosophers of science should not legislate here: they must note what *counts* as explanation in microphysics, and then describe its logic precisely. It is, of course, the most fundamental feature of these quantum laws that the prediction of such a O is, as a matter of principle, impossible. This impossibility is not comparable with what obtains in classical statistical mechanics".

> Les relations causales ne sont exprimables que dans des langages qui ont plusieurs niveaux de pouvoir explicatif. (…) C'est la raison pour laquelle dans un certain contexte, les termes-causes ne sont pas « parallèles » aux termes-effets, et c'est pourquoi les causes expliquent les effets et non l'inverse. Car les termes-'cause' sont chargés : ils transportent avec eux un modèle conceptuel. Mais les termes-'effets' faisant pour ainsi dire partie de la charge sont moins riches en théorie, et partant, moins à même de servir dans les explications des causes. (Hanson, 2001 : 76)

Hermann, de son côté, suppose le caractère non seulement théorique mais expérimental du terme cause. L'inscription de la cause à une situation expérimentale particulière impose des limitations à sa capacité théorique d'explication. Ces limitations, comme on a vu, sont désignées par le nom d'analogies. Ainsi pour d'autres raisons que celles avancées par Hanson, une asymétrie entre l'effet et la cause est aussi admise. Pour Hermann, l'effet est bien ce qui arrive lorsqu'une mesure est effectuée, c'est-à-dire, le fait expérimental signalé par un certain dispositif de mesure. La cause, en revanche, est ce qui correspond à un état antécédent et qui explique seulement *a posteriori* et de façon limitée, à l'aide de nos concepts classiques, la raison de l'effet expérimental. Dans le même sens de Hanson, il émerge de l'approche de Hermann la condition que l'effet soit moins chargé théoriquement que la cause. On va voir dans la suite comment son idée de cause s'articule avec les réquisits de complétude et de nécessité de l'explication.

5.7. Les controverses sur la complétude et la nécessité de l'explication causale

La conception de causalité en tant que raison suffisante de l'apparition d'un événement expérimental amène Grete Hermann à rejeter la recherche de nouvelles causes ou de nouvelles variables cachées. Celle-ci lui paraît reposer sur des hypothèses totalement stériles. Une fois que la théorie a déjà offert les causes qui déterminent de façon univoque le résultat de la mesure, on n'a plus besoin de rechercher d'autres causes cachées. Selon ses propos : « il ne peut y avoir qu'une seule raison suffisante

d'abandonner la recherche des causes qui gouvernent les processus observés en affirmant qu'elle est par principe stérile : *déjà connaître ces causes* » (Hermann, 1996 : 86).

Von Neumann, en 1932, avait déjà présenté un théorème comme preuve de l'inexistence de variables cachées. A la différence des sympathisants de « l'esprit de Copenhague » qui, comme nous le fait remarquer Michel Bitbol (1996 : 334), voyaient dans ce théorème une garantie de leur propre interprétation, la philosophe néokantienne affirme, à cette époque presque solitairement, l'inconsistance du théorème du grand mathématicien von Neumann. Pour Hermann, d'un point du vue mathématique, la preuve était incontestable. Néanmoins d'un point de vue logique, elle refuse la légitimité de la démonstration en mettant en évidence sa circularité, dans la mesure où la conclusion à établir était déjà contenue dans une des prémisses, notamment le postulat IV énuméré dans le théorème. Pour elle, la démonstration de von Neumann « introduit dans ses prémisses formelles, sans le justifier, un énoncé équivalent à la thèse à démontrer » (Hermann, 1996 :82).

C'est une question controversée celle de savoir si Hermann a réellement réfuté la preuve de von Neumann. Max Jammer, par exemple, après une analyse détaillée des arguments donnés par G. Hermann, considère sa réfutation injustifiée. Pour lui, von Neumann n'a pas commis une *pétition de principe* et l'accusation de circularité n'a pas lieu d'être[94]. Bien que John Bell dans son article de 1966 mette en cause le même postulat de la démonstration de von Neumann, pris par G. Hermann, Max Jammer considère que les deux réfutations ne sont pas identiques. Pour lui, Bell a effectivement démontré la contradiction de la preuve de von Neumann tandis que Hermann n'avait pas réussi. En revanche, Léna Soler (1996 : 47-51) dans son analyse comparant les arguments de G. Hermann et J. Bell, considère que les deux développent des raisonnements très proches en isolant le même postulat problématique. Et en se référant à la critique de Max Jammer, elle considère injuste de ne pas associer le nom de la jeune néo-kantienne à la réfutation de la preuve de von Neuman. Ainsi Soler affirme :

---

[94] Cf. Max Jammer (1974 :275) : "Since for commuting operators the relation does not exclude dispersion-free ensembles from the outset, the conclusion to be established was not contained in the premises and the charge of circularity therefore is not justified".

> Même si Grete Hermann va trop loin en rejetant la preuve de von Neumann comme circulaire, une histoire des sciences qui omettrait d'associer le nom de Grete Hermann à la réfutation de l'impossibilité des variables cachées nous semblerait injuste, étant donné que la jeune philosophe fournit en substance les mêmes arguments que ceux de Bell, et ce, trente ans avant lui. (Soler (1996 : 50-51).

Il est hors de propos dans ce travail de poursuivre les étapes de chacune des démonstrations évoquées ci-dessus. Ce qui est le plus important à nos yeux ce sont les raisons données par Hermann pour condamner la possibilité d'additionner d'autres paramètres dans les fondements de la théorie. Ainsi, du point de vue de Grete Hermann, il n'y a aucune interdiction logique à la possibilité d'admettre des paramètres cachés. Dès lors que les arguments pour réfuter les causes cachées ne sont pas logiques, comme elle a cru le démontrer, la justification doit être faite par des arguments épistémologiques. Dans ce sens, avec son explication causale rétrodictive, Grete Hermann soutient la thèse de la complétude de la théorie quantique. Par le terme de complétude elle voulait caractériser une explication causale capable d'identifier et de préciser tous les paramètres qui interviennent pour l'obtention d'un résultat final de mesure. Parce que l'on connaît les causes qui déterminent un certain résultat de mesure on a une explication complète. Cela nous libère de la tâche de continuer à chercher des causes nouvelles ou d'éventuelles variables ou causes cachées.

Léna Soler (1996 : 148), dans sa Postface, regrette le fait que G. Hermann ne soit pas allée jusqu'au bout de la réflexion sur la complétude de l'explication. Cela était pour elle un peu dommage car « la physique du début du siècle demandait d'urgence une telle réflexion ». Soler émet une série de critiques à la solution présentée par G. Hermann en se demandant si en fait elle avait réussi à sauver la causalité. On a un peu l'impression que Léna Soler a poussé un peu loin ses critiques en nous présentant une Hermann, en dépit de sa filiation néokantienne, empiriste et anti-kantienne. Nous allons considérer quelques unes de ces critiques afin de faire ressortir ce qui nous semble le plus intéressant dans la pensée de Grete Hermann.

L'un des points problématiques de la solution de Hermann selon Soler repose sur la non-distinction entre complétude des explications causales associées et complétude du formalisme. Ces deux types de complétude appartiennent à des niveaux théoriques distincts. La complétude des explications causales est fondée sur un niveau

interprétatif supérieur alors que la complétude du formalisme l'est sur celui de la théorie restreinte. Soler suggère à juste titre qu'Hermann a mélangé ces deux niveaux. Ainsi la complétude évoquée dans le fameux article EPR est d'un ordre différent de celle défendue par G. Hermann. Le but d'Einstein, comme le souligne Lena Soler, était de restaurer la connexion causale des objets microscopiques dans l'espace et le temps en composant sa trajectoire par l'ensemble de paramètres relevants. Si le couple (p,q) se montre être insuffisant, d'autres paramètres pourront être ajoutés. La description spatio-temporelle continue de l'évolution du système, supposée par EPR, appelait à un retour à l'idéal classique de symétrie entre l'explication et la prédiction ou entre le principe de causalité et la règle déterministe de prévisibilité par le calcul. Ainsi, la complétude rapportée par EPR concerne le niveau de la théorie restreinte et non le niveau interprétatif supérieur des explications causales *a posteriori,* dans lequel se situe Hermann.

Une fois que l'on accepte que la complétude affirmée par Hermann n'a pas le même statut que celle considérée par EPR, il reste à analyser si au niveau interprétatif supérieur, l'explication causale proposée par Hermann se maintient.

L'ambiguïté autour de la notion de nécessité de l'enchaînement causal, conçue par G. Hermann, avait été aussi signalé par Max Jammer. En fait, Jammer avait assimilé chez Hermann la question de la complétude à celle de la nécessité, ne distinguant pas bien les deux questions. Ainsi il critique la prétention de Hermann de vouloir fournir une explication complète d'un certain résultat de mesure en utilisant comme argument le fait qu'elle n'ait pas justifié la nécessité de l'enchaînement causal. Selon lui, elle a réussi à démontrer par sa reconstruction à rebours la possibilité d'un certain résultat obtenu. Néanmoins, elle n'a pas prouvé la nécessité de ce résultat[95]. Soler, de son côté, sépare bien les deux questions, en dépit du fait d'associer directement la complétude à la nécessité. Avec un peu plus de détail Soler développe la critique présentée par Max Jammer.

[95] Cf. Max Jammer (1974 :209) : "Although such a reconstruction may prove the *possibility* of the result obtained, it does not prove its *necessity*. Thus in the Weizsäcker-Heisenberg experiment her reconstruction, starting from the observation, accounts for the fact that the photon *can* impinge on the photographic plate where it impinges, but not that it *must* impinge there".

Pour justifier la nécessité de la causalité admise par la philosophe néo-kantienne, Soler l'enferme paradoxalement dans un cadre vérificationniste de justification. Ainsi elle affirme :

> De même [que Kant], la nécessité est pour Grete Hermann inhérente au concept de causalité. Quel critère permet de garantir que les reconstitutions causales *a posteriori* présentent l'enchaînement *nécessaire* des phénomènes ? C'est, selon Grete Hermann, la possibilité de formuler des prédictions médiates susceptibles d'être confrontées à l'expérience. (Soler, 1996 : 128).

On se demande s'il ne serait pas un peu abusif dans l'interprétation de Soler d'assimiler le critère médiat de causalité proposée par Hermann à une procédure de vérification médiate et croire en plus que Hermann justifie la nécessité du rapport causal sur les bases de cette procédure. A notre avis, dans ces deux suppositions, Soler ne donne pas sa juste valeur à la solution donnée par Hermann de séparer le principe de causalité de son critère d'application. Par ailleurs, attribuer le caractère *nécessaire* du principe de causalité au critère empiriste de vérification est une confusion qui ne peut pas être attribuée à la philosophe néo-kantienne. Nous voulons mettre en cause chacun de ces points.

Soler, avec raison, reconnaît que Hermann n'a pas détaillé « la procédure de vérification médiate ». On ne trouve même pas une expression semblable dans le texte de Hermann. Néanmoins Soler emploie cette expression pour caractériser le critère d'application de la causalité de l'approche de Hermann et qui correspond à la prédiction limitée des événements futurs, toujours relative à des contextes expérimentaux distincts. Cependant, la nécessité de l'explication causale est, pour Hermann, tout à fait indépendante de son critère d'application. La philosophe néokantienne semble adopter une notion kantienne de nécessité lorsque, par exemple, elle affirme : « rien ne se produit dans la nature qui ne soit causé par des processus antérieurs, autrement dit qui ne suive d'eux avec nécessité et ce, pour toutes les caractéristiques physiques susceptibles d'être constatées » (Hermann, 1996 : 98-99). Nous soutenons ainsi une opinion contraire à celle de Lena Soler pour qui la nécessité de la causalité chez Hermann résiderait dans le critère prédictif de vérification d'hypothèses. A notre avis, l'affirmation suivante, « la reconstitution est nécessaire, puisque confrontée à l'expérience elle s'avère validée » (Soler, 1996 : 127), ne peut pas être attribuée à

Hermann. Admettre cela est considérer que notre philosophe n'a pris en compte ni la critique de Hume de l'idée de connexion nécessaire ni la solution que Kant a donné au problème posé par Hume. Si l'on concède bien, comme Kant l'a fait, que Hume avait raison sur le fait que la nécessité de l'enchaînement causal ne peut pas être validée par l'expérience, on doit, soit trouver sa validation par quelque sorte d'argumentation transcendantale, soit rejeter l'idée de connexion nécessaire de l'expérience.

Par ailleurs, le programme vérificationniste tel que proposé par les représentants de l'empirisme logique, comme R. Carnap et C. G. Hempel, était incompatible avec l'idée d'enchaînement nécessaire de l'expérience. Le principe de vérification était, au début, formulé en tant que critère de distinction entre les propositions avec sens, celles propres à la connaissance scientifique, et les propositions dénuées de sens, celles associées à la connaissance métaphysique. Il s'agissait alors d'un principe servant de critère de signification et non pas de critère de nécessité. Associer alors le principe transcendantal de causalité, explicitement admis par Hermann, au critère empiriste de signification, attribué par Soler à Hermann, c'est rendre l'interprétation hermanienne absolument inconsistante. Ce n'est pas notre rôle ici de sauver l'interprétation de Hermann à tout prix. Cependant, ce qui s'avère intéressant c'est la réflexion de Hermann de comprendre comment le caractère nécessaire de la loi causale pourra être compatible avec la contingence et la pluralité des explications possibles des théories scientifiques.

Si, d'un côté, Hermann sépare le concept d'enchaînement causal de celui de la prédiction des événements futurs, de l'autre elle reconnaît qu'il y a un lien étroit entre ces deux concepts. Elle traduit ce lien par la phrase suivante : « il réside dans le fait que la valeur explicative d'une hypothèse physique peut seulement être contrôlée par la prévision par le calcul d'événements naturels futurs, et que, sans la possibilité de contrôle, l'affirmation de rapports causaux perd son caractère de connaissance de la nature » (Hermann, 1996 : 98). Cette affirmation montre que la valeur explicative d'une hypothèse réside dans son critère de prédiction sans faire référence à sa nécessité. Le problème qui se pose est donc de savoir comment on peut concilier le caractère nécessaire et *a priori* du principe de causalité avec le fait que les enchaînements causaux sont toujours *a posteriori*, c'est-à-dire, toujours relatifs à une certaine situation

d'observation. Pour G. Hermann cela n'est pas du tout un problème. La réponse avait déjà été donnée par Kant. Voyons ce qu'il en dit.

> Quand donc nous expérimentons que quelque chose arrive, nous supposons toujours que quelque chose précède, que l'objet suit selon une règle. (…) C'est donc toujours eu égard à une règle, d'après laquelle les phénomènes sont déterminés dans leur succession, c'est-à-dire comme ils arrivent, par l'état antérieur, que je rends objective ma synthèse subjective (de l'appréhension), et c'est uniquement sous cette supposition seule qu'est possible l'expérience même de quelque chose qui arrive.
>
> Cela, il est vrai, semble contredire toutes les remarques que l'on a toujours faites sur la marche de l'usage de notre entendement, d'après lesquelles c'est seulement par la perception et la comparaison de beaucoup d'événements, succédant, de façon concordante, à des phénomènes antécédents, que nous sommes conduits à découvrir une règle, conformément à laquelle certains événements succèdent toujours à certains phénomènes, et c'est par là que nous est donnée tout d'abord l'occasion de nous former le concept de cause. A ce compte, ce concept serait purement empirique, et la règle qu'il fournit, que tout ce qui arrive a une cause, serait tout aussi contingente que l'expérience elle-même : son universalité et sa nécessité seraient alors seulement fictives, et n'auraient aucune vraie validité universelle, parce qu'elles ne seraient pas fondées *a priori,* mais seulement sur l'induction. Mais il en va ici comme des autres représentations pures *a priori* (par exemple de l'espace et du temps), que nous ne pouvons tirer de l'expérience comme concepts clairs que parce que nous les avions mises dans l'expérience, et que nous ne constituions d'abord celle-ci que par le moyen de celle-là. Certes la clarté logique de cette représentation d'une règle déterminant en série des événements, à titre de concept de cause, n'est possible que lorsque nous en avons fait usage dans l'expérience, mais une prise en considération de cette règle, comme condition de l'unité synthétique des phénomènes dans le temps, était cependant le fondement de l'expérience elle-même, et la précédait donc *a priori*. (Kant, 1985a: 930-1; A 195, B 240; Ak III 171-2)

Ce fragment du texte de Kant est lumineux. Il nous permet de comprendre pourquoi les explications fournies *a posteriori* n'empêchent pas que la connexion nécessaire de ces explications soit légitimée *a priori*. Le fait que Hermann ne mette pas

en question sa reconstruction *a posteriori* vis-à-vis du caractère nécessaire et *a priori* de la connexion causale elle-même, est pour nous un indice qu'elle semble bien avoir conscience de la critique faite par David Hume et de la solution donnée par Kant. Si la nécessité empiriquement justifiée ne peut pas à notre avis être attribuée à Hermann, dans l'extrême opposé, il nous semble qu'une nécessité *a posteriori* du type proposée par Saul Kripke (1980) est loin aussi d'être admise.

Léna Soler critique encore l'approche de Grete Hemann selon l'argument que son idée de complétude et de nécessité des explications causales semble ignorer la variété d'explications causales différentes qu'un phénomène précis peut avoir, tant en physique classique qu'en mécanique quantique. Nous voulions aussi discuter cet argument qui à notre avis semble confondre la nécessité des théories physiques impliquée dans un engagement ontologique de celle présupposée dans un engagement transcendantal.

En physique classique, Soler évoque deux situations différentes selon lesquelles un même événement peut être expliqué de façon autre, en ayant donc des causes distinctes. La première se réfère à la diversité d'échelles selon lesquelles un certain événement peut être traité. Cette diversité contraint à avoir des représentations distinctes relatives à chacune des échelles choisies. Même si l'on considère la complétude relative à l'échelle considérée, comprise comme la suffisance des raisons invoquées, on ne peut pas interdire ni même condamner comme superflue la recherche d'autres causes inconnues qui se présentent à un niveau inférieur, plus fin et plus exact. On peut penser à l'exemple de la thermodynamique où deux échelles l'une macroscopique et l'autre microscopique peuvent être mobilisées pour expliquer les raisons du refroidissement d'une tasse tiède de thé. La deuxième situation concerne le cas où, dans une même échelle fixée, des raisons différentes peuvent être évoquées pour un même événement. Soler cite l'exemple donné par Kant d'une boule qui provoque l'enfoncement d'un coussin. Plusieurs raisons distinctes peuvent être données afin d'expliquer ce phénomène.

Dans le cas des phénomènes quantiques, le rejet par Grete Hermann de la poursuite de l'investigation d'autres causes, sous le prétexte que l'enchaînement causal *a posteriori* a été déjà identifié, est encore plus difficile à accepter selon Soler. Elle se réfère au répertoire d'interprétations différentes qui peuvent être accordées à la même

structure formelle des équations de la théorie quantique. Soler cite comme exemple la théorie à variables cachées proposée par David Bohm (1952), qui nous permet d'envisager d'autres scénarios causaux concurrents à celui imaginé par Hermann. La critique de Soler associe la question de la complétude directement à la question de la nécessité de l'explication causale rétrodictive.

Ces situations présentées par Soler sont, en effet, des variations d'un même argument connu, depuis Quine (1960), comme l'argument de la « sous-détermination des théories par les données empiriques ». Il est généralement l'un des plus forts arguments adressés contre les thèses du réalisme scientifique et a été auparavant formulé par Pierre Duhem en 1906. Repris par Quine, cet argument consiste à dire qu'il y aura toujours plusieurs théories au sujet d'entités inobservables, qui rendent compte des mêmes données empiriques. Dans ce sens, une théorie n'est jamais infirmée par une observation unique ou, comme dira Duhem (1981 : 285), « l'*experimentum crucis* est impossible en physique ». Etant donnée une théorie complète sur la réalité physique avec certaines conséquences observationnelles; on peut toujours construire une autre théorie plus complexe postulant d'autres entités non-observables, mais qui aura les mêmes conséquences observationnelles.

A notre avis l'idée d'expérience chez Hermann n'a pas du tout ce sens-là d'une expérience cruciale, critiquée par Duhem. En outre, son interprétation n'autorisa pas à conclure qu'une fois identifié l'antécédent causal d'un résultat de mesure, d'autres rapports causaux possibles sont exclus, comme une thèse réaliste le suppose. Or, l'interprétation relationnelle de Grete Hermann, parallèle à celle de Bohr et Heisemberg, paraît justement sanctionner le point de vue contraire. Ce qu'on appelle « réel » est nécessairement relatif à nos mesures, à nos observations et à nos interprétations, alors que les diverses théories des variables cachées semblent militer en faveur d'une position réaliste qui ne rend pas compte de la relativité de nos explications.

Il nous semble que l' argument de Léna Soler ne fait pas justice à la distinction entre les niveaux d'interprétation qu'elle même a essayé de préciser. Or, Hermann a rompu avec l'idée que le formalisme prédictif puisse être causalement expliqué par des entités inobservables. On explique causalement un résultat de mesure, mais on n'explique pas la structure formelle des équations de la théorie. Dans ce dernier sens la mécanique quantique est une théorie démissionnaire par rapport à cet idéal classique

d'explication des structures prédictives, comme le souligne bien Michel Bitbol (1996 : 15).

5.8. Causalité et principe de raison suffisante

L'argument central de Grete Hermann en faveur de la complétude de la théorie quantique repose donc sur l'exigence d'un lien intrinsèque entre la notion de causalité et celle d'explication *post factum* de la survenance d'un résultat expérimental quelconque. Donner les causes d'un phénomène, c'est, comme nous l'avons vu, donner les raisons suffisantes et temporellement antécédentes d'un événement. Nous voulons dans cette section examiner plus en détail ce rapport entre le principe de causalité et le principe de raison suffisante tel qu'il est introduit par Kant afin de mieux comprendre la teneur de l'approche de Hermann.

On rencontre également dans l'Analytique Transcendantale de Kant l'idée soutenue par Grete Hermann selon laquelle donner les causes c'est aussi donner les explications suffisantes de pourquoi un certain résultat arrive. A ce propos, Kant affirme que « pour expliquer des phénomènes donnés, on ne peut employer d'autres choses et d'autres principes d'explication que ceux qui ont été mis en liaison avec les choses et les fondements donnés, suivant les lois déjà connues des phénomènes » (Kant, 1980d : 1341 ; Ak III : 503 ; A 772, B 800).

En fait, dès le début de ses écrits, l'exigence d'une alliance étroite entre le principe de raison suffisante et celui de causalité comme base de l'explication scientifique a été exprimée par Kant. A l'égard de la physique newtonienne, l'argument kantien consiste à dire que toute explication scientifique des causes d'un phénomène doit faire appel à des règles, formulées mathématiquement et appliquées aux conditions données dans la perception. Une version de cet argument est présentée en 1764, dans la *Recherche sur l'évidence des principes de la théologie naturelle et de la morale*:

> On doit « rechercher, au moyen d'expériences sûres, le cas échéant avec l'aide de la géométrie, les règles d'après lesquelles se produisent certains phénomènes de la nature. Bien qu'on n'en saisisse pas le fondement premier dans les corps, il est certain pourtant qu'ils agissent d'après cette loi, et l'on explique les

> événements compliqués de la nature en faisant voir distinctement comment ils sont compris sous ces règles bien établies. (Kant, 1980a, Théol. Nat., 229-230, Ak II, 286).

Kant donne une autre vie au principe de raison suffisante énoncé par Leibniz. L'une des formulations de ce principe apparaît dans le paragraphe 32 de la *Monadologie,* où Leibniz le présente à côté du principe de non-contradiction :

> 31. Nos raisonnements sont fondés sur deux grands principes, celui de la contradiction, en vertu duquel nous jugeons faux ce qui en enveloppe, et vrai, ce qui est opposé ou contradictoire au faux.
> 32. Et celui de la raison suffisante, en vertu duquel nous considérons qu'aucun fait ne saurait se trouver vrai, ou existant, aucune énonciation véritable, sans qu'il y ait une raison suffisante, pourquoi il en soit ainsi et non pas autrement. Quoique ces raisons le plus souvent ne puissent point être connues. (Leibniz, 1991 : 140-141)

La principale différence entre l'approche kantienne et celle de Leibniz ne concerne pas tant la définition du principe que les critères de suffisance pour l'explication d'une énonciation véritable. A ce propos, Jules Vuillemin affirme:

> Le principe de causalité, au sens kantien d'un principe gouvernant la possibilité de l'expérience, ne se distingue du principe leibnizien de raison suffisante, au sens d'un principe purement rationnel, gouvernant les choses en soi et l'ordre même de la création, que par son rapport nécessaire à une succession ordonnée des représentations dans le temps. (Vuillemin, 1988 : 92).

En s'opposant à Leibniz et à son disciple Christian Wolff (1679-1754), Kant prétend démontrer que la validité du principe de raison suffisante ne peut pas s'appuyer sur des preuves métaphysiques. La seule justification pour ce principe doit être transcendantale, en tant que principe imposé par la raison aux phénomènes. Ainsi Kant s'exprime dans la section « Discipline de la raison pure par rapport à ses preuves »:

> Aussi toutes les tentatives que l'on a faites pour prouver le principe de la raison suffisante ont-elles été vaines, de l'aveu unanime de ceux qui s'y connaissent ; et avant que la critique transcendantale n'eût paru, on aimait mieux, comme on ne pouvait pourtant pas abandonner ce principe, en appeler avec arrogance au sens commun (recours qui prouve toujours que la cause de la raison est

douteuse) que de tenter de nouvelles preuves dogmatiques. (Kant, 1980d : 1340-50 ; A783-4, B811-2 ; Ak III 510)

Déjà dans la dissertation de sa phase pré-critique intitulée *Nouvelle Explication des Premiers principes de la connaissance métaphysique* (1755), Kant remet en question les rôles consacrés par les métaphysiques de Leibniz et Wolff aux principes de contradiction et de raison suffisante. La *Nouvelle Explication*, bien que ne représentant pas encore un schisme méthodologique par rapport au rationalisme métaphysique de Leibniz et de Wolff, rompt avec eux sur plusieurs questions d'importance. Kant commence en rejetant la supposition de Wolff selon laquelle le principe de non-contradiction est le principe simple et suffisant de vérité. Au lieu de cela, il doit y avoir des principes premiers distincts du principe de contradiction et du principe d'identité. Après Christian August Crusius (1715-1775), Kant devait rester toujours méfiant face aux programmes tendant à réduire toute la vérité à un seul principe simple. Bien que sa propre preuve soit aussi un échec, comme lui-même le reconnaît dans sa première critique, Kant a fortement attaqué toutes les preuves précédentes du principe de raison suffisante, principe qu'il préfère appeler, en suivant Crusius, de raison déterminante[96].

Dans cette dissertation Kant[97] distingue tout d'abord les raisons « antérieurement » déterminantes de celles « postérieurement » déterminantes (proposition IV). Les premières donnent les raisons d'être ou de devenir (*ratio essendi vel fiendi)* et répondent à la question « pourquoi ». Les secondes donnent les raisons de connaître (*ratio cognescendi*) et répondent à la question « quoi ». Kant prend comme exemple l'affirmation que la propagation de la lumière n'est pas instantanée. On peut fournir la raison postérieurement déterminante pour cela en faisant appel à l'existence d'un retard dans les observations des éclipses des satellites de Jupiter. Ce délai est une conséquence ou une raison à connaître que la lumière se propage à une vitesse finie. On peut par ailleurs et indépendamment donner une raison antérieurement déterminante de pourquoi la lumière a une vitesse finie en supposant, par exemple, que l'élasticité des

[96] Cf. Kant, 1980a : 122, AK I, 393 : « J'ai préféré également remplacer l'expression raison *suffisante* par *raison déterminante*, et j'ai pour moi l'approbation de l'illustre Crusius, car le mot *suffisant* est ambigu, comme Crusius le montre fort bien, puisqu'on on voit pas tout de suite dans quelle mesure cela suffit ; mais comme déterminer, c'est poser une chose de telle manière que tout opposé soit exclu, ce mot exprime ce qui suffit certainement pour que la chose soit conçue ainsi, et pas autrement ».

[97] Cf. *Nova dilucidatio,* Proposition IV. (Kant, 1980a : 119-122, AK I, 391-393).

particules de l'éther est responsable du retard sur le mouvement de la lumière. On est devant deux types des raisons déterminantes, celle qui ne détermine la vérité de l'énoncé que conséquemment en supposant qu'une observation ou une expérience doit avoir lieu et celle qui explique antécédemment la vérité d'un fait scientifique.

L'explication du principe de raison suffisante dans sa dissertation pré-critique est particulièrement intéressante parce que c'est là que l'on trouve sa présentation la plus claire de la nécessité de rejeter la position de Wolff de réduction du principe de la raison suffisante au principe de la contradiction. Pour Wolff toute vérité était en fin de compte analytique, dans la terminologie de Kant, ou une vérité de raison, dans celle de David Hume. Il n'existerait en apparence que des vérités de fait, ou des vérités empiriques, en raison des limites de l'intellect humain dans son effort pour saisir les vérités de raison. En rejetant le projet wolffian de réduire toute la vérité au principe de contradiction, Kant, d'une certaine manière, rejette aussi le point de vue leibnizien selon lequel il n'y a aucune interaction réelle. Les leibnizians-wolffians sont pris au piège dans un système qui ne leur permet que d'analyser les relations entre des concepts sans aucune relation empirique réelle. Pour eux les choses qui existent vraiment, comme les monades, ne sont pas dans une relation réelle l'une avec l'autre. En revanche, pour Kant, dans son texte pré-critique, le principe de raison suffisante n'entraîne pas la théorie d'harmonie préétablie dessinée par les leibniziens. Le besoin d'une raison suffisante de n'importe quel changement d'une substance prouve la nécessité plutôt que l'impossibilité d'interaction réelle parmi une pluralité de substances. Dévêtu de ses parures ontologiques et enserré dans une armature épistémologique, cet argument deviendra central dans la première Critique[98].

La liaison entre le principe de causalité et le principe de raison suffisante acquiert de nouveaux contours dans la *Critique de raison pure*, sur les bases de la théorie du schématisme. La validité du principe de raison suffisante doit se restreindre aux objets de notre expérience perceptive. Ainsi, il annonce que « les phénomènes ne veulent être expliqués qu'aussi loin que sont données dans la perception les conditions de leur explication » (Kant, 1980d:1132, A 483/B 511-2; Ak III, 334).

---

[98] Pour une discussion approfondie sur les différentes versions du principe de raison suffisante chez Kant : cf. B. Longuenesse (2001)

Dans la preuve de la deuxième analogie, on trouve la définition du principe de raison suffisante par rapport à la succession causale : « Le principe de la raison suffisante est donc le fondement de toute expérience possible, c'est-à-dire de la connaissance objective des phénomènes au point de vue de leur rapport dans la succession du temps » (Kant, 1980d : 934 ; A201/B246, AK III, 174). L'explication donc se relie toujours à l'existence d'une règle de succession temporelle. Selon Kant, nous déterminons quelque chose dans la mesure où nous la relions dans la succession du temps. Le principe de la raison suffisante doit ainsi reposer sur le principe de causalité, explicitée par la deuxième analogie, car il est le principe par lequel un événement suit nécessairement un autre dans le temps selon une règle.

Dans le cadre des catégories de relation, l'approche kantienne du principe de raison suffisante suppose qu'une relation réelle entre les différents objets soit pensée. Notre intuition sensible et notre entendement discursif sont contraints de synthétiser des relations réelles en termes de cause et d'effet. Au niveau abstrait de l'entendement pur, où la catégorie de causalité peut se présenter non schématisée, on peut penser qu'une cause rationnelle réelle se lie à un effet réel sans spécification de la nature esthétique de la présentation de la cause et de l'effet. Mais puisque nous sommes des êtres dotés d'intuition spatio-temporelle, notre façon particulière de relier la cause rationnelle à l'effet réel s'exprime par l'association d'une cause temporelle à un effet temporel. La seconde analogie impose à ce qui arrive dans le temps (l'effet temporel) qu'il soit nécessairement causé par une certaine chose (c'est-à-dire par une sorte de raison temporelle). Ce qui est exprimé par la deuxième analogie n'est rien d'autre que la façon particulière dont les êtres dotés d'intuition spatio-temporelle et d'entendement discursif sont contraints nécessairement à penser aux relations réelles.

La deuxième analogie fournit ainsi un principe selon lequel nous déterminons les objets de l'expérience dans une relation temporelle de succession. Le « Principe de la succession dans le temps, suivant la loi de causalité » déclare que n'importe quel changement dans le temps doit se conformer à la loi causale. Tous les phénomènes sont soumis aux lois, selon lesquelles l'existence suffisante de leur état présent est une conséquence d'un certain état antérieur. Kant essaie donc de présenter une justification transcendantale pour l'application du principe de raison suffisante aux objets d'expérience, car pour lui aucune sorte de justification valable pour ce principe n'a

jamais été fournie. Leibniz et ses disciples avaient échoué parce qu'ils avaient considéré le principe dans sa pleine généralité, comme l'appliquant aux choses en soi. De son côté, Wolff avait en particulier essayé de montrer qu'il découle du principe de contradiction. En conséquence du fait que ce principe est synthétique et non pas analytique, la preuve de Wolff, selon Kant, n'est pas aussi valable.

Avant Kant, David Hume avait déjà accepté le caractère synthétique du principe et avait aussi remarqué qu'il ne pourrait pas être justifié *a posteriori*. A cause de cela, Hume a notamment dénoncé l'illusion sous-jacente à l'idée de connexion nécessaire, implicite dans le concept de cause ou de fondement rationnel. Comme le principe de causalité ne peut pas être dérivé ni analytiquement du principe de contradiction, ni inductivement de l'expérience, la seule issue possible à ce problème soulevé par Hume, c'est que la justification de ce principe synthétique doit être transcendantale. Le rejet par Kant de la preuve de Wolff est aussi une réfutation du scepticisme de Hume en ce qui concerne le principe de causalité.

En tant que principe exigé pour l'unité d'expérience, la causalité est la version appliquée à la physique du principe de raison suffisante. L'argument kantien pour démontrer la version causale d'un tel principe commence par le concept d'un changement de l'état. La détermination d'un changement dans le temps exige qu'un état soit pensé comme existant avant le changement et un autre comme existant après. Ainsi les états se succèdent selon un ordre de temps défini. Mais l'ordre de temps lui-même ne peut pas être perçu, puisque le temps lui-même ne peut pas être perçu. La seule évidence que nous avons pour l'ordre de succession dans les apparences (la succession objective) est l'ordre de succession dans nos perceptions (la succession subjective). Mais les perceptions peuvent arriver dans un ordre différent de celui des objets perçus. Kant soutient que l'ordre des perceptions est un produit de l'imagination et que la production d'images peut avoir lieu arbitrairement.

Kant donne comme exemple d'une succession subjective l'acte de regarder un objet stationnaire tel qu'une maison (A190-191/B235-236). Les apparences sont successives mais l'ordre de la succession des perceptions peut se présenter n'importe comment, de haut en bas, de gauche à droite, etc. Il s'agit d'une succession tout à fait arbitraire. Pour être capable de dire quand une succession a lieu dans les objets, c'est-à-dire quand un changement objectif est arrivé, nous devons faire appel aux règles selon

lesquelles la succession doit avoir lieu d'une certaine façon. Ainsi pour la détermination de succession d'apparences à l'égard d'un événement qui arrive, nous exigeons l'applicabilité du principe de raison suffisante. Dans une succession objective, l'ordre dans le divers de l'apparence doit se conformer à une règle. Ce qui arrive suit ce qui précède nécessairement. L'exemple cité par Kant est celui d'un bateau se déplaçant. Il s'agit dans ce cas-là d'un événement qui suit un ordre nécessaire des apparences qui ne peuvent absolument pas être changées. Pour un bateau qui se déplace le long d'une rivière dans le sens du courant, je peux seulement avoir des perceptions qui se suivent l'une après l'autre dans un ordre qui n'est peut pas être inversé.

La deuxième analogie fournit la règle en vertu de laquelle nous pouvons constituer toutes les apparences de succession dans le temps en tant que changements. Nous percevons que les apparences se suivent les unes après les autres et nous les connectons grâce à la faculté synthétique de l'imagination. La relation objective de l'apparence de la succession n'est pas déterminée par la perception. Afin que cette relation soit connue comme déterminée, elle doit être pensée comme nécessaire. La nécessité peut seulement venir d'un concept pur de compréhension, et dans ce cas-là du concept de liaison entre la cause et l'effet. L'appréhension du divers de l'apparence est toujours successive. Les apparences, simplement en vertu d'être des représentations, ne sont d'aucune façon distinctes de leur appréhension. Nous n'attribuons jamais la succession à l'objet pris isolement. Quand je perçois que quelque chose arrive, cette représentation contient la conscience qu'il y a quelque chose qui précède. L'apparition acquiert sa relation de temps seulement par rapport à ce qui a précédé. Chaque occurrence est conditionnée par une occurrence antérieure et l'occurrence antérieure est une cause de l'occurrence surgissant Ainsi la succession des apparences est conditionnée à la loi de causalité. (Cf. A194/B244). Et par l'action de cette loi on peut sortir de la subjectivité de l'appréhension des apparences et arriver à l'objectivité des événements dans le monde phénoménal (le monde comme il "apparaît").

L'inscription du principe de raison suffisante dans la perspective transcendantale signifie avant tout le situer dans le temps. La raison dans le temps n'est pas autre chose que la cause, antécédente et nécessaire. Chaque événement présuppose une raison (fondement) et cette raison (fondement) est la cause formelle pour le changement qui a lieu. La forme que Kant a donnée au principe de raison suffisante est saluée par

Schopenhauer dans la conclusion de son livre *Le monde comme volonté et comme représentation* (chapitre L, Epiphilosophie) :

> l'expression de la forme la plus générale et la plus commune de notre intellect est le principe de raison ; mais que ce principe par la même ne s'applique qu'au phénomène, non à l'essence en soi des choses, et que sur lui seul reposent tout « Comment » et tout « Pourquoi ». Depuis la *Critique* de Kant il n'est plus une *æterna veritas,* mais une simple forme, c'est-à-dire une fonction de notre intellect qui, de nature cérébrale, est primitivement un pur instrument au service de la volonté et la suppose avec toutes ses objectivations. (Schopenhauer : 1966 : 1415)

Ainsi, tant pour Kant que pour Schopenhauer, chaque événement dans le monde phénoménal (pour Kant : le monde de phénomènes ; pour Schopenhauer : le monde comme représentation) est strictement déterminé, c'est-à-dire, conditionné par la loi nécessaire et universelle de causalité. La raison suffisante de ce qui arrive est donc donnée par le lien avec une cause antécédente.

Cet esquisse que nous avons présenté du cadre conceptuel où Kant place le principe de raison suffisante n'a pour but que de comprendre l'idée de complétude de l'explication causale défendue par Grete Hermann. En tant qu'idéal régulateur, ce principe nous fait croire qu'il y a une raison pour quoi que ce soit qui arrive, et qu'avec une recherche approfondie nous pouvons toujours, en principe, saisir cette raison. Autrement dit, il doit toujours y avoir une raison qui suffit à expliquer les événements qui se déroulent. Dans sa *Réponse à Eberhard,* intitulée « *Sur une découverte d'après laquelle toute la critique de la raison pure serait rendue superflue* », Kant[99] sépare le principe logique (formel) de raison, « toute proposition doit avoir une raison » du principe transcendantal (matériel) « toute chose doit avoir sa raison ». Le premier peut être compris en tant qu'un principe régulateur qui pousse notre entendement dans la recherche de causes inconnues et le deuxième en tant que principe constitutif de la nature matérielle qui prescrit aux données sensibles un enchaînement causal. Dans le même sens, Grete Hermann soutient que dès que les phénomènes expérimentaux sont suffisamment interconnectés de façon causale, on n'a plus besoin de continuer la recherche pour de nouvelles causes. On est donc devant une explication complète des

phénomènes. Néanmoins, comme nous l'avons vu précédemment, à la différence de Kant, le rapport causal explicatif est limité à un usage complémentaire des images intuitives associées aux états temporellement successifs. Le concept 'd'état' se réfère à une disposition expérimentale précise dans le cadre de l'intuition spatio-temporelle et non pas à une représentation mathématique donnée par une combinaison linéaire des vecteurs de base dans l'espace abstrait de Hilbert. Dès lors qu'on a perdu en mécanique quantique l'isomorphisme entre la loi de continuité qui règle l'évolution de l'outil prédictif dans l'espace abstrait de Hilbert et la loi causale qui relie deux événements qui se présentent dans l'espace intuitif, le rôle des analogies de l'expérience doit être revu.

Grete Hermann insiste sur le fait que les principes kantiens doivent être interprétés en tant qu'analogies. Pourtant ce qu'elle entend par analogie nous semble très éloigné du concept kantien d'analogie de l'expérience. Notre intention dans la suite est précisément de clarifier les différences entre les deux conceptions.

5.9. Le rôle des analogies

A l'instar de Bohr et Heisenberg[100], Hermann soutient que les modèles physiques intuitifs, même s'ils ne peuvent pas être appliqués de façon homogène et harmonique, à savoir, sans la condition de la complémentarité, semblent indispensables à l'explication des processus atomiques, en tant qu'*analogies*. Au regard de la philosophie de Kant, G. Hermann (1996: 114) s'appuie sur l'avis de F. Fries (1828) selon lequel même dans un sens général, non seulement spécifique à la mécanique quantique, « les principes de philosophie de la nature énoncés par Kant ne peuvent être employés qu'en tant qu'*analogies* ». Elle fait usage d'une acception plus courante de la notion d'analogie pour signaler justement l'absence d'une image cohérente de la description donnée par la théorie physique. Néanmoins, reste alors à préciser les rapports entre cette notion et celle effectivement employée par Kant.

L'acception courante de la notion d'analogie a un sens plutôt négatif. Par analogie on voulait dire que la signification de certains termes est basée sur une

---

[99] Cf. Kant, 1999 : 95-96, AK VIII, 193-194.

[100] Cf. Max Jammer (1974: 61-71).

ressemblance imparfaite établie par l'imagination entre deux ou plusieurs objets de pensée essentiellement différents. En dépit de cette connotation d'imperfection ou d'inexactitude, Kant a voulu faire de cette notion un principe méthodologique positif. Dans les *Prolégomènes*, il fait appel à une autre acception, celle d'une ressemblance complète et pas du tout imparfaite entre choses dissemblables. Ainsi il affirme :

> *analogie,* mot qui signifie non pas, comme on l'entend communément, une ressemblance imparfaite entre deux choses, mais une ressemblance complète de deux rapports entre des choses tout à fait dissemblables*.
>
> *Ainsi il y a une analogie entre le rapport juridique des actions humaines et le rapport mécanique des forces motrices : je ne puis jamais rien faire contre autrui sans lui donner le droit de faire la même chose contre moi dans les mêmes conditions ; de même qu'aucun corps ne peut agir sur un autre avec sa force motrice sans provoquer par là une réaction équivalent de ce dernier sur lui. Ici le droit et la force motrice sont deux choses tout à fait dissemblables, mais il y a cependant dans leur rapport une complète ressemblance. (Kant, 1985a : 142; Proleg, Ak IV, 357)

Dans la troisième critique, Kant donne la définition suivante :

> L'*analogie* (au sens qualitatif) est l'identité du rapport entre les fondements et les conséquences (causes et effets), dans la mesure où elle est réelle, en dépit de la différence spécifique des choses ou de leurs propriétés en soi (c'est-à-dire considérées en dehors de ce rapport), qui contiennent le principe de conséquences semblables. (Kant : 1985d : 1273 ; Ak V, 464)

François Marty (1980), dans son étude sur la notion kantienne d'analogie, attire notre attention sur le fait que cette notion, bien que faiblement représentée dans la période précritique de la pensée kantienne, a une valeur fondamentalement critique. Cette valeur réside dans la condition transcendantale selon laquelle les principes de l'entendement sont toujours limités aux données empiriques de l'intuition. Selon Marty, la notion d'analogie traverse des domaines distincts du système kantien et intervient de différentes façons. Il fait ressortir trois domaines : celui de la science de l'expérience, où les analogies de l'expérience constituent la pièce maîtresse ; celui du domaine suprasensible où des rapports nouménaux sont pensés en ressemblance avec les rapports empiriques ; et finalement celui de la méthode critique elle-même où la notion d'analogie anime la constitution du discours critique lui-même. Pour ce dernier usage il prend comme exemple l'analogie établie par Kant avec la révolution copernicienne pour

caractériser les transformations proposées par son approche critique. Ainsi l'usage que Kant fait de la notion d'analogie dans la *Dialectique transcendantale*, dans la *Critique de la raison pratique* et dans la *Critique de la faculté de juger* n'a pas la même connotation que l'usage qu'il avait fait dans le système des principes de l'entendement pur. F. Marty considère la notion d'analogie comme une clé de lecture qui permet de suivre toutes les transformations de la pensée systémique de Kant.

La classification du principe de causalité en tant que l'une des trois analogies de l'expérience est basée sur le sens mathématique d'analogie. En mathématique, cette notion signifie proportionnalité, ou, comme Kant l'affirme, égalité de deux rapports quantitatifs. Ainsi, quand trois termes d'une proportion sont donnés, le quatrième pourra être analogiquement obtenu, car *a* est pour *b,* exactement comme *c* est pour *d.* En empruntant aux mathématiques, Kant confère au terme « analogie », une signification transcendantale, c'est-à-dire, relative à une expérience possible. Dans l'*Analytique* il veut exprimer par ce terme une égalité de deux rapports non pas quantitatifs, mais qualitatifs. En faisant un usage philosophique du terme mathématique, Kant nomme « analogies de l'expérience », les trois principes dynamiques qui correspondent aux catégories de relation. Les trois formes des analogies de l'expérience sont alors : le principe de la permanence, le principe de causalité et le principe d'action réciproque.

Le principe général des analogies, Kant l'énonce de la façon suivante : « l'expérience n'est possible que par la représentation d'une liaison nécessaire des perceptions » (B218, AK III, 158). L'analogie est ainsi une règle pour chercher dans l'expérience non le terme correspondant à une certaine perception, mais le rapport entre deux perceptions. Selon les termes de Kant : « une analogie de l'expérience n'est donc qu'une règle suivant laquelle l'unité de l'expérience (non la perception elle-même, comme intuition empirique en général) doit résulter de perceptions » (B222 , Ak III 161).

Jules Vuillemin considère que cette notion kantienne d'analogie de l'expérience on la trouve aussi dans le Troisième Livre des *Principia mathematica*, où Newton expose les quatre règles, citées ci-dessous, à suivre dans l'étude de la physique. La première règle plus générale est élucidée par les deux suivantes, celle de l'analogie de la nature (régle II) et celle de la simplicité de la nature (régle III).

> Règle I
> Il ne faut admettre de causes, que celles qui sont nécessaires pour expliquer les phénomènes.
> Règle II
> Les effets du même genre doivent toujours être attribués, autant qu'il est possible, à la même cause.
> Règle III
> Les qualités des corps qui ne sont susceptibles ni d'augmentation ni de diminution, et qui appartiennent à tous les corps sur lesquels on peut faire des expériences, doivent être regardées comme appartenant à tous les corps en général.
> Règle IV
> Dans la philosophie expérimentale, les propositions tirées par induction des phénomènes doivent être regardées malgré les hypothèses contraires, comme exactement ou à peu près vraies, jusqu'à ce que quelques autres phénomènes les confirment entièrement ou fassent voir qu'elles sont sujettes à exception. (Newton, 1990 : 2)

Même si, dans le contexte de la physique classique, il y a quelque chose *d'à peu près* exact dans l 'établissement des analogies de la nature, en principe toujours modifiables par la recherche empirique, l'interprétation complémentaire de la mécanique quantique introduit une inexactitude plus radicale quant à notre pouvoir d'expliquer les phénomènes expérimentaux. Hermann donne ainsi un sens à des analogies de l'entendement pur assez différent de celui proposé par Kant et par Newton. Par analogie, elle veut signifier la perte sans précédent d'une description univoque et cohérente de la nature. Cette idée, on ne la trouve ni chez Newton ni chez Kant.

Hermann croit cependant que même dans le contexte de la théorie classique l'usage des catégories n'est pas tout à fait précis. La raison pour cela se trouverait dans le concept mathématique de la limite, commun à la mécanique quantique et à la physique classique. Le concept de la limite sous-jacent au formalisme des équations différentielles empêche qu'une mise en pratique de façon stricte du principe de causalité se réalise. Pour Grete Hermann, même classiquement, il n'y a pas de véritable sens à supposer que l'état physique d'un système, défini par exemple par sa position et sa quantité de mouvement, soit causé par l'état immédiatement précédent, qui est

déterminé par les conditions aux limites. Dans ce sens, elle déclare qu'« il est impossible de désigner, pour l'état d'un système, un autre état qui l'aurait immédiatement engendré ou qui en serait immédiatement l'effet »[101]. Toutes tentatives en mécanique quantique aussi bien qu'en physique classique de superposer exactement le principe de causalité à la loi d'évolution différentielle continue posent des problèmes d'interprétations très embarrassants. A cause de cela Hermann conclut qu'une description adéquate des événements naturels au moyen des principes de substance et de causalité est par principe impossible.

> L'idéalisme transcendantal prouve que la connaissance de la nature n'est pas une appréhension adéquate de la réalité, mais ne fait qu'isoler de manière incomplète, au sein de cette réalité, des structures de relations dont les fondements demeurent indéterminés dans le cadre de cette connaissance. (Hermann, 1996: 120).

Plus que jamais, la mécanique quantique impose selon Hermann qu'on comprenne les analogies de l'expérience en tant que simples analogies, pas dans le sens mathématique du terme, mais dans le sens flou qu'habituellement on donne à cette notion. Pourtant, elles sont indispensables à la connaissance physique. Voilà pourquoi dans l'approche hermannienne les principes transcendantaux, même si bien limités, sont toujours valables en mécanique quantique.

5.10. La disjonction entre analogie de l'expérience et anticipation de la perception

Il est intéressant d'analyser à quel point la conception de causalité défendue par Grete Hermann et surtout la dissociation proposée entre causalité et déterminisme rompent avec les arguments donnés par Kant dans le texte de la deuxième analogie de l'expérience.

Cette différentiation entre le principe de prédiction et le principe d'explication causale, que l'on trouve chez Hermann, est aussi présente chez Kant. Dans le système

[101] Hermann, 1996: 114.

des principes de l'entendement pur, le premier, nommé « principe des anticipations de la perception », appartient au groupe des principes mathématiques tandis que le deuxième appartient à celui des principes dynamiques. Pour caractériser ces deux groupes, Kant fait appel au rôle constitutif des premiers en opposition au rôle régulateur des deuxièmes par rapport à l'intuition sensible. Le principe de l'anticipation de la perception est alors conçu en tant que principe qui concerne la mathématique de l'intuition sensible pure. En revanche, le principe de causalité suppose qu'une perception empirique soit toujours donnée. Pour comprendre cela, on doit tenir compte de la distinction kantienne entre intuition sensible pure, condition nécessaire de la connaissance mathématique, et intuition sensible empirique, condition nécessaire de la physique.

> Si donc tous les phénomènes, considérés aussi bien comme extensifs que comme intensifs, sont des grandeurs continues, cette proposition, que tout changement (passage d'une chose d'un état à l'autre) est aussi continu, pourrait être ici démontrée aisément, et avec une évidence mathématique, si la causalité d'un changement en général ne résidait pas tout à fait en dehors des limites d'une philosophie transcendantale, et ne supposait pas des principes empiriques. (Kant, 1980d : 910 ; A 171, B 212-213 Ak III, 155)

Néanmoins, ce que Kant n'envisageait pas à l'égard de l'approche de G. Hermann c'était la dissociation radicale entre causalité et déterminisme, ou entre la deuxième analogie de l'expérience et le principe intensif de l'anticipation de la perception. Même si analytiquement le principe dynamique qui détermine le rapport causal se distingue du principe mathématique qui détermine l'évolution continue des perceptions dans le temps, Kant les conçoit de façon intriquée. Contraint par les conditions de la mécanique classique, il établit que pour suivre le changement d'un état A à un autre état B, on doit associer au principe de causalité le principe de la grandeur intensive qui nous permet de suivre tous les degrés de la constitution de l'effet à partir de la cause. Ainsi le principe de la grandeur intensive, celui qui rend possible l'application du calcul différentiel aux phénomènes, nous autorise à reconstruire le devenir ou la transformation causale de l'existence empirique des phénomènes.

> On demande donc comment une chose passe d'un état = *a* à un autre = *b*. Entre deux instants, il y a toujours un temps, et entre deux états dans ces instants, il y

> a toujours une différence, qui a une grandeur (car toutes les parties des phénomènes sont à leur tour des grandeurs). Tout passage d'un état à un autre se produit donc toujours dans un temps, contenu entre deux instants, dont le premier détermine l'état d'où sort la chose et le second celui où elle parvient. Tous deux forment donc les limites du temps d'un changement, par conséquent de l'état intermédiaire entre les deux états, et à ce titre ils font partie du changement tout entier. Or, tout changement a une cause, qui prouve sa causalité pendant tout le temps où il s'opère. Cette cause ne produit donc pas son changement tout d'un coup (en une fois ou en un instant), mais dans un temps, de telle sorte que, comme le temps croît d'un instant initial *a* jusqu'à son accomplissement en *b*, la grandeur de la réalité (*b*– *a*) est aussi produite par tous les degrés inférieurs contenus entre le premier et le dernier. Tout changement n'est donc possible que par une action continue de la causalité, qui en tant qu'elle est uniforme, s'appelle un moment. Le changement n'est pas constitué de ces moments, mais il est produit par eux, à titre d'effet. (Kant, 1980d : 939-40 ; A 208-9, B 253-4 ; Ak III, 178-9)

Cette production continue à laquelle Kant se réfère démontre le lien interne entre le principe de causalité et le principe de la grandeur intensive, car la détermination continue s'effectue dans la production d'unités intensives de réalité qui sont anticipées et transformées en objet dans cette anticipation. H. Cohen (2001), est parmi les interprètes de Kant, celui qui a mis en évidence le rôle essentiel du principe des anticipations de la perception dans la déduction transcendantale du principe de causalité. Dans ce sens, Cohen affirme :

> Le principe des grandeurs intensives, en tant qu'il sert aux anticipations de la perception, provenait en dernière instance d'un thème mécanique. Dans la causalité, nous voyons le même thème devenir effectif. Ainsi, il n'y a pas lieu de s'étonner que la véritable preuve dans la déduction transcendantale, réside dans ce principe : c'est seulement en vue de cette preuve qu'il était admis, il n'était destiné qu'à son explicitation. On pourrait commencer avec le principe de causalité, comme avec chacun des autres, et remonter à partir de celui-ci jusqu'au principe des grandeurs intensives comme à sa condition. Mais, d'un point de vue méthodologique, on passe des objets mathématiques aux objets dynamiques, aux objets qui ont leur unité dans des rapports, aux objets de

> l'expérience, cette dernière consistant dans la détermination de l'existence des phénomènes.
> Cependant, le lien apparaît également en ceci que la « production continue et uniforme » est caractérisée comme schème de la réalité, alors que, comme nous le voyons désormais, la production uniforme présuppose la causalité. (H. Cohen, 2001 : 466)

On trouve ainsi dans le texte même de la deuxième analogie deux notions de causalité distinctes qui se rencontrent. La première, comme on vient de la voir est basée sur le principe de raison suffisante capable de lier dans une connexion temporelle nécessaire l'effet de « la chaleur de la pièce » avec la cause du « poêle allumé ».

> Or, cette règle, pour déterminer quelque chose selon la succession du temps, est qu'il faut trouver dans ce qui précède la condition sous laquelle l'événement suit toujours (c'est-à-dire de manière nécessaire). Le principe de raison suffisante est donc le fondement de toute l'expérience possible, c'est-à-dire de la connaissance objective des phénomènes au point de vue de leur rapport dans la succession du temps. (Kant, 1980d: 934; A 200-1, B 246; Ak III: 174).

C'est justement en rattachant le principe de raison suffisante à la raison dans le temps, c'est-à-dire à la cause en tant qu'antécédent nécessaire, qu'on peut identifier chez Kant l'explication à la connaissance de la relation causale. Hermann reprend chez Kant précisément cette première notion de causalité.

Par contre, la deuxième notion est basée, comme on l'a souligné plus haut, sur le principe de continuité de la succession des grandeurs intensives, comme par exemple la vitesse. La transformation d'un état à l'autre est conçue comme un changement continu de la valeur de la grandeur qui passe par tous les degrés infinis. La causalité, dans ce sens, est une chaîne continue de causes et d'effets, qui déterminent continuellement « toutes les places pour les phénomènes dans le temps », « dont les premières entraînent inévitablement l'existence des seconds » (Kant, 1980d: 941; A 211/ B256 ; Ak III :180).

Hermann discute ce type d'enchaînement causal dans le § 16 de son texte. Elle considère que toute tentative de lier causalement, selon une évolution continue, l'état du système à un instant donné à un autre qui le précède ou le suit immédiatement est irréalisable. Contrairement à Kant, elle affirme qu' « une application stricte du couple cause-effet est impossible ; car il n'existe pas d'états chronologiquement voisins ; il est

donc impossible de désigner pour l'état d'un système, un autre état qui l'aurait immédiatement engendré ou qui en serait immédiatement l'effet » (Hermann, 1996 : 114). Cette situation est prise en compte dans le formalisme par les équations différentielles, qui mettent en relation les grandeurs et leurs dérivées par rapport au temps. La valeur instantanée d'une de ces grandeurs comme la vitesse ne se laisse « déterminer que par des passages à la limite dont le résultat inclut un domaine spatial ou temporel fini autour de ces points ». Cela n'a pas de sens selon Hermann de présenter cette valeur comme un processus physique autonome qui pourra être confronté à un autre comme étant sa cause. Face à cette difficulté, l'application de la causalité à une évolution continue d'une certaine grandeur, comme production d'unités de réalité dans le temps, ne pourra être employée qu'en tant qu'*analogies*. On va voir dans la dernière section de ce chapitre que l'usage que G. Hermann fait de la notion d'analogie n'est pas du tout le même que celui qui est employé par Kant pour nommer justement les principes dynamiques de relation.

Ainsi on voit chez Kant la connexion causale et la prédiction déterministe considérées comme des principes tout à fait distincts pourtant intrinsèquement associés. Par contre, chez Hermann ils sont distincts et dissociés. Hermann ne suit plus Kant dans cette association entre le principe de causalité et le principe des grandeurs intensives, car c'est justement sur ce point que s'opère la rupture entre la physique classique et la mécanique quantique. Elle quitte ainsi la preuve de la deuxième antinomie à la page B 253 (Kant, 1980d: 939 ; Ak III : 178). Ainsi avec Kant, Hermann constate la même identité entre rapport causal et explication du phénomène, mais contre Kant elle dissocie l'explication causale de la loi de continuité qui permet d'avoir des prédictions déterministes.

Lena Soler (1996 : 139) dans son analyse reconnaît aussi que « les reconstitutions causales que propose G. Hermann ne semblent pas satisfaire au réquisit de continuité ». Ces deux notions de causalité accentuées plus haut sont caractérisées par Lena Soler (1996 : 139) comme deux types différents de chaînes causales, qu'elle qualifie de chaînes horizontales et de chaînes verticales. « Les premières présentent le déroulement des événements naturels indépendamment de toute intervention humaine, par exemple la trajectoire d'un mobile ». Les secondes supposent l'accès à ces événements par le physicien. Etant donné que les reconstitutions *a posteriori* de Grete

Hermann s'identifient aux chaînes verticales et pas du tout aux chaînes horizontales, Soler ne considère pas juste de les qualifier de causales « au sens classique du terme » et en conséquence au sens kantien de la catégorie de causalité. A notre avis on perd en précision si l'on adopte cette perspective interprétative proposée par Soler. Le plus intéressant pour nous est d'examiner comment s'est rompu le lien entre le classique et le quantique et jusqu'à quel point l'approche de Hermann du principe de causalité s'éloigne de celle proposée par Kant.

Hermann prend ainsi la première notion de causalité fondée sur le principe de raison suffisante en la dissociant du principe de prédiction par le calcul, légitimé par la loi d'évolution continue. Nous voyons comment la conception de causalité de G. Hermann garde une distance critique par rapport à la confusion instaurée par Bohr au sein du débat sur le rôle de la causalité en théorie quantique. Nous avons remarqué dans le chapitre antérieur que l'une des multiples formulations que Bohr a donné du principe de complémentarité était celle d'une exclusion mutuelle entre description causale et description spatio-temporelle. Il identifie la première au formalisme de la fonction d'onde qui évolue de manière déterministe en se propageant dans un espace de configuration et la deuxième à la description spatio-temporelle toujours relative à une situation expérimentale. Dans cette perspective complémentaire, causalité et intuition spatio-temporelle s'excluent mutuellement. Léna Soler (1996 :42-43) attire notre attention sur le fait que l'incompatibilité des descriptions causales et spatio-temporelles ne figure pas dans le répertoire des trois types de relations complémentaires présentés dans §13 de son essai, où G. Hermann discute justement les deux principes proposés par Bohr, « Correspondance et Complémentarité ». Soler voit dans cette absence un acquiescement de la part de Hermann à la proposition de Bohr de complémentarité entre causalité et intuition en tant qu'une possibilité qui se superpose par rapport à d'autres possibles. Selon ses propres mots :

> on peut supposer que dans l'esprit de Grete Hermann, si cette alternative [celle de Bohr] décrit correctement la situation à laquelle se trouve confronté le physicien lorsqu'il formule des prédictions, elle n'épuise pas pour autant les possibilités conceptuelles dont il dispose lorsqu'il cherche à comprendre les phénomènes. Car Grete Hermann pense avoir montré que l'on peut toujours superposer rétrospectivement aux prédictions statistiques des explications causales. Elle considère donc très certainement que l'analyse de Bohr, bien que

> tout à fait pertinente en elle-même, reste partielle, et que la prise en compte de la possibilité des reconstitutions *a posteriori* conduit à une conclusion opposée a celle du physicien danois : la pleine applicabilité de la loi de causalité aux résultats de mesure. (L. Soler, 1996 :43)

Pourtant nous avons une interprétation un peu différente au sujet de l'absence de référence, dans le répertoire de Hermann, à la notion de complémentarité entre causalité et intuition remarquée par Soler. En fait, Grete Hermann énonce trois types de rapports du concept bohrien de complémentarité : a) la complémentarité entre les deux images classiques et intuitives des processus qui se déroulent dans l'espace et le temps : l'image corpusculaire et l'image ondulatoire ; b) la complémentarité à l'intérieur de chacune de ces images des propriétés conjuguées qui caractérisent chacune des deux, comme, par exemple, dans l'image corpusculaire, la complémentarité entre position et impulsion ; et finalement c) le troisième type de rapport complémentaire, qu'elle considère décisif, exclut mutuellement la description intuitive classique de la représentation du formalisme quantique exprimée par les fonctions de l'onde et le calcul des opérateurs. Or, ce troisième rapport est bien celui que Bohr a énoncé en termes de complémentarité entre les descriptions causales et spatio-temporelles à l'occasion de sa conférence à Côme, en 1927. Néanmoins, G. Hermann n'identifie pas le principe de causalité à l'évolution continue de la fonction d'onde. Ainsi, à notre avis, ce qui est absent dans le répertoire de Hermann n'est pas le rapport de complémentarité entre la description du formalisme quantique qui se présente dans un espace de configuration et la description expérimentale intuitive que si présente dans l'espace-temps ordinaire. Le refus de la part de la philosophe néo-kantienne à identifier la causalité au principe d'évolution continue, une croyance amplement adoptée par une grande majorité de physiciens presque comme un dogme, est à notre égard un signe que ce qui est en jeu est un autre concept de causalité. Différemment de celui diffusé par Bohr, le principe de causalité pour Hermann est relatif aux données empiriques des résultats de mesures, qui se présentent dans une intuition spatio-temporelle. Même si elle n'a pas réussi à se débarrasser complètement du vocabulaire de la causalité stricte, comme c'est le cas de la phrase qu'on trouve à la fin du §13, où elle affirme « la description strictement causale des états quantiques », ce qui est le plus important à notre avis c'est la distinction effectuée entre le principe de la continuité et le principe de causalité.

Nous avons remarqué dans le chapitre antérieur que chez Kant le principe de prévisibilité par le calcul est plutôt le principe d'anticipation de la perception que le principe de causalité. Le premier traduit la continuité de l'évolution temporelle des équations différentielles tandis que le deuxième ne s'applique qu'à une connexion entre deux perceptions empiriquement données. Comme Kant l'affirme, « par la simple perception, la relation objective des phénomènes qui se succèdent les uns les autres reste indéterminée » (B234, Ak III167). Pour déterminer objectivement lequel de ces états « doit être posé avant, lequel doit être posé après et non inversement », un principe d'unité synthétique doit exister. En retournant à Kant, Hermann reconnaît que la voie objective ne va pas de *a* à *b*, mais, inversement, de *b* à *a,* étant *b,* l'état qui se présente temporellement après l'état *a*. Ainsi l'analyse de Grete Hermann représente un retour critique à Kant ce qui permet de nouveaux éclaircissements sur le statut transcendantal du concept de causalité et met un peu d'ordre aux confusions autour de ce concept nées au sein des débats sur les fondements de la mécanique quantique. Avec Kant, Hermann considère que l'objectivité des événements présentés à la perception réside dans une règle de connexion nécessaire des phénomènes.

Toutefois, à l'instar de Bohr et de Heisenberg, Hermann ne fait pas ressortir la distinction transcendantale entre le principe mathématique des anticipations de la perception et le principe dynamique de causalité. Cependant les premiers considèrent le principe de causalité en tant que principe mathématique, au sens kantien du terme, tandis que la philosophe néo-kantienne a bien souligné le caractère dynamique d'un tel principe.

5.11. Philosophie critique et interprétation complémentaire

Hermann reconnaît ainsi une liaison profonde entre les résultats de la mécanique quantique et les raisonnements de la philosophie critique :

> Un examen approfondi montre plutôt que les découvertes décisives de la MQ, malgré toutes les divergences, qui sautent d'abord aux yeux, avec les conséquences supposées de la philosophie critique, se connectent sans

> contradiction aux principes de cette philosophie, et que leur signification pour la connaissance de la nature devient compréhensible à partir de ces principes. (Hermann, 1996: 123).

En guise de conclusion de ce chapitre nous souhaitons faire ressortir des liens de parenté évidents entre quelques postulats fondamentaux de la philosophie critique et les quelques caractères propres de la mécanique quantique. Bien qu'une justification des principes de la philosophie critique ne soit possible que par un processus rationnel d'auto-analyse de la raison même, la conservation des concepts classiques dans le cadre conceptuel de la mécanique quantique représente dans l'approche de Hermann une corroboration empirique très importante du schéma catégoriel kantien.

Le tableau ci-dessous résume les présupposés philosophiques communs des deux théories[102] dans l'interprétation de Hermann.

Philosophie critique	**Mécanique quantique**
a) l'ordre est conféré au divers qui se présente dans une intuition spatio-temporelle, par les catégories *a priori* de l'entendement.	a') la MQ est conservatrice par rapport aux concepts fondamentaux qui médiatisent le passage de la perception à la connaissance et, par conséquent, elle peut être prise comme une source de corroboration des catégories kantiennes.
b) « Dans la mesure où toute donnée empirique trouve sa place au sein des rapports légaux caractéristiques des processus naturels, et s'explique à partir de ces rapports », l'ordre imposé par les catégories est considéré universellement complet, même s'il y a des observations qui ne sont pas encore encadrées dans un ordre causal d'explications. Cela reste comme tâche à accomplir pour les recherches physiques.	b') malgré les bornes infranchissables imposées par le formalisme de la mécanique quantique à la prévision par le calcul de certaines observations futures, « l'exigence d'une application universelle de la loi de causalité, n'entre pas non plus en conflit avec la MQ ».

[102] Cf. Hermann, 1996: 117-119.

c) les catégories, en tant que simples *analogies*, ne trouvent pas d'application complète au delà des limites de l'expérience possible n'attentant jamais à l'unité d'une réalité déterminée en elle-même.	c') la MQ promeut une radicalisation des limites établies par l'épistémologie kantienne, dans la mesure où « elle abandonne la représentation selon laquelle ces structures de relations sont univoquement déterminées par certains rapports objectifs des choses situées dans l'espace et dans le temps, et montre la dépendance de ces structures par rapport à la manière dont l'observateur prend connaissance du système ».

Grete Hermann retrouve la signification transcendantale dynamique de la causalité chez Kant pour essayer de l'appliquer à la mécanique quantique. Cette signification réside justement dans l'usage empirique d'un tel principe. Il n'y a pas d'usage transcendantal de la causalité ni chez Kant ni chez Grete Hermann. C'est une tâche qui reste strictement limitée à à un rapport entre les perceptions. L'expérience est dans ce sens une synthèse des perceptions dont l'unité elle-même n'est pas contenue dans les perceptions. L'assemblage des perceptions, comme David Hume l'a montré, reste toujours accidentel, « de telle sorte que des perceptions mêmes ne résulte ni peut résulter entre elles aucune liaison nécessaire ». Pour arriver à l'expérience scientifique, celle qui permet une synthèse objective et non simplement subjective des perceptions, il faut faire intervenir une règle de liaison dynamique des perceptions qui constitue objectivement les phénomènes dans le temps.

A la différence de Bohr (1937a) qui a proposé de substituer le principe de causalité à celui de complémentarité, Hermann fait du principe de complémentarité une règle d'application de la causalité. Cette condition est tout à fait nouvelle par rapport à l'épistémologie de Kant. Néanmoins, nous considérons qu'il ne s'agit pas d'une nouvelle causalité, celle qu'Hermann expose dans son essai. A notre avis, nous ne pourrons pas dire que le principe de causalité classique, celui que Kant a nommé comme deuxième analogie de l'expérience, a été remplacé par un nouveau principe proposé par Hemann. La philosophe néokantienne maintient l'universalité du principe kantien en éliminant ce qui n'appartient pas à sa définition. Pour Hermann comme pour Kant, la causalité est un principe dynamique qui porte sur l'existence des phénomènes,

empiriquement donnés dans une intuition sensible. Ainsi l'idée de la causalité en tant que connexion dépendante du contexte expérimental est déjà présente chez Kant. Hermann radicalise cette dépendance, en montrant qu'en mécanique quantique les dispositifs de mesure interviennent de façon décisive. Ce que le physicien enregistre comme résultat d'une observation n'est pas l'objet lui-même de la mesure, mais l'effet nécessaire imposé par le système mesuré à l'instrument, comme par exemple, la position de l'aiguille d'un instrument de mesure. Pour interpréter la position particulière de l'aiguille lorsqu'une mesure a été effectuée, qui est imprévisible pour la théorie quantique, il faut donner des raisons explicatives suffisantes. Celles-ci sont considérées, par Grete Hermann, comme des causes, qui expliquent pourquoi l'avènement d'un résultat expérimental a eu lieu. A partir d'une démarche causale rétrodictive, on remonte à rebours de l'effet mesuré à sa cause antécédente. Une fois qu'une mesure a été effectuée, on peut reconstituer à rebours et de façon complète l'enchaînement causal nécessaire qui a produit le résultat mesuré. Cela illustre la condition transcendantale selon laquelle l'objectivité de la description quantique est toujours relative à une certaine situation d'observation.

La cause est ainsi toujours relative à une situation expérimentale d'observation et ne peut être donnée qu'après la prise de conscience du résultat d'une mesure. Le principe de causalité en tant que principe purement formel reste toujours *a priori*, mais son expression relative à une situation empirique précise ne peut être faite qu'*a posteriori* en tant que chaîne de données empiriques qui remonte de l'effet mesuré à une cause aussi empirique. Hermann s'avère être une lectrice très attentive de Kant quant au rôle du schématisme, qui prétend faire la médiation entre les catégories de l'entendement et l'intuition sensible. Pour Kant comme pour Hermann cela n'a pas de sens de considérer le principe de causalité sans référence à l'intuition spatio-temporelle. La causalité est le principe de l'unité de la pensée appliqué à ce qui est intuitivement donné, en établissant une relation entre antécédent et conséquent, condition et conditionné. Cependant cette approche kantienne de la causalité doit être mise à jour pour la situation spécifique de la mécanique quantique. Hermann cherche alors à inscrire le principe de causalité dans une action du sujet observateur médiatisée par les instruments de mesure.

Chapitre 6
P. Mittelstaedt : l'objectivation en mécanique quantique en tant que problème transcendantal

6.1. Introduction

Le problème de savoir si les principes *a priori,* tels que Kant les avait conçus, demeurent valides même en considérant la révolution scientifique qui constitue la mécanique quantique, a été bien analysé dans les années soixante par Peter Mittelstaedt dans son ouvrage *Philosophical Problems of Modern Physics*[103]. Il revient sur ce thème dans les années quatre-vingt-dix plus particulièrement sur l'impact des nouvelles découvertes qui ont jeté une nouvelle lumière sur le problème de la mesure en mécanique quantique en termes de ce qui est appelé « *unsharp observables* ». Un article exclusivement consacré à ce sujet est paru dans l'ouvrage collectif dirigé par Paolo Parrini (1994), *Kant and contemporary epistemology*[104], où Mittelstaedt essaye d'appliquer les conditions transcendantales à une nouvelle catégorie d'objets appelé « *unsharp objects* ».

Ses travaux de recherche sur les fondements de la théorie quantique de la mesure portent sur trois domaines distincts mais tout à fait interconnectés : logique quantique ; ontologie de la théorie quantique de la mesure ; et épistémologie transcendantale appliquée au problème de la constitution de l'objectivité en mécanique quantique. Peter Mittelstaedt, qui a fait son doctorat à Göttingen en 1956 sous la direction de Heisenberg, a commencé à s'intéresser à la logique quantique après avoir suivi le séminaire sur les fondements de la mécanique quantique de von Weizsäcker dans les années 1954 et 1955[105]. Tout au long de ses années de recherche comme physicien,

---

[103] Cet ouvrage a été publié originalement en allemand en 1963 et la traduction anglaise est apparue en 1976.

[104] Cf. Peter Mittelstaedt (1994), "*The constitution of objects in Kant's philosophy and in modern physics*".

[105] Cf. Max Jammer, 1974 : 394.

logicien et philosophe de la physique, il essaie de constituer une logique propre à la mécanique quantique qui soit compatible avec une ontologie plus faible que celle de la physique classique en faisant en même temps usage du raisonnement transcendantal.

Il est convaincu que Kant, parmi les philosophes modernes tels que D. Hume, Locke ou Leibniz, a été celui qui a présenté la meilleure solution au problème de l'objectivation. Une fois que ce problème est devenu le principal problème épistémologique de la mécanique quantique, Mittelstaedt propose un retour à Kant afin de mieux le maîtriser. L'épistémologie transcendantale est ainsi pour lui la plus adéquate pour comprendre la physique quantique. Son propos n'est pas simplement de soutenir la validité de la philosophie kantienne dans le cadre d'une interprétation consistante de la mécanique quantique. Il prétend aller au-delà de cela en se servant du raisonnement transcendantal pour proposer une interprétation personnelle au problème de la mesure. En fait, dans le déroulement de sa démarche, P. Mittelstaedt n'adoptera pas une, mais deux interprétations distinctes au problème de la mesure, l'une appliquée aux objets mesurés de façon « *sharp* » et l'autre à ceux mesurés de façon « *unsharp* » Dans ces deux interprétations, il essaie de montrer comment les principes transcendantaux, comme c'est le cas du principe de substance et du principe de causalité, pourront être encore valides si l'on considère les limitations imposées par les différentes ontologies.

Le problème de l'objectivation subit alors des traitements différents en fonction de la nature du processus de mesure. La première interprétation, présente dans son ouvrage de 1963/1976, est basée sur trois notions primitives : la notion d'état d'un système-objet, la notion de propriétés objectives et la notion de propriétés non-objectives. Toutes les propriétés, représentées dans le formalisme de l'espace d'Hilbert par des opérateurs de projection, sont supposées être exactes et bien précises lors de la réalisation d'une mesure. L'état du système-objet n'est pas défini par l'ensemble de toutes ses propriétés, mais seulement par le sub-ensemble de propriétés objectives, comme on le verra par la suite. La deuxième interprétation, exposée dans son livre de 1998 et partagée aussi par P. Busch et P. Lahti (1996), abandonne le clivage entre les propriétés objectives et non-objectives en faveur de la conception plus générale d'*unsharp* propriétés. Celles-ci sont représentées dans le formalisme mathématique par les observables POVM (*positive operator valued measure*), plus généraux que ceux des

opérateurs de projection. Dans ce nouveau cadre, l'état du système est défini par l'ensemble de toutes ses propriétés.

Les principales différences entre les deux interprétations (*sharp* et *unsharp*) concernent surtout trois aspects : 1) différences au niveau du formalisme mathématique choisi (le formalisme de mesure POV au lieu du formalisme standard des opérateurs de projection) ; 2) différences au niveau des mesures effectuées (mesures *unsharp* au lieu de mesures *sharp*) ; et 3) différences au niveau de la définition de l'état du système-objet (celui-ci est défini par rapport à l'ensemble de toutes ses propriétés et non plus relatif à une classe spéciale, celle des propriétés objectives).

Néanmoins, malgré ces différences, les deux interprétations, soutenues par Mittelstaedt à des époques distinctes, présentent des caractéristiques très semblables. Elles supposent un même type de démarche méthodologique caractérisée par la dérivation d'une logique quantique à partir de certains présupposés ontologiques de base, dont le but n'est rien d'autre que de donner une réponse au problème de l'objectivité. Dans cette perspective, une logique quantique distincte de la logique classique est proposée en fonction des différences ontologiques non négligeables entre la physique classique et la mécanique quantique. Ainsi la philosophie de la mécanique quantique de Peter Mittelstaedt commence par des différentiations ontologiques entre l'objet classique et l'objet quantique.

En dépit de l'importance et de l'originalité de ses études sur la logique quantique, comme l'a bien accentué Max Jammer (1974 : 394), ce chapitre ne traitera que des solutions données par Peter Mittelstaedt au problème de l'objectivité transcendantale dans le cadre d'une interprétation consistante de la mécanique quantique.

Comme Bohr (1928), W. Heisenberg (1932) et G. Hermann (1996), Peter Mittelstaedt défend l'idée que les principes kantiens de permanence de la substance et de causalité, qui sont en parfaite harmonie avec les lois de la physique classique, restent encore valables pour la mécanique quantique, si l'on restreint leur domaine d'application de manière appropriée. En revanche, il s'éloigne de l'interprétation complémentaire soutenue par Bohr, Heisenberg et Hermann en ce qui concerne non seulement la façon dont on doit limiter ces principes, mais aussi comment on doit interpréter le formalisme. A l'inverse de G. Hermann qui développe son analyse sur la

validité de la doctrine kantienne en s'appuyant sur l'interprétation complémentaire de la mécanique quantique, Mittelstaedt prétend, dans un autre type de démarche, établir une interprétation consistante de la mécanique quantique qui nie quelques principes fondamentaux de l'interprétation de Bohr, en s'appuyant entre autres sur la théorie de l'objectivation de Kant. Contrairement à ce que nous pensons, Mittelstaedt identifie Bohr à l'esprit de l'empirisme de D. Hume et du positivisme de E. Mach.

A la place du dualisme proposé par Bohr et Heisenberg de deux niveaux distincts de description, le niveau microscopique et le niveau macroscopique, il défend l'universalité de la théorie quantique, où la limite entre le classique macroscopique et le quantique microscopique n'a plus de sens. En se basant sur la théorie quantique de la mesure, dont l'origine remonte à von Neumann (1932/1946), son approche universaliste traite ainsi le système-objet aussi bien que l'appareil de mesure en tant que systèmes quantiques. A ce postulat métathéorique d'universalisation, est associée une ontologie des objets qui ont des propriétés, en contraste net avec l'interprétation bohrienne. Il veut ainsi dégager du formalisme quantique, interprété convenablement par la théorie quantique de la mesure, une ontologie quantique, dont la condition d'objectivation rejette l'hypothèse de détermination complète de l'objet par ses propriétés en faveur de la thèse d'une objectivation faible.

Nous souhaitons dans ce chapitre analyser l'articulation de ses thèses, de l'universalisation et de l'objectivation des propriétés avec les conditions transcendantales de la cognition. Dans un premier temps, nous examinons la validité de l'interprétation transcendantale dans le cadre des deux interprétations qu'il a proposées pour le problème de la mesure : l'une qui suppose l'impossibilité de mesures exactes et bien définies d'observables incommensurables et l'autre qui suppose la réalisation de mesures simultanées de ces mêmes observables de façon floue. Nous analysons, ensuite, les conditions de limitation imposées à la doctrine kantienne de manière à la rendre compatible avec une interprétation consistante de la mécanique quantique. Nous cherchons, enfin, à souligner les différences de l'approche réaliste de Mittelstaedt par rapport à d'autres interprétations kantiennes possibles du problème de l'objectivité.

6.2. Le problème de l'objectivation dans le cadre de l'interprétation des objets *sharp*

L'un des postulats principaux de Mittelstaedt c'est l'idée qu'un système physique, qu'il soit classique ou quantique, peut être objectivement défini par rapport à un ensemble de propriétés. Etre objectivement défini signifie être défini de façon indépendante de l'observateur ou de la mesure effectuée par cet observateur. Dans ce cas on peut objectivement associer une propriété à un certain état du système physique indépendamment de l'acte de la mesure. Pour Mittelstaedt (1976), comme il le développe dans son livre *Philosophical Problems of Modern Physics* et avant la survenue des interprétations *unsharp*, ce qui caractérise une propriété d'un système physique c'est la possibilité de la mesurer de façon précise. En physique classique, la mesure d'une propriété effectuée sur un système dynamique ne change pas l'état de ce système et elle est même révélatrice d'une propriété que le système avait avant l'acte de mensuration. En mécanique quantique les choses ne se passent plus comme cela. La mesure de la valeur d'une variable physique peut changer l'état du système. Dans ce cas-là on ne peut même pas dire que le système possédait la propriété associée à la variable mesurée avant son interaction avec l'appareil de mesure. Il est devenu très problématique de parler objectivement de propriétés d'un système quantique. Cela est connu comme le problème de l'objectivation en mécanique quantique.

Ainsi pour parler de manière sensée d'un système quantique en tant qu'objet séparé des moyens utilisés pour le caractériser et pour essayer de donner une réponse consistante au problème de l'objectivation, le concept de propriété d'un système sera pour Mittelstaedt le point archimédien de son interprétation. En partant de la prémisse que la philosophie transcendantale de Kant est celle qui a donné la solution la plus intéressante au problème de l'objet, Mittelstaedt propose alors d'analyser si cette solution est aussi applicable au problème de l'objectivation posée par la théorie quantique. Le problème de l'objectivation est ainsi lié au problème transcendantal de validité des principes synthétiques *a priori*. La stratégie de Mittelstaedt sera donc de chercher dans le cadre de la physique quantique si le concept *d'objet de l'expérience* peut avoir un sens. Si l'on peut parler d'objets de l'expérience pour la mécanique quantique, les principes kantiens demeurent valides de la même manière qu'ils le sont

pour la physique classique. Pour cela des nouvelles limitations sont imposées aux concepts d'objet et de propriété. La notion d'objectivation qui en résulte ne peut plus être assimilée à la notion classique forte de détermination complète du système par l'ensemble de toutes ses propriétés.

Ainsi Mittelstaedt démontre que toutes les autres tentatives d'objectivation arbitraire de propriétés du système, c'est-à-dire, sans considérer les conditions de limitation, que ce soit dans une perspective minimale d'interprétation de la théorie quantique ou dans une perspective réaliste, sont logiquement inconsistantes avec les présupposés de la théorie. Il propose alors une version très faible d'objectivation qui assume que des propriétés peuvent objectivement appartenir au système si l'on change la définition classique de propriété afin de la rendre compatible avec la nouvelle situation de la mécanique quantique. Dans ce nouveau cadre, l'objet qui se trouve défini est un objet un peu bizarre, intrinsèquement indéterminé, et qui ne possède plus les caractéristiques classiques d'individualisation et de ré-identification. A la différence de l'objet classique dont toutes ses propriétés sont non seulement mesurables mais aussi objectives, dans le système quantique les propriétés mesurables ne sont pas toutes objectives. Mittelstaedt va alors supposer un clivage entre les propriétés objectives et les propriétés non objectives qui n'existait pas avant pour les systèmes classiques. On va voir comment ce méta-postulat est compris dans son interprétation qui prétend offrir une issue faiblement réaliste à l'interprétation complémentaire de Bohr.

6.2.1. Le clivage propriétés objectives / propriétés non-objectives

Pour Mittelstaedt, quelle que soit l'interprétation adoptée en mécanique quantique, elle a une dimension méta-théorique qui met en relation le formalisme de la théorie-objet et les résultats expérimentaux. Dans son approche, le concept de propriété va jouer justement ce rôle méta-théorique de permettre l'interrelation entre les termes théoriques de la théorie et les résultats expérimentaux possibles. Tel concept va ainsi avoir sa place du côté théorique dans les termes du formalisme de l'espace d'Hilbert, du côté expérimental en tant qu'expression d'un résultat obtenu par un appareil de mesure, du côté logico-sémantique en tant qu'une proposition élémentaire du type *yes-no*. Ce concept aussi va permettre d'édifier une interprétation réaliste de la mécanique

quantique dans le sens où la connaissance soit en physique classique soit en physique quantique doit permettre de rendre compte de la réalité extérieure indépendamment du sujet observateur.

Mittelstaedt part de la définition de l'état du système quantique représenté, selon le symbolisme introduit par Dirac (1958), par le vecteur d'état $|\varphi>$, agissant dans l'espace abstrait d'Hilbert. Pour que le vecteur d'état $|\varphi>$ puisse représenter l'état du système, il faut qu'il soit défini par rapport à un ensemble de propriétés commensurables. Celles-ci ont la caractéristique de pouvoir être simultanément mesurées sans que le système soit affecté pendant le processus de mesure. Il s'agit donc d'une situation pour laquelle un système est préparé après un processus de mesure d'une propriété ou d'un ensemble de propriétés commensurables. Dans ce cas, le système se trouve dans un état symboliquement représenté par un vecteur propre de la propriété mesurée ou de l'ensemble de propriétés. Si une deuxième mesure de cette propriété ou de l'ensemble est prise, le système n'est pas affecté[106].

Mittelstaedt réserve le nom de « propriétés objectives » à ces propriétés qui dans un système quantique, peuvent être simultanément mesurées. Cela veut dire que par rapport à un état déterminé du système, ces propriétés sont mutuellement commensurables, c'est-à-dire qu'elles peuvent être mesurées suivant n'importe quelle séquence, sans changer leurs valeurs et ainsi sans changer l'état propre du système[107]. Les résultats de mesure peuvent être attribués à l'objet-système comme étant ses propriétés, justement comme dans la mécanique classique. C'est comme si le système était protégé contre l'intervention de l'instrument d'observation.

D'après lui, les propriétés objectives sont associées à certains opérateurs qui, dans le formalisme de la mécanique quantique, représentent les quantités physiques

---

[106] Dirac décrit cette situation de la façon suivante : "When we measure a real dynamical variable ξ, the disturbance involved in the act of measurement causes a jump in the state of the dynamical system. From physical continuity, if we make a second measurement of the same dynamical variable ξ immediately after the first, the result of the second measurement must be the same as that of the first. Thus after the first measurement has been made, there is no indeterminacy in the result of the second. Hence, after the first measurement has been made, the system is in an eigenstate of the dynamical variable ξ , the eingenvalue it belongs to being equal to the result of the first measurement. This conclusion must still hold if the second measurement is not actually made. In this way we see that a measurement always causes the system to jump into a eingenstate of the dynamical variable that is being measured, the eingenvalue this eigenstate belongs to being equal to the result of the measurement." (Dirac, 1958: 36).

[107] Cf. P. Mittelstaedt, 1976: 93.

mesurées (observables) et qui en plus ont la caractéristique algébrique singulière de commuter s'ils sont pris deux à deux. Ainsi, seules les propriétés objectives associées à des opérateurs observables qui commutent peuvent raisonnablement appartenir à un objet-système quantique. Ceci signifie qu'on ne peut parler d'un système quantique comme un objet que relativement à un ensemble de propriétés commensurables ou objectives.

Par contre, un système quantique peut présenter d'autres propriétés également mesurables mais qui ne sont pas objectives, c'est-à-dire qu'elles ne peuvent pas être mesurées simultanément. Pour les propriétés non-objectives, on ne peut pas soutenir qu'elles sont attribuées à un état $|\varphi>$, ni qu'elles ne le sont pas, même si ces propriétés sont mesurables dans un certain sens. Si deux propriétés A et B sont non-objectives , elles ne peuvent pas être attribuées simultanément au système. Elles sont aussi nommées incommensurables une fois que leurs observables, dites complémentaires, ne commutent pas[108]. La mesure d'une propriété de ce type provoque un changement de l'état $|\varphi>$ du système. Le meilleur exemple de deux observables complémentaires sont la position x et la quantité de mouvement p d'un système, qui sont dans une relation d'exclusion mutuelle dans le sens défini par Bohr. Cela veut dire que la connaissance d'une de ces propriétés rend la prédiction exacte de l'autre impossible.

Suivant von Neumann (1946 : 171) et considérant le formalisme de l'espace d'Hilbert, Mittelstaedt définit, pour le plus simple de cas, le terme 'propriété' par rapport à l'opérateur de projection $P_{\varphi} = |\varphi><\varphi|$. La mesure associée à cet opérateur décrit l'occurrence de l'état $|\varphi>$. Cela parce que l'opérateur de projection, qui projette $|\varphi>$ dans une base orthonormée choisie ou dans un sous-espace de l'espace d'Hilbert, a la valeur propre 1 quand le système est dans l'état $|\varphi>$ et la valeur propre 0 lorsque le système ne se trouve pas dans cet état. Les propriétés sont alors une classe spéciale d'observables, décrits par les opérateurs de projection, qui ont des valeurs propres 0 et 1. Si la valeur de l'observable est 1 cela veut dire qu'il y a une propriété correspondante

[108] Cf. P. Mittelstaedt, 1976: 96.

présente dans le système. Si la valeur de l'observable est 0 cela veut dire qu'il n'y en a pas.[109]

6.2.2. Quelques remarques sur l'emploi du terme propriété

A cause de l'emploi peu usuel du terme 'propriété', un éclaircissement terminologique paraît nécessaire. Les 'propriétés objectives' de Mittelstaedt sont relatives à celles qui dans les manuels classiques de mécanique quantique sont désignées comme des 'variables dynamiques compatibles' ou des 'grandeurs physiques associées à des observables compatibles'[110]. Si l'on prend par exemple Cohen-Tannoudji & *al* (1973 : 138; 215): toute grandeur physique mesurable A est décrite par un opérateur *A* dit observable, c'est-à-dire un opérateur hermitique dont les vecteurs propres peuvent former une base dans l'espace des états. Une condition nécessaire pour que deux grandeurs physiques A et B soient commensurables est que ses observables associées *A* et *B* commutent, c'est-à-dire que le commutateur de *A* et *B* ait la valeur nulle[111]. C'est ainsi que Cohen-Tannoudji (1973 : 232) affirme: « les observables *A* et *B*, qui peuvent ainsi être simultanément parfaitement déterminées, sont dites compatibles ». Une autre définition se trouve chez Messiah (1995 :130): deux variables sont compatibles si elles peuvent être simultanément définies avec une précision infinie et représentées par des opérateurs linéaires qui commutent[112]. Malgré l'usage variable du terme 'observable'[113], ces deux exemples correspondent à la fonction que

---

[109] « Observables that have only the eingenvalues 0 and 1 and that are described by projection operators P_E we shall call properties *E*. If P_E has the eingenvalue 1, then the corresponding property E is present ; if it has the value 0, it is not » (P. Mittelstaedt, 1976: 94).

[110] Cf., par exemple, Albert Messiah (1995 : 129) et C. Cohen-Tannoudji, Diu & Laloë (1973: 231-236).

[111] Le commutateur de deux observables *A* et *B*, on écrit [*A,B*], est défini par l'équation suivante : [*A, B*]=*AB* - *BA*.

[112] Cf. Messiah (1995: 168-170).

[113] A la différence de Messiah et Cohen-Tannoudji, B. D'Espagnat et Hughes, par exemple, identifient l'observable à la propre grandeur physique dynamique et non à l'opérateur associé à la grandeur physique. B. D'Espagnat (1994 : 59) écrit : « A la suite de Dirac nous appellerons désormais *observable* toute grandeur physique dynamique. Deux observables sont dites *compatibles* si les opérateurs qui leur sont associés commutent ». A ce même propos Hughes (1989: 59 et 63.) écrit: « we call physical quantities like kinetic energy observables » et « quantum mechanics uses Hermitian operators in the Hilbert space to represent observables ». Chez Mittelstaedt (1976 : 94), le terme observable s'applique indistinctement soit aux quantités mesurables soit aux opérateurs associés à ces quantités, comme dans le

Mittelstaedt attribue aux propriétés objectives. En contrepartie, les propriétés non-objectives correspondent à des variables complémentaires, dont la mesure de deux de ces quantités ne peut pas être faite avec une précision allant au-delà de la limite établie par les relations d'incertitude. Une composante x de la position et la composante p de l'impulsion correspondante forment une paire de variables complémentaires ou, dans le sens de Mittelstaedt, de propriétés non-objectives, dont la limite de précision est donnée par $\Delta x \cdot \Delta p \approx \hbar$. Leurs opérateurs sont donc incompatibles parce que le commutateur a une valeur non nulle égale à $i\hbar$. Selon l'interprétation de Bohr (1991 :209), une mesure précise de ces deux quantités requiert des arrangements expérimentaux incompatibles. D'après la définition de Cohen-Tannoudji & *al.*(1973 : 232), « si A et B ne commutent pas, un état ne peut être en général vecteur propre simultané de ces deux observables. Elles sont dites incompatibles».

Néanmoins, même en faisant ces petits ajustements de traduction, le problème de savoir si l'on peut ou non attribuer des propriétés à un système quantique est une question très discutée parmi les interprètes de la mécanique quantique[114]. D'une part on note dans les manuels classiques de mécanique quantique que le terme « propriété physique » est évité, peut-être parce qu'il est déjà très chargé de contenu interprétatif. D'autre part, dans le débat philosophique sur les interprétations en mécanique quantique, l'attribution de propriétés à un système quantique est souvent associée à des approches réalistes fortes[115].

La querelle concernant les propriétés physiques d'un système quantique est apparue surtout après la publication, en 1935, du fameux article EPR, où A. Einstein, B. Podolsky et N. Rosen (1935) présentent un critère de réalité et suggèrent qu'une théorie à variables cachées peut être possible en considérant des propriétés intrinsèques du système indépendantes des moyens d'observation. C'est pour cela que l'attribution des

---

passage où il dit: « mesurable quantities (observables) [are represented] by Hermitian operators », et en suite il affirme : « If an observable A is objective with regard to the state $|\varphi>$, then $|\varphi>$ is an eigenstate of A ». Si l'on regarde le texte de Dirac, un des fondateurs de ce formalisme, il utilise aussi indifféremment le terme 'observable' soit pour les grandeurs physiques, soit pour leurs opérateurs correspondants. Ainsi il affirme : « We call a real dynamical variable whose eigenstates form a complete set an *observable.* Thus any quantity that can be measured is an observable ». Et plus avant, on trouve : « Let us define a complete set of commuting observables … ». (Dirac, 1958 : 37 et 57). Même Cohen-Tannoudji, à partir de la page 227 de son livre déclare : « nous emploierons désormais le mot 'observable' pour désigner aussi bien une grandeur physique que l'opérateur associé ».

[114] Cf., par exemple, Hughes (1989: 155-177), « The problem of Properties ».

propriétés physiques d'un système quantique se trouve fréquemment associée à des interprétations réalistes de la mécanique quantique, qui, comme le remarque M. Bitbol (1998a : 79), prétendent instituer un programme «d'objectivité forte » dans la démarche scientifique de la physique microscopique. Bien que Bohr (1935) dans sa réponse à l'article EPR ne pose pas les choses en termes de propriétés dynamiques, B. d'Espagnat (1994 : 233-241) a bien remarqué qu'on ne peut parler de manière sensée de propriétés d'un système quantique que dans le sens bohrien, c'est-à-dire, en connexion avec un agencement donné des instruments d'observation. Ainsi il appelle le « *postulat de Bohr* » le procédé de définition de propriétés dynamiques des micro-systèmes, qui n'a aucun rapport avec le concept de réalité physique donné par EPR. Voilà le postulat :

> *Un système quantique n'a pas, en soi, de propriétés dynamiques qui lui soient propres (il est donc erroné de le concevoir comme en ayant telles ou telles, qui ne nous seraient pas connues). Quand il est associé à un dispositif expérimental bien défini, il peut être dit avoir la propriété dynamique dont ce dispositif permet la mesure. L'événement-mesure proprement dit (l'interaction effective avec l'instrument) peut alors être considéré comme nous révélant la valeur que cette propriété dynamique « a » sur le système*. (B. d'Espagnat, 1994 : 239).

M. Bitbol (1998a : 84) reconnaît que cette définition de « propriété » dans l'esprit bohrien, indissociable de la référence à l'instrument de mesure, a tellement modifié son sens usuel qu'il est devenu méconnaissable. Devant ce nouveau contexte paradigmatique, Bitbol se demande s'il est même licite de parler de propriétés des objets de la physique microscopique, c'est-à-dire de déterminations qui leur appartiendraient *en propre*. Suivant son analyse, le vocable « propriété » serait déjà très contaminé par des interprétations réalistes de la mécanique quantique qui dotent les objets de propriétés réelles et intrinsèques, comme si les objets de la science étaient appréhendés en tant que choses-en-soi. Les théories à variables cachées ne sont que des tentatives de représenter ces propriétés sous-jacentes en complétant les observables de la mécanique quantique.

D'autres tentatives comme celles de Griffths (1984 et 1987) et de R. Omnès (1994) ne postulent pas l'existence des paramètres cachés, mais, comme Mittelstaedt,

---

[115] Cf. B. d'Espagnat (1994 : 73-78 et 233-262) et M. Bitbol (1998a : 77-108).

font appel à des propriétés intrinsèques du système. Dans une démarche toute à fait différente, ils voient l'évolution d'un système quantique comme l'évolution d'une histoire consistante marquée par le déroulement d'une série de propriétés ayant lieu à des temps différents.

On constate ainsi, du côté de l'histoire des interprétations de la mécanique quantique, que l'attribution de propriétés aux systèmes quantiques est fréquemment associée à des programmes réalistes. Cependant, du côté de l'histoire de la philosophie, la nécessité de la prédication de propriété prend des chemins épistémologiques tout à fait divergents. En fait, elle a son origine dans la logique aristotélicienne qui développe la conception de la propriété de la chose à partir de l'analyse des éléments du raisonnement dialectique. Le propre, dont le concept de propriété est dérivé, constitue un des quatre éléments de ce type de raisonnement, à coté de la définition, du genre et de l'accident. Mais même pour Aristote, le propre appartient à la chose et se 'réciproque' avec elle, il n'exprime cependant pas son essence.

> Le *propre,* c'est ce qui, tout en n'exprimant pas la quiddité de la chose, appartient pourtant à cette chose seule et peut se réciproquer avec elle. Par exemple, c'est une propriété de l'homme d'être susceptible d'apprendre la grammaire : car si A est homme, il est capable d'apprendre la grammaire, et s'il est capable d'apprendre la grammaire, il est homme. (Aristote, 1990 : 11-12)[116]

Il distingue en plus quatre sortes de propres : le propre en soi, « celui qui est donné d'une chose par comparaison avec tout le reste » ; le propre relatif, « celui qui délimite le sujet non pas de tout le reste, mais seulement de quelque chose de défini » ; le propre perpétuel, « celui qui est vrai en tout temps et ne fait jamais défaut » et le propre temporaire, « celui qui n'est vrai que pour un certain temps et ne suit pas toujours nécessairement du sujet »[117]. On rencontre ainsi chez Aristote plusieurs notions du terme propriété parmi lesquelles celles de propriétés relatives et temporaires qui peuvent bien servir à clarifier l'emploi dans la physique et particulièrement dans la mécanique quantique. Il est intéressant de voir que même dans un programme ontologique fort, comme celui d'Aristote, le terme propriété n'apparaît pas attaché au

---

[116] Aristote, *Les Topiques,* I, 5, 102a, 18-22.

[117] Aristote, *Les Topiques,* V, 1, 128b, 35-40, 129a – 1-5 (1990 : 167).

concept d'essence et d'ailleurs à côté des sens absolus de ce terme d'autres sens plus mitigés sont admis.

Chez Kant, on trouve le concept de propriété tout à fait dissocié d'une épistémologie de type réaliste. Dans sa perspective transcendantale, la propriété synthétise la prédication des objets conçus comme des phénomènes et elle ne peut donc être attribuée à des choses-en-soi. Dans le sens défini par Kant[118], le concept de propriété est indissociable du concept d'objet de l'expérience et pour prédiquer une propriété d'un certain objet, il faut sortir du concept, en réalisant une prédication synthétique. Il faut sortir du concept « pour aller à des propriétés qui ne se trouvent pas dans ce concept, mais qui pourtant lui appartiennent » (Kant, 1980d : 1301; A718/B 746 ; Ak III, 472). Dans le sens kantien, donc, attribuer des propriétés aux objets, en tant que phénomènes, n'a rien à voir avec l'appréhension de l'essence réelle ou naturelle de la chose, que nous sommes tout à fait incapables de découvrir. Ces remarques sont nécessaires pour comprendre la position singulière de Mittelstaedt quand il attribue des propriétés objectives aux systèmes quantiques. C'est ainsi non pas par rapport à l'épistémologie réaliste de la mécanique quantique mais plutôt par rapport à l'acception kantienne qu'il veut soutenir la légitimité de l'emploi du terme propriété associé au processus de mesure des objets-systèmes quantiques[119].

Même en adoptant la traduction pas tout à fait exacte, comme on va le voir, de la notion de 'variable compatible' par celle de 'propriété objective' et de la notion de 'variable complémentaire' par celle de 'propriété non-objective', quelque chose de surprenant apparaît surtout dans l'expression 'propriétés non-objectives' choisie par

---

[118] « Un prédicat qui est attribué à un sujet par une proposition a priori, est précisément par là énoncé comme appartenant nécessairement au dit sujet (et comme inséparable de son concept). De tels prédicats sont aussi appelés prédicats appartenant à l'essence (la possibilité interne du concept) : ad essentiam pertinentia, d'un genre dont par conséquence toutes les propositions qui valent a priori doivent en contenir, les autres, à savoir ceux qui sont séparables du concept (sans préjudice pour celui-ci), s'appellent caractères extra-essentiels (extraessentialia). Or les premiers appartiennent à l'essence soit comme constituants de celle-ci (ut contitutiva), soit comme conséquences qui y seraient suffisamment fondées (ut rationata). Les premiers s'appellent parties essentielles (essentialia), qui ne contiennent donc aucun prédicat qui pourrait être dérivé d'autres prédicats contenus dans le même concept, et leur ensemble constitue l'essence logique (essentia) ; les seconds sont appelés propriétés (attributa). Les caractères extra-essentiels sont soit internes (modi), soit des caractères de relation (relationes), et ne peuvent servir de prédicats dans des propositions a priori, parce qu'ils sont séparables du concept du sujet et ne sont donc pas nécessairement liés à lui ». (Kant, 1999 : 130, Ak VIII : 229). Sur l'essentiel dans le sens logique et l'extra-essentiel : cf. aussi Kant, 1989 : 67-68.

[119] Cf. la notion de propriété chez Helmholtz (1989b: 580-584).

Mittelstaedt. Dans l'usage courant, tant l'adjectif 'propre' que le nom 'propriété' expriment l'idée d'appartenance. Au contraire, pour Mittelstaedt, les propriétés non-objectives sont justement des propriétés qui n'appartiennent pas à l'objet-système, on ne peut dire ni qu'elles appartiennent ni qu'elles n'appartiennent pas au système. Si, d'un côté, il veut maintenir sa filiation à Kant, de l'autre, l'usage qu'il fait du concept de propriété est tout à fait différent de celui adopté par Kant. Comme Mittelstaedt veut assurer la condition transcendantale d'objectivation en la restreignant à un domaine de signification bien particulier, il a besoin de maintenir le concept de propriété. Le problème c'est que dans la théorie quantique le concept d'objet physique est devenu problématique et par conséquent il en va de même pour le concept de propriété physique d'un objet, même si l'usage mathématique du concept de propriété est parfaitement légitime. Une chose est de dire que l'objet 'triangle' a telles et telles propriétés ou que la fonction d'onde ou les opérateurs hermitiques en tant qu'entités mathématiques ont telles et telles propriétés. Une autre chose très différente est d'associer à l'état du système quelques propriétés physiques. Mais comme dans la théorie quantique il y a une classe spéciale d'opérateurs mathématiques, les dites observables, qui sont associées à des grandeurs physiques mesurables, Mittelstaedt a fixé le mot 'propriété' à toutes les grandeurs physiques qui peuvent être mesurées dans un système quantique, même pour celles qui sont incommensurables ou incompatibles. Il a ainsi trouvé une expression assez bizarre comme celle de propriétés non-objectives pour traduire la situation même paradoxale de la mécanique quantique.

6.2.3. La question de l'objectivité et de la non-objectivité des propriétés

Une autre question qui découle de l'interprétation de Mittelstaedt concerne l'idée même d'avoir des propriétés que l'on peut classifier comme objectives et d'autres pour lesquelles cela n'est pas possible. Le problème est que l'objectivité des observables et des propriétés est définie relativement à l'état du système $|\varphi>$. Néanmoins, il faut préciser ce qui dans son texte de 1963 apparaît seulement sous-entendu : pour qu'un état soit complètement déterminé, il faut qu'il soit préparé à un instant initial t_o, en effectuant sur lui la mesure simultanée d'un ensemble complet de

variables compatibles[120]. En mécanique quantique, pour un même système physique donné, avant d'être préparé, il existe plusieurs ensembles d'observables qui commutent[121]. Tout dépend de la base choisie. Ainsi, avant le processus de mesure, une fonction d'onde peut être représentée par plusieurs séries de fonctions propres correspondant à différentes bases d'observables. Deux grandeurs physiques compatibles, associées donc à deux observables qui commutent, peuvent avoir en commun un vecteur propre ou une fonction propre. En revanche, dans le cas de variables incompatibles, on ne peut pas avoir un vecteur propre commun aux deux observables associées à ces grandeurs. Les variables sont donc compatibles si elles possèdent une base commune. Dans le cas concret d'un système constitué d'une particule, on peut avoir, par exemple, deux ensembles de variables compatibles : l'un formé par les trois variables de position x, y et z et l'autre formé par les variables d'impulsion p_x, p_y et p_z. On sait que chacune de ces variables est compatible par rapport à l'ensemble auquel elle appartient et incompatible par rapport à l'autre ensemble. Pour que l'état du système soit déterminé, il faut réaliser la mesure sur un *ensemble complet d'observables compatibles* (E.C.O.C) qui est seulement un parmi plusieurs ensembles possibles. Selon la définition de C. Cohen-Tannoudji, B. Diu & F. Laloë (1973 : 144) , un ensemble d'observables A, B, C est un E.C.O.C « s'il existe une base orthonormée de vecteurs propres et si cette base est unique ». En conséquence une propriété n'est pas objective ou non-objective en elle même et le sens même de propriété vient seulement à la suite d'une préparation.

Dans son article écrit à l'occasion du *Symposium on the Foundations of Modern Physics,* qui a eu lieu en Finlande en 1990, Mittelstaedt définit précisément les propriétés par rapport à la préparation :

> Si un système S est donné avec la préparation $W=P[\varphi]$, où $P[\varphi]$ est l'opérateur de projection sur l'état pur φ, alors les propriétés a_1, a_2, correspondantes aux opérateurs de projection $P(a_1)$, $P(a_2)$, …qui commutent avec $P[\varphi]$, $[P[\varphi], P(a_i)]_=0$, sont objectives, c'est-à-dire, la propriété a_i ou son contraire $\neg a_i$ appartient au système. Toutes les autres propriétés correspondantes aux opérateurs de projection qui ne commutent pas avec la préparation W, sont non-

[120] Cf. A. Messiah (1995 : 172) et C. Cohen-Tannoudji, B. Diu & F. Laloë, (1973 : 235).

> objectives dans le système S=S(W), c'est-à-dire, il n'est pas possible de supposer que le système S possède une propriété de cette sorte ou de son contraire.[122]

Dans le cas de l'expérience de Stern et Gerlach qui a permis de mettre en évidence la quantification des composants du moment cinétique intrinsèque d'un atome (**S**), on trouve un cas concret dont l'ensemble complet d'observables qui commutent (E.C.O.C.) se rapporte non pas à une grandeur physique globalement considérée mais seulement à l'une de ses composantes. L'observable S_z associée à la composante Sz (composante x du moment cinétique) forme à elle seule un E.C.O.C.[123]. Par contre, les trois observables S_x, S_y, et S_z associées aux composantes Sx, Sy et Sz d'un moment cinétique **S** ne commutent pas entre elles et par conséquent ne forment pas un E.C.O.C. Ainsi, il ne s'agit pas d'une grandeur physique comme la position, la quantité de mouvement ou le moment cinétique qui peut être caractérisée comme une propriété objective d'un état à un instant déterminé, car différents composants de ces grandeurs peuvent être incommensurables s'ils ne forment pas un ensemble complet d'observables qui commutent.

Sans faire un usage explicite du concept de l'E.C.O.C, Mittelstaedt considère que la connaissance de toutes les propriétés objectives constitue la plus complète information qui puisse être obtenue d'un système. Cela veut dire que si l'on connaît l'état $|\varphi>$, alors il est possible de prédire les valeurs mesurables de toutes les propriétés objectives[124]. Il faut donc préciser que l'on n'a pas besoin de connaître toutes les propriétés objectives qui peuvent être attribuées au système pour que son état soit exactement connu, comme Mittelstaedt l'a affirmé, il suffit de considérer l'ensemble complet de ces propriétés. A ce propos, Messiah (1995: 130) dit : « une mesure précise effectuée sur un ensemble complet de variables compatibles d'un système représente le

---

[121] Cf. C. Cohen-Tannoudji, B. Diu & F. Laloë (1973 : 144).

[122] If a system *S* is given with the preparation $W=P[\varphi]$, where $P[\varphi]$ is the projection operator onto the pure state φ, then the properties $a_1, a_2,$ corresponding to the projection operators $P(a_1)$, $P(a_2)$, …which commute with $P[\varphi]$, $[P[\varphi], P(a_i)]_=0$, are *objective*, i. e. either the property a_i or its contrary $\neg a_i$ pertains to the system. All other properties corresponding to projection operators which do not commute with the preparation *W*, are *nonobjective* in the system *S=S(W)*, i. e. it is not possible to assume that the system *S* possesses a property of this kind or its contrary. (P. Mittelstaedt, 1990: 262)

[123] C. Cohen-Tannoudji, B. Diu & F. Laloë (1973 : 391).

maximum de renseignements que l'on puisse obtenir sur ce système ; elle définit donc son état dynamique complètement et il lui correspond une fonction d'onde déterminée ».

Le cas d'un système exactement connu par la mesure simultanée de l'ensemble complet de propriétés objectives (variables compatibles) est, dans la pratique, un cas pur rarement réalisé. Le plus souvent c'est le cas lorsque l'état dynamique du système n'est pas déterminé car les propriétés mesurées lors de la préparation ne forment pas un ensemble complet. On dit alors que le système est un mélange : au lieu d'un état bien déterminé, on a un mélange statistique d'états.[125] Dans le cas pur, on peut décrire l'occurrence d'un état |φ> par l'opérateur observable de projection qui a la valeur propre 1 quand |φ> se produit et la valeur propre 0 lorsque |φ> ne se produit pas[126]. Dans le cas d'un système mélangé, l'opérateur projection ne peut plus caractériser le système et les propriétés qui peuvent être mesurées ne sont pas objectives, étant donné que la mesure de n'importe quelle propriété change nécessairement l'état du système.

Quelques-uns des malentendus qui ressortent de l'interprétation de Mittelstaedt s'expliquent en partie par l'usage un peu flou qu'il fait des termes 'observables', 'quantités mesurées' et 'propriétés'. Il affirme, par exemple, dans un mélange entre le concept de propriété et celui de grandeur physique que la mesure de la propriété ***B*** invalidera n'importe quel processus de mesure de la propriété ***A*** si la mesure de **B** est associée à un changement d'état. Mais pour bien comprendre l'esprit de son interprétation, ce ne sont pas les propriétés qui sont mesurées, mais les grandeurs physiques. La propriété n'est que l'expression du résultat de la mesure d'une grandeur physique quelconque à un instant précis. Chez von Neumann, la distinction entre le concept de *propriété* et le concept de *grandeur physique* est plus précise. Elle nous aide à comprendre le point de vue adopté par Mittelstaedt, bien qu'il ne fasse pas le clivage entre propriétés objectives et propriétés non-objectives. Ainsi von Neumann (1946: 171) affirme :

---

[124] P. Mittelstaedt (1976: 93-94).

[125] Cf. Albert Messiah (1995: 172-173).

[126] Cf. P. Mittelstaedt (1976: 94).

> Nous n'avons envisagé jusqu'ici que l'étude des diverses grandeurs physiques **R** ; il ne faut cependant pas oublier que l'objet de la physique n'est pas seulement l'étude de ces grandeurs **R**, mais aussi celle de *propriétés* des divers états du système **S**. Voici quelques exemples de pareilles propriétés : pour l'état considéré une certaine grandeur **R** prend une valeur déterminée λ ; ou encore, la valeur de **R** est positive ; ou bien les valeurs de deux grandeurs simultanément mesurables **R** et **S** sont égales respectivement à λ et μ ; ou : la somme des carrés de ces valeurs est supérieure à l'unité, etc., etc.

La même définition de von Neumann est adoptée par d'autres interprètes comme Hughes (1989) et Griffiths (2002) par exemple qui établissent une différence claire entre le concept de propriété physique et celui de variable physique. Ainsi Hughes affirme :

> Quand nous assignons une valeur numérique à une quantité physique pour un système (comme quand nous disons que le composant vertical du spin d'un électron est + ½ ħ) nous pouvons penser à cette quantité comme à une propriété du système; c'est-à-dire nous pouvons parler significativement de l'électron ayant tel et tel composant vertical du spin. (…) Si nous acceptons (cette) supposition (…), alors nous nous retrouvons traitant des propriétés d'une façon très particulière. (Hughes, 1989: 6 -7) [127]

Dans le même sens, Griffiths dit :

> Nous utiliserons le terme *propriété physique* pour faire référence à quelque chose qui peut être dite vraie ou fausse pour un système physique particulier. Ainsi "l'énergie est entre 10 et 12 μJ" ou "la particule est entre x_1 et x_2" sont des exemples de propriétés physiques. Il faut distinguer entre une propriété physique et une variable physique, comme la position ou l'énergie ou la quantité de mouvement d'une particule. Une variable physique peut prendre des valeurs numériques différentes, selon l'état du système, tandis qu'une propriété physique est une description vraie ou fausse d'un système physique particulier à un temps particulier. Une variable physique qui prend une valeur particulière, ou une

[127] "When we assign a numerical value to a physical quantity for a system (as when we say that the vertical component of spin of an electron is + ½ħ) we can think of this quantity as a property of the system ; that is, we can talk meaningfully of the electron *having* such and such a vertical component of spin. (…) If we accept (this) assumption (…) then we may find ourselves dealing with properties of a very peculiar kind." (Hughes, 1989: 6 -7).

> certaine gamme de valeurs, est un exemple d'une propriété physique. (Griffiths, 2002 : 47) [128]

Ces définitions nous permettent de voir avec plus de netteté les raisons d'associer les propriétés du système quantique aux opérateurs de projection. C'est à cause de cela que pour von Neumann on peut considérer les opérateurs de projection comme des propositions dans le cadre de la logique mathématique. Les propriétés physiques acquièrent un statut sémantique car elles peuvent être réduites à un simple énoncé de décision vrai ou faux. On peut donc effectuer une sorte de calcul de propositions en définissant un champ particulier de la logique, celui de la logique quantique. Ainsi ce ne sont pas les propriétés qui sont mesurées, mais les grandeurs physiques et le résultat du processus de mesure d'une grandeur physique quelconque exprime une propriété, non du système, mais de l'état du système à un instant déterminé. En considérant l'étroite liaison entre la grandeur physique mesurable et la propriété physique d'un système quantique, celle-ci n'étant que l'énonciation propositionnelle de la mesure de celle-là, les imprécisions faites par Mittelstaedt sont donc parfaitement justifiées.

Par rapport au concept de propriété non-objective de Mittelstaedt, on trouve chez d'autres auteurs le même concept nommé différemment, mais gardant le même sens. Dirac (1958), par exemple, appelle *propriété dans un sens vague* :

> Quand un état est formé par la superposition de deux autres états, il aura des propriétés qui, dans un sens vague, sont intermédiaires entre ceux deux états originaux et qui s'approchent plus ou moins étroitement de l'un ou de l'autre selon 'le poids' plus grand ou plus petit dans le processus de superposition. (Dirac, 1958 : 13) [129].

---

[128] "We shall use the term *physical property* to refer to something which can be said to be either true or false for a particular physical system. Thus "the energy is between 10 and 12 μJ " or "the particle is between $x_1$and x_2" are examples of physical properties. One must distinguish between a physical property and a physical variable, such as the position or energy or momentum of a particle. A physical variable can take on different numerical values, depending upon the state of the system, whereas a physical property is either a true or a false description of a particular physical system at a particular time. A physical variable taking a particular value, or lying in some range of values, is an example of a physical property." (Griffths, 2002: 47).

[129] "When a state is formed by the superposition of two other states, it will have properties that are in some vague way intermediate between those of the two original states and that approach more or less

L'expression de Mittelstaedt, on la trouve désignée chez Griffiths, comme *propriété indéfinie*. Selon l'interprète des histoires consistantes, quand un vecteur d'état $|\varphi\rangle$ n'est pas un vecteur propre du projecteur P, on peut dire que la propriété P est indéfinie pour le système quantique et cette situation ne connaît pas d'analogue dans la mécanique classique

> Une propriété physique d'un système quantique est associée à un sous-espace P de l'espace quantique d'Hilbert H presque de la même façon qu'une propriété physique d'un système classique est associée à un sous-ensemble de points dans son espace de phase et le projecteur P sur P, joue un rôle analogue à la fonction indicateur classique. Si le système quantique est décrit par un ket $|\psi\rangle$ qui se trouve dans le sous-espace P, pour que $|\psi\rangle$ soit un état propre de P avec valeur propre 1,
>
> $$P|\psi\rangle = |\psi\rangle,$$
>
> On peut dire que le système quantique a la propriété P. D'autre part, si $|\psi\rangle$ est un état propre de P avec valeur propre 0,
>
> $$P|\psi\rangle = 0,$$
>
> alors le système quantique n'a pas la propriété P, ou de façon équivalente, il a la propriété $\sim P$, qui est la négation de P. Quand $|\psi\rangle$ n'est pas un état propre de P, une situation sans analogue dans la mécanique classique, nous dirons que la propriété P est indéfinie pour le système quantique. [130]. (Griffths, 2002 : 48).

---

closely to those of either of them according to the greater or less 'weight' attached to this state in the superposition process". (Dirac, 1958: 13)

[130] "A *physical property of a quantum system* is associated with a subspace P of the quantum Hilbert space H in much the same way as a physical property of a classical system is associated with a subset of points in its phase space, and the *projector* P onto P, plays a role analogous to the classical indicator function. If the quantum system is described by a ket $|\psi\rangle$ which lies in the subspace P , so that $|\psi\rangle$ is an eigensatate of P with eigenvalue 1,

$$P|\psi\rangle = |\psi\rangle,$$

one can say that the quantum system has the property P. On the other hand, if $|\psi\rangle$ is an eigenstate of P with eigenvalue 0,

$$P|\psi\rangle = 0,$$

then the quantum system does not have the property P, or equivalently, it has the property $\sim P$, which is the negation of P. When $|\psi\rangle$ is *not* an eigenstate of P, a situation with no analog in classical mechanics, we shall say that the property P is *undefined* for the quantum system." (GRIFFTHS, 2002: 48).

Le terme qu'utilise H. Margenau (1977: 334-335) pour exprimer la condition dans laquelle la propriété ne peut pas actuellement être attribuée au système et qui a une distribution de probabilité déterminée est celui de '*latent observables'*:

> Les systèmes dans la mécanique quantique (électrons, protons, photons, atomes, noyaux), bien que pensés d'habitude partageant les attributs intuitifs de mécanique du grand, ne les possèdent pas en réalité, comme nous le savons actuellement. Il est vrai que de telles propriétés comme la position, l'énergie la quantité de mouvement sont des observables par rapport à ces systèmes, mais elles ne sont pas uniquement observables si on les regarde tout simplement. Elles sont ce que nous avons précédemment appelé observables latentes, observables qui sont relevantes pour le système, sans aucun doute, mais qui ne se révèlent eux-mêmes pas si directement et de façon si consistante comme observables « possédées » le font. (…) La mécanique quantique diffère de la physique classique parce qu'elle est forcée de traiter avec des observables latentes. [131]

Nous verrons par la suite comment ce clivage, établi par Mittelstaedt, entre des propriétés objectives et non objectives, va lui permettre d'affirmer que les principes *a priori* de permanence de la substance et de causalité peuvent alors être valides et appliqués au problème de la mesure en mécanique quantique.

6.2.4. Le principe de la permanence de la substance

Peter Mittelstaedt prend de Kant l'idée que le principe de la permanence de la substance avec le principe de causalité sont les principales formes *a priori* qui permettent de constituer les données subjectivement perçues en tant qu'objets d'une expérience objectivement valide tant en physique classique qu'en mécanique quantique.

---

[131] The systems in quantum mechanics (electrons, protons, photons, atoms, nuclei), while customarily thought of as sharing the intuitable attributes of mechanics in the large, do not actually possess them, as we now know. It is true, such properties as position, momentum energy are observables with respect to these systems, but they are not *uniquely* observable in a single act of looking. They are what we have previously called latent observables, observables having relevance to the system, to be sure, but not revealing themselves as directly and as consistently as possessed observables do. (…) Quantum mechanics is different from classical physics because it is forced to deal with latent observables.

Appliqué au contexte expérimental où des mesures sont effectuées sur un système physique, ce raisonnement transcendantal lui permet d'interpréter les résultats de mesure comme des propriétés qui appartiennent aux objets de l'expérience. Dans ce sens, il affirme : «Kant a formulé les conditions nécessaires qui doivent être accomplies par les données d'observation si les résultats de mesure peuvent être considérés comme des propriétés « d'un objet d'expérience »[132].

Mittelstaedt présuppose une distinction entre deux types de propriétés qui peuvent être attribuées aux objets de l'expérience : les propriétés « essentielles » et les propriétés « accidentelles ». Les premières sont par exemple la masse, la charge, le spin, qui ne caractérisent pas un objet individuel, mais une « classe » d'objets, comme les protons, les neutrons, les électrons, etc. Elles sont temporellement indépendantes dans le sens où elles sont invariantes par changement de référentiel galiléen. En revanche, les propriétés accidentelles, comme par exemple la position et la quantité de mouvement, sont celles qui en physique classique permettent d'individualiser les systèmes physiques. Ainsi un objet qui appartient à une certaine classe, définie par un ensemble de propriétés essentielles ou permanentes, peut être individualisé par ses propriétés accidentelles, si la condition d'impénétrabilité est ajoutée. Des trajectoires spatio-temporelles sont alors associées à cet objet ou système physique. Celui-ci est ainsi constitué de façon *a priori* par les principes de substance et de causalité et empiriquement par les lois de la physique. A cause de ces conditions *a priori* et empiriques, l'objet peut être spécifié en tant que classe par les propriétés « essentielles » et individualisés par les propriétés « accidentelles ». A la façon transcendantale de Mittelstaedt, les objets sont donc définis comme porteurs de propriétés qui sont exprimées par les résultats des mesures des observables du système.

Pour mettre justement en évidence le contexte effectif de réalisation de mesures, Mittelstaedt ajoute aux pré-conditions formelles de l'expérience, données par les catégories de substance et de causalité, les pré-conditions matérielles qui correspondent aux possibilités matérielles de mesure des propriétés. Ces pré-conditions matérielles auront un rôle tout à fait original dans le processus de mesure en mécanique quantique. Cependant, dans le cadre classique, elles n'établissent aucune restriction à la mesure des

---

[132] Kant formulated necessary conditions which must be fulfilled by the observational data if the measuring results can be considered as properties of an "object of experience". (Mittelstaedt, 1994:116)

propriétés d'un système physique. Dans ce cas-là toutes les propriétés possibles peuvent être mesurées conjointement. L'objet de l'expérience est ainsi spécifié par ses propriétés qui résultent d'un processus de mesure.

Par ailleurs, Mittelstaedt souligne que l'attribution de propriétés à un objet ainsi constitué par la matière de l'intuition et la forme des principes de substance et de causalité est encore soumise au principe transcendantal de détermination complète. Ce principe, Kant l'énonce de la façon suivante :

> Toute chose, quant à sa possibilité, est soumise encore au principe de la *détermination complète* d'après lequel, de *tous* les prédicats *possibles* des choses, en tant qu'ils sont comparés à leurs contraires, il y en a un qui doit lui convenir. (Kant, 1980d : 1195-6; A571-572/B599-600; Ak III, 385)

Mittelstaedt interprète ce principe de Kant de façon très particulière et à notre avis assez distant de l'esprit du texte kantien. En fait pour lui, il ne s'agit pas d'une autre condition transcendantale qui est ajoutée aux principes de conservation de substance et de causalité. Cependant le principe de détermination complète découle de l'application des catégories de substance et de causalité aux résultats d'un processus expérimental, qui suppose l'attribution de prédicats **P** ou non **P** à l'objet système. L'objet est ainsi constitué de façon complètement déterminée :

> Si les résultats (P_i ou $\neg P_i$) sont interprétés selon les catégories de substance et de causalité, les objets sont constitués sujets au principe de la détermination complète.[133]

Il paraît difficile de partager ce point de vue de Mittelstaedt quant au rôle transcendantal du principe de détermination complète. Il nous semble utile d'apporter quelques précisions sur ce sujet. Tout d'abord, le principe de détermination complète est exposé dans la deuxième section intitulée «De l'idéal transcendantal (*prototypon transcendantale*) », du troisième chapitre de la Dialectique Transcendantale. Cela se démarque singulièrement du cadre de déduction transcendantale des catégories qu'on trouve dans l'Analytique. Il est le principe qui guide l'idéal de la raison dans sa poursuite de la perfection. Pourquoi il est présenté en tant qu'idéal et non pas en tant

[133] Il the results (P_i or $\neg P_i$) are interpreted according to the categories of substance and causality, objects are constituted which are subject to the principle of complete determination. (Mittelstaedt, 1994:117).

qu'idée ? Il n'est pas une idée comme les autres idées de la raison. Si l'idée est une règle, l'idéal, pour Kant, est un modèle qui contient une force pratique en tant que principe régulateur. Plus que les idées, le principe de la détermination complète est éminemment pratique. Mais plus encore que les principes théoriques de l'entendement pur comme celui de la substance et de la causalité, responsables de la constitution de l'objet en tant qu'objet de l'expérience, il est un idéal à poursuivre sans être jamais complètement atteint.

Ce principe est l'analogue transcendantal du principe logique de la déterminabilité de tous les concepts, celui-ci subordonné à l'*université* du principe du tiers exclu. En revanche, le principe de détermination complète de toutes les choses est subordonné à la *totalité* de tous les prédicats possibles. L'ensemble de toute possibilité est l'ensemble de tous les prédicats possibles en général et pour déterminer une chose on exclut une quantité de prédicats. La détermination complète a donc pour fondement la conception que la réalité se constitue en tant que totalité. Or, le concept qui est représenté comme complètement déterminé est le concept de chose en soi. En le prenant illusoirement de façon constitutive, ce concept correspond à une simple fiction. Dans les commentaires qui suivent l'exposition de ce principe Kant souligne qu'une expérience *in concreto* ne peut jamais correspondre au concept de détermination complète. Et puis dans les *Prolégomènes* il décrit à ce sujet le désappointement de la raison devant l'expérience : « L'expérience ne satisfait jamais entièrement la raison ; elle renvoie toujours plus loin la réponse à nos questions et, à l'égard d'une explication complète, elle nous laisse dans le désappointement » (Kant, 1985a : 135 ; Proleg, Ak IV, 351).

Dans l'usage empirique, un tel concept est donc seulement un idéal de la raison par conséquent il ne peut qu'avoir un rôle régulateur. Il nous semble ainsi difficile de soutenir d'un point de vue kantien que le principe de détermination complète ait un rôle constitutif, comme pense le Mittelsatedt. Bien entendu, il a toute la liberté d'attribuer un rôle tout à fait original à un tel principe, mais non sans introduire des modifications significatives dans la méthode transcendantale.

Nous reportons à la section suivante la discussion sur les dimensions constitutives et régulatrices des principes kantiens. Pour l'instant, nous voulons remarquer que l'oubli de ce dernier rôle en fonction d'une affirmation presque exclusive des aspects constitutifs rend la philosophie kantienne plutôt dogmatique que critique.

Peut-être T. Kuhn (1963) a raison quand il suggère que pour faire de la science ou de la « philosophie scientifique » il nous faut des dogmes ou des attitudes dogmatiques et ce n'est que dans les périodes de crise que la critique trouve de bonnes conditions pour germer.

Ainsi en ne prenant que la dimension constitutive de la méthode transcendantale, on verra comment les principes de substance et de causalité échappent aux bouleversements de la mécanique quantique. Dans son livre de 1963, Mittelstaedt analyse les limitations imposées à ces deux principes de manière à les rendre compatibles avec la nouvelle théorie physique.

Dans les circonstances les plus simples de cas purs, en mécanique quantique, Mittelstaedt fait appel à l'idée selon laquelle l'état du système peut être représenté par le vecteur d'état $|\varphi>$, agissant dans l'espace abstrait d'Hilbert. Pour cela il considère la situation particulière dans laquelle le vecteur d'état $|\varphi>$ représente un ensemble de propriétés commensurables, correspondantes à des observables qui commutent. Si l'on accepte cette conception d'état du système, on peut bel et bien l'interpréter conformément à la catégorie transcendantale de substance[134], en conservant quelques-unes de ses principales caractéristiques mais avec quelques limitations.

Dans cette même perspective de Mittelstaedt, Henry Margenau (1977) considère qu'un état propre d'une observable est un état dans lequel l'observable a une valeur absolument précise. Dans ce cas-là on trouve les mêmes conditions d'objectivité classique et on peut dire que l'observable est une propriété du système et se comporte comme une grandeur ordinaire de la physique classique. Dans cette situation particulière : « un état propre d'un opérateur est un état qui n'entraîne aucune dispersion de mesures exécutées sur l'observable qui appartient à cet opérateur. La même valeur

[134] Les formulations de Kant (1980c : 918-19 ; A182/B 224; Ak III, 162) du principe de la permanence de la substance sont les suivantes :

Première édition : « *Tous les phénomènes contiennent quelque chose de permanent (substance) qui est l'objet même, et quelque chose de changeant, qui est la simple détermination de cet objet, c'est-à-dire un mode de son existence* » (A 182) et Deuxième édition : « *Dans tout changement des phénomènes, la substance persiste, et son quantum n'augmente ni ne diminue dans la nature* » (B 224).

arrivera toujours dans les répétitions de ce type de mesure tant que l'état propre persiste »[135].

A cause de cette caractéristique que les systèmes quantiques peuvent avoir, Mittelstaedt (1976 : 119) soutient qu'on peut parfaitement dire que « l'état », symbolisé par le vecteur $|\varphi>$, « persiste dans le temps, tandis que les observables, comprises comme accidents de la substance, changent dans le temps ». Il retrouve ainsi la catégorie kantienne de substance dans les situations quantiques. Pour comprendre ce point de vue de Mittelstaedt sur la place de la catégorie transcendantale de substance en mécanique quantique, il faut préciser que quand on parle de l'état du système, on le considère dans un instant singulier précis, où la dépendance temporelle a été supprimée. La fonction d'état ou le vecteur d'état est dit alors stationnaire dans le sens où, une fois réalisé, il se maintient immuablement dans le temps[136]. Du côté de la philosophie de Kant, la substance ou le permanent est l'objet même compris comme phénomène et tout ce qui change, ou peut changer, appartient aux modes particuliers d'existence d'une substance, que Kant a nommés *accidents*.[137] En appliquant le raisonnement de Kant au processus de la mesure en mécanique quantique, Mittelstaedt (1976 : 119-120) remarque que la permanence de l'état $|\varphi>$ ne doit pas être regardée comme une loi de conservation, mais c'est la constance de $|\varphi>$ qui donne la signification même d'un changement dans le temps.

En effet la légitimité du concept de *changement* est fondée sur la permanence et celle-ci n'est que la manière selon laquelle nous nous représentons l'existence des phénomènes[138]. Néanmoins, à la différence de l'usage classique que l'on peut faire de la catégorie kantienne, dont l'extension s'applique à toutes les propriétés mesurables du système, Mittelstaedt considère que son usage en mécanique quantique, pour les situations de mesure *sharp*, se trouve limité à certaines propriétés, celles qu'il appelle « objectives ». Ainsi, le concept quantique de substance, caractérisé par $|\varphi>$, possède certaines caractéristiques essentielles du concept traditionnel, par contre une restriction

---

[135] "An eigenstate of an operator is a state which entails no scattering of measurements performed on the observable belonging to that operator. One and the same value will always occur in repetitions of that type of measurement so long as an eigenstate persists". Henry Margenau (1977 : 349)

[136] Cf. H. Margenau 1977: 351-353.

[137] Cf. Kant, 1980c : 921-922 ; A184-186/ B227-229; Ak III, 164-165.

singulière est apportée à ce concept, à savoir que ce ne sont que les propriétés objectives qui peuvent être prises en considération.

Ainsi ce qui différencie fondamentalement le concept quantique de substance, tel que Mittelstaedt le définit, de son analogue classique c'est qu'il n'est pas soumis au principe de détermination complète des propriétés du système. La situation est ainsi différente du contexte classique, où toutes les propriétés passibles d'être mesurées étaient associés objectivement au système par intervention du principe de substance. Puisqu'on ne peut pas mettre en relation toutes les propriétés quantiques avec le concept quantique de substance, celui-ci ne peut pas être complètement déterminé. On n'a plus affaire à un objet spatio-temporellement bien défini, déterminé par des catégories *a priori* et des contenus empiriques possibles. On trouve une situation complètement nouvelle par rapport à l'épistémologie traditionnelle (Kant inclus) : on est devant un *objet-système*, par exemple une particule élémentaire, un atome ou une molécule, *a priori* indéterminé. Cependant, pour Mittelstaedt, même si l'objet-système quantique, caractérisé par l'état $|\varphi>$, ne peut pas être complètement déterminé et donc ne peut pas être assimilé à l'objet classique qui se présente dans une intuition sensible, il admet la validité *a priori* du principe de substance dont le domaine d'application se restreint aux propriétés objectives. Evidemment, dans la limite classique, quand $h \rightarrow 0$ et que toutes les propriétés deviennent objectives, les concepts classique et quantique de substance coïncident et l'objet-système quantique se confond avec l'objet classique.

6.2.5. Le principe de causalité

Le même raisonnement appliqué au principe de la substance, aboutit à la limitation du principe de causalité au système défini par le sous-ensemble de propriétés objectives. La causalité doit rester valable pour toute la succession temporelle des propriétés objectives dans le sens de la loi d'évolution continue. Mittelstaedt applique la deuxième analogie de Kant à la situation de la mécanique quantique de la même façon que l'ont fait Bohr, Heisenberg et la majorité de physiciens et non pas dans le sens de

---

[138] Cf. Kant, 1980c : 923 ; A187/ B 230 ; Ak III, 165.

Grete Hermann. Ainsi, dans le cas spécifique de la mécanique classique, les lois causales sont exprimées par les équations différentielles de Hamilton, qui permettent de calculer à partir de l'état x_o et p_o d'un objet à un temps t_o, les valeurs x_1 et p_1 correspondantes à n'importe quel temps futur t_1. Par conséquent, les objets de la mécanique classique peuvent être regardés comme objets individualisés identifiables par ses trajectoires. De façon plus limitée, dans la mécanique quantique, la loi causale reste valable si l'on prend en considération les propriétés objectives. Elle est exprimée par l'Hamiltonien du système, donné par l'équation de Schrödinger. Cela veut dire que si à un temps t_o toutes les propriétés objectives sont connues, alors les propriétés objectives à un temps futur t_1 peuvent être complètement déterminées[139]. L'équation de Schrödinger est ainsi l'expression de la loi causale de la mécanique quantique et régule la succession temporelle des propriétés objectives comprises, comme on l'a vu, comme des accidents de la substance, elle même représentée par le vecteur d'état.

Il faut bien noter que les formes de la loi causale sont différentes dans la physique classique et dans la physique quantique. Dans la physique classique, elle apparaît sous la forme des équations d'Hamilton, tandis que dans la théorie quantique sa forme est donnée par l'équation de Schrödinger. Dans la formulation classique, dont la forme logique s'exprime par l'implication '*si P donc C*', la connaissance des valeurs initiales au temps t_o de x et de p (prémisse P), permet la détermination de x et p dans n'importe quel temps futur (conclusion C). Si l'on essaie d'appliquer la forme classique de la loi causale aux systèmes quantiques, dans la tentative de faire des prédictions sur les propriétés non-objectives deux conclusions sont possibles : ou bien la loi causale est vraie mais inapplicable ou bien la loi causale est non vraie mais applicable. Dans le premier cas, on considère que l'implication ne laisse pas d'être vraie si la prémisse P ne peut pas être remplie pour les objets quantiques, étant donné que la connaissance simultanée des valeurs initiales de x et de p n'est pas possible. Malgré cette évidente limitation, la deuxième position est à différents moments soutenue, en considérant l'étrange situation dans laquelle non seulement les propriétés objectives, mais aussi les propriétés non-objectives sont attribuées au système quantique. Dans ce cas, la loi causale devient fausse. Mittelstaedt appelle ces systèmes constitués à la fois de

[139] Cf. P. Mittelstaedt (1976: 140).

propriétés objectives et de propriétés non objectives des *objets fictionnels*, qui sont les objets considérés comme porteurs de toutes les propriétés mesurables, différents des objets-système quantiques, antérieurement définis et qui ne possèdent que des propriétés objectives.

Mais Mittelstaedt voit un problème dans cette deuxième manière d'envisager l'application de la loi causale, à savoir, les caractéristiques des objets fictionnels n'ont rien à voir avec celles des objets de l'expérience, telles que Kant les avait fixées. Si l'on essaie de le faire, on trouve une situation paradoxale qui amène nécessairement à la conclusion que la validité *a priori* de la loi causale ne peut pas être vérifiée quand elle est appliquée aux objets fictionnels. Même en considérant que Kant n'a jamais envisagé cette étrange situation des objets fictionnels porteurs de propriétés incommensurables, mais en respectant la lettre et l'esprit de son texte, on reconnaît que des relations causales ne peuvent pas être attribuées à de tels objets. La raison en est qu'on doit chercher la possibilité des jugements synthétiques *a priori* selon Kant dans la forme *a priori* du sens interne, c'est-à-dire, dans le temps, si l'on veut arriver à une connaissance des objets[140]. Comme les variables incommensurables ne satisfont pas la condition de simultanéité temporelle, Mittelstaedt remarque qu'elles ne peuvent pas être prises comme objectives, car elles n'appartiennent pas aux objets de l'expérience, dans le sens précis que Kant avait défini. De ce fait, on ne peut pas dire que la loi causale est *a priori* valide ou non valide dans le domaine des objets fictionnels. Ainsi Mittelstaedt exprime le problème de la validité *a priori* de la loi causale face aux nouvelles contraintes présentées par la théorie quantique :

> La loi causale classique est un jugement synthétique qui est *a priori* valable pour tous les objets qui apparaissent dans notre expérience. Par 'objets d'expérience' nous comprenons un objet dont toutes les propriétés peuvent être objectivées sans contradiction et qui peut être reconnu comme tel bien que ses formes d'apparition puissent changer. Par conséquent la loi causale se relie aux objets de la physique classique et aux objets quantiques, puisque ni

[140] Kant, 1980c : 896 ; A155/ B 194 ; Ak III, 144.

> l'objectivation ni l'individualisation n'est un problème pour l'une ou l'autre de ces deux classes d'objets.[141]

Le tableau ci-dessous synthétise le point de vue de Mittelstaedt sur la validité du principe de causalité face aux trois types d'objets.

Tableau relatif à l'application du principe transcendantal de causalité[142]

Objet	Propriétés	Loi Causale	Validité
1. Classique	Toutes les propriétés	Classique	*v, a*
2. Quantique	Objectives	Quantique	*v, a*
		Classique	*v, ¬a*
3. Fictionnel	Toutes les propriétés	Classique	*¬v, a*

Dans la première et la deuxième colonne du tableau sont indiqués les types d'objets selon leurs propriétés. Pour l'objet classique, l'ensemble de toutes les propriétés coïncide parfaitement avec le seul domaine des propriétés objectives. Pour l'objet quantique, il n'est pas caractérisé par l'ensemble de toutes les propriétés, mais par le sous-ensemble de propriétés objectives. L'objet fictionnel est porteur de toutes les propriétés, incluant les objectives et les non objectives, c'est-à-dire, les commensurables et les incommensurables. La troisième et la quatrième colonne indiquent la forme de la loi causale suivie par les différents types d'objets et leurs domaines de validation et d'application. Dans la quatrième colonne, *v* signifie 'vraie', *a* 'applicable', ¬ *v* 'non vraie , ¬*a* 'non applicable'. On voit ainsi que dans le contexte de la théorie quantique, la loi causale classique est vraie mais non applicable au domaine des objets définis par

[141] "The classical causal law is a synthetic judgement that is valid a priori for all objects that appear in our experience. By 'objects of experience' we comprehend an object all of whose properties can be objectified without contradiction and which can be recognized as such even though its forms of appearance may change. Consequently the causal law relates to objects of classical physics and to quantum-objects, since neither objectification nor individualization is a problem for either of these two classes of objects". Mittelstaedt (1976: 145)

[142] P. Mittelstaedt, 1976: 146.

leurs propriétés objectives et non vraie mais applicable au domaine des objets définis par l'ensemble de toutes ses propriétés.

6.2.6. Le problème de l'objectivation dans le cas de mesures bien définies

Comme on l'a vu, pour que l'objet-système quantique se présente d'une manière consistante, il doit être constitué seulement de propriétés objectives. Les propriétés qui sont mesurables, mais qui ne sont pas objectives dans un état donné, ne peuvent pas être attribuées au système ni dans un sens positif ni dans un sens négatif. Ainsi, pour Mittelstaedt, qui n'accepte pas une interprétation à variables cachées, les propriétés incommensurables (non-objectives) ne sont pas passibles d'objectivation étant donné l'impossibilité de mesure simultanée de la totalité de ces propriétés. Dans cette perspective, l'objet-système quantique est alors constitué d'une façon incomplète et le principe de la complète détermination doit être abandonné dans le cas de la mécanique quantique.

En se référant à l'étude de I. Strohmeyer (1987), Mittelstaedt reconnaît que la négation de la condition de la détermination complète de l'objet quantique n'invalide pas l'application de l'analyse kantienne dans ce domaine. Strohmeyer a essayé de montrer justement que ce principe de la complète détermination n'appartient pas à l'ensemble des conditions préalables de l'expérience définies dans la *Critique de la raison pure*. La table de jugements contient des jugements positifs et des jugements négatifs mais aussi des indéfinis (ou infinis). Ainsi une propriété P peut être objective mais indéfinie par rapport à un système. L'article d'I. Strohmeyer prétend ainsi révéler que la philosophie transcendantale kantienne est suffisamment élargie pour constituer les objets de la physique quantique comme des objets d'une expérience possible et en conséquence être capable de fonder l'objectivité de la connaissance de la physique quantique. Les déterminations des catégories (qualité, substance et causalité) peuvent être interprétées d'une manière telle que le concept quantique d'un objet caractérisé par la non-objectivité de quelques-unes de ses propriétés peut être conçu sans ambiguïté. Strohmeyer croit possible de définir la non-objectivité des propriétés de façon

catégorielle comme qualités indéterminables. Ainsi, par exemple si l'on prend l'indétermination de la qualité de la position (position-quality), la localisation des objets quantiques peut être comprise *a priori.* Par contre l'objet quantique est conçu d'une manière indéterminée par les catégories de substance et de causalité. Cela veut dire que l'objet quantique peut être substantiellement déterminé, pourtant il ne peut pas être conçu comme une individualité.

Cependant, d'une manière très restrictive, Mittelstaedt (1976: 140-141) soutient, dans son texte publié originellement en 1963, qu'on peut même associer une individualité à l'objet-système quantique dès qu'il se trouve caractérisé par l'état $|\varphi>$. Ainsi, N systèmes indépendants qui ont des caractéristiques identiques, comme par exemple des particules élémentaires du même type, et qui se différencient seulement par rapport à leurs propriétés objectives, sont capables d'être identifiables en un temps initial t_0 par leurs vecteurs propres respectifs. On peut en principe reconnaître en un temps futur t_1 chacun de ces systèmes, puisqu'ils sont identifiables par leurs propriétés objectives, précisément calculées par la loi quantique causale[143]. Dans son article de 1994, il reconnaît qu'on ne peut parler de causalité entre des propriétés objectives à différents instants que dans un sens très limité. D'une manière générale il n'y a pas de causalité possible entre une propriété P_a à un temps *t* et la même propriété P_a à un temps postérieur *t'*, dans le cas où l'ensemble des propriétés qui est objectif à un temps *t* est tout à fait différent de l'ensemble qui est objectif à un autre temps *t'*. Sa position dans cet article par rapport à l'individualisation du système quantique a alors changé. Dans cette perspective, il affirme : « Ainsi pour des objets quantiques les lois de substance et de causalité sont limitées aux propriétés objectives respectives et l'individualité ne peut

---

[143] "Corresponding to this 'quantum-mechanical causal law' one can also associate an individuality with objects characterized by a state $|\varphi>$. If at time t=to, N systems are given, which have identical time-independent characteristics –several elementary particles of the same kind, for example – and which only differ with respect to their objective properties, i.e. have different states $|\varphi^o_1>$, $|\varphi^o_2>$ …$|\varphi^o_N>$, then on can introduce an enumeration of the systems S_1, S_2 … S_N, corresponding to these states. The systems numbered in this way can, in principle, be recognized at any time. The objective properties of all N systems can be precisely calculated for a subsequent time $t_1 \geq t_0$, because of the 'quantum-mechanical causal law'. Now if a certain observables, e.g. the position *x* at time t_1, is an objective property of all systems and if the calculated values of these quantities are $x_1^{(1)}$, $x_2^{(1)}$, … $x_N^{(1)}$, then a system found ate the position $x_K^{(1)}$ at time t_1 can be identified with the system previously designated as S_K. The N systems must therefore be ientified by observables, which at this time are objective for all systems, so that the systems can actually be distinguished by their measurement. This implies, of course, a certain restriction in the practical possibilities of identification, but in principle it causes no difficulties". Mittelstaedt (1976: 140-141)

pas être réalisée »[144]. Mais il souligne qu'il y a quand même une identité temporelle de l'objet quantique incomplètement déterminée si l'on considère des ensembles différents de propriétés (P_a et P_b, par exemple) qui sont objectives à des temps différents (t_a et t_b).

Mittelstaedt admet dans un article plus récent que la situation des propriétés objectives d'un état $|\varphi>$, qui peuvent être mesurées simultanément, représente un cas spécial rarement réalisé. Si d'un côté le problème spécifique de la validité *a priori* des principes kantiens de substance et de causalité semble résolu, en restreignant leur domaine d'application aux propriétés objectives, d'un autre côté il reconnaît que le problème majeur sur le statut épistémologique des propriétés non-objectives reste encore complètement ouvert. Il est ainsi devant un défi qu'il veut relever. Si un traitement transcendantal de la mécanique quantique est pertinent, il faut examiner la possibilité de comprendre les propriétés non-objectives d'une façon transcendantale, même dans un sens très éloigné des limites envisagées par Kant. Le problème dont va s'occuper Mittelstaedt dans ses études philosophiques plus récentes[145] est la nouveauté que la théorie quantique apporte à l'épistémologie kantienne, par le caractère mesurable des propriétés non-objectives. Il lui semble que le sens même d'objectivation doit être revu de manière à comprendre le statut épistémologique de ces propriétés. Pour lui, ce statut peut être compris d'une façon transcendantale.

Pourtant, il est conscient que l'objectivation des propriétés non-objectives pose beaucoup de difficultés. L'affirmation que cette objectivation est possible a engendré plusieurs paradoxes, comme dans l'exemple connu de l'impossibilité de l'objectivation simultanée de la position x et de la quantité de mouvement p. On sait que la mesure de x invalide n'importe quel processus de mesure de p et vice versa. Néanmoins, la solution de restreindre les principes *a priori* aux objets quantiques indéterminés, solution qu'il avait adoptée en 1963 lui semble artificielle et non physique dans son texte de 1994.

Cette solution soulève les objections suivantes. Une première tient au caractère inapproprié de l'application du raisonnement de Kant à des qualités indéterminées, comme celles que l'on trouve en mécanique quantique. Chez Kant la propriété de mesure se confond avec celle d'objectivation. Par contre, dans la mécanique quantique

---

[144] "Thus for quantum objects the laws of substance and causality are restricted to the respective objective properties and individuality cannot be achieved" (Mittelstaedt, 1994: 121)

[145] Cf., par exemple, Peter Mittelstaedt (1994) et P. Busch, P. Lahti et P. Mittetlstaedt (1991).

si une propriété non-objective comme *x ou p,* par exemple, est mesurée dans le système, on arrive toujours à un résultat définitif (x ou $\neg x$) qui signifie que l'état du système a changé en un nouvel état par ce processus de mesure.

Une deuxième objection se rapporte à l'impossibilité d'obtenir une complète information sur l'état d'un système même si l'on connaît la totalité de toutes les propriétés objectives d'un système dans un certain état W_Ψ. On connaît, en outre, la probabilité d'obtenir une valeur 1 pour une certaine propriété non-objective si cette propriété est mesurée dans le système en W_Ψ. Il y a, ainsi, une information probabiliste contenue dans cet état qui pourtant n'est pas contenue dans l'interprétation des objets quantiques, qui possèdent seulement des propriétés objectives.

Enfin, un troisième reproche concerne l'application du principe de causalité qui peut être justifiée pour les objets quantiques incomplets mais qui du point de vue expérimental est intraitable et artificiel. Le problème qui se pose à la suite d'une première mesure portant sur un ensemble de propriétés commensurables P_a pris à un temps t_a est que l'ensemble des propriétés P_b qui seront objectives à un temps futur t_b n'est pas connu. Par ailleurs, d'une manière générale, si le même ensemble de propriétés P_a, qui a été mesuré en t_a, est alors mesuré à un temps t_b, l'état du système peut changer et les deux résultats de mesure, pris en t_a et t_b, ne seront pas connectés par la loi causale. Il s'agit alors d'une transition « acausale » comme Von Neumann l'a caractérisée (1946 : 286).

Mittelstaedt clarifie dans son article de 1994 que la solution pour le problème de l'objectivité dans la mécanique quantique devrait être non seulement en accord avec la philosophie de Kant, mais aussi avec le contexte expérimental de la mécanique quantique. La solution qu'il avait envisagée en 1963, dans son ouvrage publié sous le titre *Philosophische Problem der modernen Physik* était restreinte à des cas purs, où seules des propriétés objectives interviennent pour la détermination de l'état de l'objet. Si l'on veut assurer l'universalité de l'approche transcendantale, la solution précédemment considérée n'est pas tout à fait suffisante.

Dans ses articles plus récents et dans son dernier livre *The interpretation of quantum mechanics and the measurement process* (1998), Mittelstaedt discute la question de l'objectivation pour des situations plus générales et par rapport à des interprétations distinctes du problème de la mesure en mécanique quantique. Il essaie de

penser les différentes tentatives d'attribution d'objectivation à une propriété arbitraire quelconque qui doit être mesurée. Il ne s'agit plus des cas particuliers où seules les propriétés objectives étaient en jeu. La question est alors placée dans le cadre de deux approches différentes : l'interprétation minimale et l'interprétation réaliste. Elles seront les sujets principaux de discussion dans son dernier livre surtout parce qu'elles révèlent des implications importantes pour comprendre la réquisition d'objectivation dans le processus de mesure. Dans le cadre de l'interprétation minimale, l'objectivité est postulée pour les valeurs de l'indicateur de l'appareil de mesure. L'interprétation minimale évite des énoncés en termes de système-objet constitué par ses propriétés, en se référant seulement aux données observées. Par rapport à l'interprétation de Copenhague, l'interprétation minimale n'assume pas que les instruments de mesure sont des corps macroscopiques sujets aux lois de la physique classique. Les instruments de mesure sont alors considérés comme des systèmes quantiques sujets aux lois de la mécanique quantique. De même que l'interprétation minimale, l'interprétation réaliste suppose que les instruments de mesure sont des systèmes quantiques et non pas classiques. Néanmoins cette interprétation ne concerne pas seulement les résultats de mesure mais aussi les propriétés d'un système individuel. Il établit diverses preuves pour démontrer que les postulats d'objectivation supposés de façon distinctes par les deux interprétations sont, d'un point de vue logique, en contradiction avec la théorie quantique de la mesure ; en relevant un problème d'inconsistance auto-référentielle. Mittelstaedt conclut ainsi que la réquisition d'objectivation doit être abandonnée.

Mais voyons un peu plus en détail la ligne de son argumentation en faveur de la non objectivation. Son analyse des différents degrés d'objectivation, fort, faible et très faible, montre que ce n'est que ce dernier qui pourra être attribué de manière consistante au système. Dans le contexte de l'interprétation réaliste, par exemple, par objectivation il comprend l'attribution hypothétique d'une certaine valeur (a_i) ou d'un état propre (φ^{ai}) de l'observable A (supposée par question de simplification être discrète et non dégénérée) au système quantique S, même en considérant que la préparation (φ) ne soit pas un état propre de l'observable A. Mittelstaedt (1998a : 65-102) distingue ainsi trois types d'objectivation dont les capacités d'explication sont tout à fait distinctes: l'objectivation forte, l'objectivation faible et l'objectivation très faible. L'hypothèse forte considère que l'état (φ) est une description incomplète par l'observateur du réel

état (φ^{ai}) du système. L'hypothèse faible suppose non pas l'attribution d'un état propre (φ^{ai}) de l'observable A au système, mais l'attribution des valeurs propres (a_i) de A. Ces valeurs appartiennent objectivement au système mais sont subjectivement méconnues par l'observateur. L'hypothèse très faible n'attribue pas des valeurs propres (a_i) de A au système, mais seulement de probabilités $p(\varphi, a_i)$ des valeurs propres (a_i) de A. La première hypothèse, celle d'attribution d'état, est plus forte que celle d'attribution de valeurs, qui à son tour est plus forte que l'hypothèse d'attribution de probabilités. Ainsi la notion d'objectivation, telle que Mittelstaedt la considère, se rapporte à des entités théoriques, comme états propres (φ^{ai}), valeurs propres (a_i) et probabilités $p(\varphi, a_i)$, attribués au système quantique, qui est à son tour caractérisé par son état (φ).

Cet état, toujours associé à la notion de préparation, peut être un état pur ou un état mixte. Ce n'est que dans le cas pur que l'on pourrait dire que le système est doté de propriétés objectives et dans ce cas-là la préparation peut être assurée par mesures répétées d'une observable discrète non dégénérée. Bien que le cas des états purs soit le plus simple, son importance est fondamentale pour une évaluation de la pertinence et de la consistance des hypothèses d'objectivation. Mittelstaedt conclut que dans le cas pur d'une préparation arbitraire φ, lorsque deux observables A et B ne se commutent pas, l'hypothèse forte d'objectivation est inconsistante avec la mécanique quantique[146]. Il montre que l'hypothèse d'objectivation forte appliquée à l'observable A requiert que le terme d'interférence présent dans la formule du calcul de probabilité pour la valeur b_k de l'observable B disparaisse pour n'importe quel test de l'observable B. Ceci viole une des conséquences du formalisme qui prévoit qu'un tel terme soit non nul. Ce résultat peut être étendu au cas de l'objectivation faible des états purs. Mittelstaedt conclut ainsi que l'hypothèse d'objectivation faible de valeurs propres de l'observable A n'est pas non plus consistante avec la mécanique quantique. Avec de semblables raisonnements, des conclusions similaires sont obtenues pour les états mixtes, ou les réquisitions d'objectivation forte et faible ne peuvent pas être remplies.

Dans le contexte de mesures *sharp*, l'objectivation ne peut être conçue de manière consistante que de façon limitée lorsque des propriétés objectives ou des

[146] Cf. Mittelstaedt, 1998a : 70-74. L'hypothèse d'objectivation forte appliquée à l'observable A requiert que le terme d'interférence disparaisse pour n'importe quel test de l'observable B, ce qui viole une des conséquences du formalisme.

observables compatibles sont considérées. Mittelstaedt veut alors trouver une autre issue afin de considérer l'ensemble de toutes les propriétés mesurables et non seulement la classe restreinte des propriétés objectives. Il suppose alors un autre concept d'objet, le concept 'd'*unsharp object'* où des propriétés incommensurables ou complémentaires peuvent d'une manière consistante être mises en relation avec un système quantique déterminé. Cette approche liée aux processus de mesure *unsharp* sera traitée dans la section suivante.

6.3. Le problème de l'objectivation dans le cadre de l'interprétation *unsharp*

Ce nouveau concept d'objet fait partie d'une nouvelle interprétation du problème de la mesure basée sur des mesures quantiques floues ou imprécises (*unsharp measurements*) et que suppose le formalisme des *POV-measures* (*positive operator valued measure*). Dans cette interprétation les observables ne sont plus associées à des opérateurs de projection qui satisfont la condition d'orthogonalité et qui peuvent représenter les résultats de mesures exactes et bien définies. Par conséquent, à la différence de la situation antérieurement décrite, les propriétés seront maintenant définies de façon plus générale comme des observables effectivement indéterminées. Si l'on ne considère que les propriétés *unsharp*, on arrive à un concept d'objet quantique défini par rapport à l'ensemble de toutes les propriétés qui peuvent en principe être simultanément mesurées et sujettes au postulat de la covariance. On aboutit alors à un certain idéal d'objectivation qui néanmoins doit être compris dans un sens très faible. Cet idéal implique d'abord une négation de la possibilité d'une objectivation exacte et bien définie, non seulement des propriétés attribuées au système mais aussi de l'idée même d'une objectivation des mesures exactes telles qu'exprimées par les aiguilles d'un instrument de mesure. Même pour les cas de mesures bien définies, il y a toujours un paramètre ε de inexactitude (*unsharpness)* qui dans certains cas pratiques peut être négligé, mais qui en réalité et au niveau théorique doit toujours être considéré. Les processus de mesure *unsharp* sont ainsi plus généraux que ceux de mesures pointues et

il ne s'agit que d'une simplification de l'idée même d'objectivation exacte liée à la mesure.

> Cependant, il est encore possible que l'objectivation exacte et pointue de l'indicateur soit une illusion et que les résultats obtenus par les expérimentateurs soient objectivés seulement dans un sens non pointu (*unsharp*), de façon telle que la contradiction avec le formalisme disparaisse mais les résultats sont objectifs pour tous les buts pratiques.[147]

Ainsi, lorsque le paramètre de 'l'*unsharpeness'* est suffisamment grand, deux variables incommensurables peuvent être mesurées simultanément dans le système[148]. Pour Mittelstaedt (1994: 126-7) l'*unsharpness* correspond à une indétermination objective qui ne peut pas être confondue avec l'ignorance subjective de l'observateur. Les propriétés *unsharps* remplissent ainsi les conditions fixées par les inégalités de Heisenberg, mais en revanche n'ont pas besoin de la condition de complémentarité.

Si les propriétés mesurables sont comprises comme '***unsharp propositions***', en rapport avec les '*unsharp observables'*, le problème de l'objectivation des propriétés semble n'avoir plus aucune pertinence. Cette question a été discutée par P. Bush (1996, 1998) qui arrive à démontrer que même dans le cadre des observables *unsharp*, le problème de la mesure n'est pas résolu. De façon similaire à des observables *sharp*, il conclut qu'aucun concept d'objectivation ne peut être approprié à la situation de la mécanique quantique.

Afin d'éviter les inconsistances avec la théorie quantique et soutenir une notion même faible d'objectivation *unsharp,* la seule alternative, pour Mittelstaedt (1998b :147), est d'assumer que l'indicateur observable lui-même est véritablement une observable *unsharp*. Mais attention, cela ne veut pas dire qu'on a réussi à restaurer l'objectivité et la réalité du monde extérieur. Même si l'on arrive à obtenir un certain degré d'objectivation, un morceau fini de non-objectivation ne peut pas être négligé. Mittelstaedt souligne que la lecture de l'indicateur, lorsqu'une mesure est effectuée,

---

[147]"However, it is still possible that *exact* and *sharp* pointer objectification is an illusion and that the results obtained by experimentalists are objectified only in an unsharp sense, such that the contradiction with the formalism disappear but the results are objective for all practical purposes". (Mittelstaedt, 1998b:146).

[148] Sur les mesures *unsharp* et le problème de l'objectivation: cf., par exemple, Busch, Lahiti and Mittelstaedt (1991), P. Busch (1998), P. Mittelstaedt (1998a).

révèle non pas des propriétés réelles mais des propriétés *presque* réelles de l'état mixte attribué à l'appareil de mesure. En supposant pourtant que les objets existent comme entités réelles, leur reconnaissance et leur observation par l'observateur humain au travers des instruments de mesure, persiste en tant que problème à être analysé à l'aide du mode de raisonnement kantien.

Dans ce nouveau cadre, où de nouvelles pré-conditions matérielles se présentent, que se passe-t-il alors avec les principes kantiens ? Dans le cas des observables *unsharp*, les principes transcendantaux de substance et de causalité peuvent aussi être appliqués aux systèmes quantiques d'une manière non restrictive. Ils ne sont pas sujets aux conditions de limitation imposées pour les observables *sharp*. Bien que l'identité temporelle des objets quantiques soit constituée d'une façon très approximative, Mittelstaedt conclut qu'une connaissance objective, dans le sens kantien est aussi possible en mécanique quantique. Les principes de substance et de causalité restent valables comme conditions *a priori* de l'objectivité de notre connaissance, si bien sûr l'objectivité dans le domaine de la physique quantique est constituée d'une façon '*unsharp'*. Leur caractère universel est à nouveau rétabli sans cependant la condition de constitution d'objets individuels. Celle-ci, n'étant valable que pour la physique classique, est définitivement hors d'atteinte en mécanique quantique. Ainsi, dans le domaine quantique cela n'a pas de sens de rétablir la condition d'individualisation des objets. Mais si l'on généralise les pré-conditions matérielles de la mesure de manière à incorporer les observables *unsharp*, Mittelstaedt souligne qu'on peut caractériser les systèmes individuels dans un sens *unsharp* et les réidentifier de façon *unsharp*. Cette caractérisation ne peut pas être confondue avec une détermination univoque dans l'espace et le temps d'un système individuel.

6.4. Kant, Mittelstaedt et la question de l'objet

Mittelstaedt part du présupposé que la question de l'objet ou proprement le problème de l'objectivation soulevé par la mécanique quantique est par excellence l'une des questions majeures de la philosophie de Kant. Si le concept kantien d'objet est suffisamment affaibli, une application aux systèmes quantiques pourra être envisagée.

La définition d'objet, qu'il croit être mieux explicitée par la réflexion kantienne, et qu'il considère adéquate à toutes les situations cognitives soient-elles classiques ou quantiques, est celle d'un objet en tant que porteur de propriétés. Cette définition, soumise à des pré-conditions matérielles imposées par les différents processus de mesure, admet des caractérisations distinctes. Dans le contexte classique, les objets sont complètement déterminés comme porteurs de toutes les propriétés sans restrictions. Dans le contexte quantique, la définition comporte les restrictions suivantes : a) pour le cas de mesures *sharp* l'objet est caractérisé de façon incomplète comme porteur de propriétés objectives, celles qui ne sont qu'un sous-ensemble de toutes les propriétés qui peuvent être mesurées ; b) pour le cas de mesures *unsharp*, l'objet est caractérisé de façon complète mais indéterminé par l'ensemble de toutes les propriétés qui peuvent être mesurées.

Ainsi selon l'analyse de Mittelstaedt, la définition kantienne d'objet associe la possibilité d'attribution de propriétés aux conditions nécessaires de substance et de causalité. En cas contraire, aucune connaissance n'aura lieu. Dans ce sens, il affirme :

> Cependant, contrairement à Hume, Kant a souligné que "les objets d'expérience" ne sont pas tout simplement des imaginations arbitraires, mais des entités constituées à partir des données d'observation au moyen de certaines prescriptions conceptuelles bien définies, les catégories de substance et de causalité. Par conséquent l'interprétation des données empiriques comme propriétés d'un objet peut seulement être justifiée si l'objet comme porteur de propriétés a été constitué par les catégories mentionnées. Kant a formulé les conditions nécessaires qui doivent être accomplies par les données d'observation si les résultats de mesure peuvent être considérés comme données d'un "objet d'expérience".[149]

Le problème de l'interprétation en mécanique quantique qui cherche à fournir une interrelation entre les termes théoriques et les possibles résultats expérimentaux

---

[149] "However, in contrast to Hume, Kant emphasized that "objects of experience" are not only arbitrary imaginations but entities which were constituted from the observational data by means of some well defined conceptual prescriptions, the categories of substance and causality. Hence the interpretation of the empirical data as properties of an object can only be justified if the object as carrier of properties was constituted by the categories mentioned. Kant formulated necessary conditions which must be fulfilled by the observational data if the measuring results can be considered of an "object of experience". (Mittelstaedt, 1994:116)

n'est pas dissocié pour Mittelstaedt d'un programme transcendantal d'objectivation. Cette démarche implique en effet de rendre consistante la théorie quantique avec l'idée d'un système-objet non contextuel dont l'existence semble être indépendante de nos moyens d'observation mais qui, paradoxalement, ne satisfait pas les exigences classiques d'objectivation. Il paraît adopter une position réaliste du problème de la mesure qui en même temps prétend être compatible avec le raisonnement transcendantal. Cette position réaliste se manifeste lorsqu'il affirme que les objets comme porteurs de propriétés ont une existence réelle indépendamment de nous.

En principe sa démarche méthodologique paraît être très éloignée de celles habituellement identifiables comme kantiennes. Cependant, ce que Peter Mittelstaedt a pris pour trouver une issue au problème de l'objectivation en mécanique quantique c'est justement une sorte de réalisme empirique qui est fréquemment associé à Kant. En lui donnant une autre vie, ce réalisme empirique doit être ajusté et adapté à la nouvelle situation scientifique.

La question de la constitution de l'objet chez Kant peut être abordée de deux points de vue opposés : ou bien par le sens négatif ou problématique imputé par Kant à cette question ou bien par la réponse proprement positive qu'il en avait donnée. Mittelstaedt a accentué surtout ce deuxième aspect du problème. Si pourtant la question de l'objet chez Kant est présentée en termes de solution et non en termes de problème, on risque de négliger le sens même de la révolution copernicienne. Jocelyn Benoist (1996 :19), par exemple, arrive à affirmer que la question de l'objet est « l'unique motif de la démarche critique, dans sa capacité de rendre problématique ce qui est apparemment donné ». Ainsi dans cette perspective, ce qui rend la démarche kantienne beaucoup plus intéressante ce n'est pas de donner une solution à la question de l'objectivité, mais de rendre justement problématique quelque chose qui a toujours été supposé comme donné. On a l'impression que chez Mittelstaedt cet aspect problématique de la question de l'objectivité kantienne est toujours sous-entendu et Kant se révèle de façon plutôt dogmatique que critique.

Par ailleurs, il semble, à première vue, étonnant que la philosophie kantienne soit associée à une ontologie réaliste, comme le prétend Mittelstaedt. Apparemment

contraire à sa position, des interprètes comme Hilary Putnam[150] (1983) et Carl Posy (1981) suggèrent que Kant a été le premier représentant d'une sémantique anti-réaliste. Comment comprendre alors la position kantienne de Mittelstaedt ?

Pour éviter des malentendus et aussi pour mieux situer la singularité de la position kantienne face à l'ontologie, il faut tenir compte de la distinction entre le réalisme métaphysique et le réalisme empirique. Le réaliste métaphysique présuppose trois postulats fondamentaux : celui de l'existence du monde extérieur, celui des essences réelles et celui de la vérité-correspondance. Le premier postulat considère d'abord l'existence d'une réalité indépendante de notre esprit. Le second affirme que les entités indépendantes de notre esprit qui composent cette réalité sont définies en fonction de leurs propriétés intrinsèques ou essentielles. Et le troisième soutient que nous pouvons penser et parler de choses qui sont en fait indépendantes de notre esprit en vertu d'une relation de correspondance entre les termes de notre langage (ou les concepts de notre esprit) et les entités indépendantes de nous. Ce que le réaliste empirique a en commun avec le réaliste métaphysique est l'adoption du premier postulat. Néanmoins, on peut trouver deux types de réalistes empiriques : soit ceux qui ne rejettent que le deuxième postulat (celui des essences réelles) soit ceux qui nient les second et troisième postulats (des essence réelles et de la vérité-correspondance). On peut, dans le premier cas classer B. Russell qui nie l'existence de propriétés essentielles mais qui maintient que le donné sensible est ce type d'entité indépendante de nous qui exerce sur nos concepts mentaux un rapport causal. En fonction de sa position très affaiblie, le deuxième type de réaliste empirique est parfois assimilé à un anti-réaliste scientifique[151]. Peut-être cela justifie-t-il la divergence entre les interprètes qui rangent la pensée de Kant soit du côté du réalisme empirique soit côté de l'anti-réalisme scientifique.

---

[150] "Although Kant does not put it this way, I have suggested elsewhere that we can view him as rejecting the idea of truth as correspondence (to a mind-independent reality) and as saying that the only sort of truth we can have an idea of, or use for, is *assertability* (by creatures with our rational natures) *under optimal conditions* (as determined by our sensible natures). Truth became a radically epistemic notion." (Putnam, 1983 :210)

[151] Cf. Carl J. Posy (1981), The language of appearances and things in themselves, in Synthese, **47**(2), p.313-352 : « Il will interpret Kant's idealism along the lines of a modern, non-reductive anti-realism. » (313).

Par rapport à ces distinctions Kant est un exemple très singulier. C'est lui même qui définit son idéalisme transcendantal en tant que réalisme empirique en opposition au réalisme transcendantal, dans la première édition de la *Critique de la raison pure*.

> Le réaliste transcendantal se représente donc les phénomènes extérieurs (si l'on admet leur réalité) comme des choses en soi, qui existent indépendamment de nous et de notre sensibilité, et qui, par conséquent, seraient aussi en dehors de nous d'après de purs concepts de l'entendement. C'est justement ce réaliste transcendantal qui, par la suite, joue l'idéaliste empirique : après avoir faussement supposé que, pour être des objets extérieurs, les objets des sens devraient avoir aussi leur existence en eux-mêmes et indépendamment des sens, il trouve, à ce point de vue, toutes les représentations de nos sens insuffisantes à en rendre certaine la réalité.
>
> L'idéaliste transcendantal, au contraire, peut être un réaliste empirique, et par conséquent, comme on l'appelle un *dualiste*, c'est-à-dire accorder l'existence de la matière, sans sortir de la simple conscience de soi-même, ni admettre quelque chose de plus que la certitude des représentations en moi, par conséquence que le *cogito, ergo sum.* En effet, comme il ne donne cette matière et même sa possibilité intrinsèque que pour un phénomène qui, séparé de notre sensibilité, n'est rien, elle n'est chez lui qu'une espèce de représentations (l'intuition) qu'on appelle extérieures, non parce qu'elles se rapportent à des objets extérieurs en soi, mais au contraire parce qu'elles rapportent les perceptions à l'espace dans lequel tout est l'un en dehors de l'autre, tandis que l'espace lui-même est en nous. [Kant, 1980 : 1444 (A369-370, Ak IV, 232)]

Tous les interprètes semblent être d'accord sur sa position emblématique en faveur d'un anti-réalisme ontologique, ou métaphysique. Mais même si Kant se reconnaît comme un réaliste empirique, le consensus autour de la classification de la position kantienne dans le débat contemporain sur le réalisme scientifique est loin d'être établi. En dépit de ces adversités, on va quand même essayer de situer Kant dans l'horizon de ce débat car c'est justement l'alliance entre une ontologie réaliste et un raisonnement transcendantal qui est au cœur de l'interprétation de P. Mittelstaedt.

Kant pourrait être classé comme un anti-réaliste quand il maintient que nous n'avons pas d'accès à une réalité non conceptualisée et en conséquence il n'y a aucun moyen de représenter une réalité indépendante de nous. En termes d'une approche

sémantique de la doctrine kantienne, un énoncé de la physique ne pourrait pas être pris comme vrai ou faux par rapport à la façon dont les choses sont en elles-mêmes, indépendamment de notre habilité à pouvoir accéder au monde. Dans cette perspective kantienne anti-réaliste, le monde n'est pas ce qui correspond à l'énoncé quand il est vrai, car c'est nous qui conformons le monde à nos propres concepts. Le monde ne nous offrant pas un cadre externe auquel les théories scientifiques doivent se conformer, la légitimité des affirmations scientifiques ne peut donc pas demeurer dans les relations qu'elles maintiennent avec les objets externes. Ainsi la concordance entre les affirmations sur la réalité et des parties de la réalité ne pourra jamais être établie. Dans ce sens, les théories scientifiques ne seraient pas un miroir qui reflète la structure du monde extérieur, car cette structure externe est définie par les conditions internes de notre propre entendement.

Si l'externe est défini par l'interne et l'objectif par le subjectif, la distinction entre nos constructions mentales et le monde extérieur indépendant se révèle être purement méthodologique. On ne peut comparer la réalité externe avec notre théorie à propos de cette même réalité, parce que les deux, réalité et théorie, coïncident. La réalité est déjà une construction théorique. Kant utilise le terme 'phénomène' pour parler du caractère de cette réalité représentée en nous. Il n'a pas voulu postuler l'existence du phénomène en tant qu'entité métaphysique distincte du noumène. Nous sommes ainsi incapables de comprendre comment le noumène, cette réalité indépendante de nous, pourrait être. Pour cela, le noumène est un concept vide pour nous. Il n'y a pas de correspondance biunivoque entre les choses-pour-nous (les phénomènes) et les choses-en-soi (les noumènes).

Il faut toujours tenir compte du fait que la réalité pour Kant est d'abord une catégorie et non une chose indépendante de nous. Kant distingue la catégorie de réalité <Realität>, en tant que catégorie de la qualité, suivie de la négation et de la limitation, de la catégorie de réalité effective <Wirklichkeit>, une des catégories de modalité, entre la possibilité et la nécessité. La schématisation de la catégorie de réalité <Realität>, en tant qu'une procédure tout à fait *a priori* , indique un être dans le temps. De ce schématisme on obtient le principe de réalité, caractérisé par Kant, comme le principe des anticipations de la perception, le deuxième principe mathématique du système des principes synthétiques *a priori*. En accord avec ce principe, le réel n'est pas fondé sur la

sensation. Ce qui est réel n'est pas ce qui est immédiatement donné dans une intuition. Par contre, ce qui est réel est médiatement lié à la sensation. Le réel est alors fondé sur le rapport avec la sensation, sur la continuité et sur le degré, c'est-à-dire sur les concepts de l'entendement pur. Le principe de réalité transforme ainsi le contenu subjectif de la sensation en quelque chose d'objectif.

C'est ainsi qu'au niveau de l'analytique transcendantale on trouve la véritable dimension de la question de l'objet chez Kant. L'objet n'est pas quelque chose qui est donné à la perception, en tant qu'entité indépendante de notre esprit, comme on pourrait le penser en lisant l'esthétique transcendantale. Les principes de l'entendement confèrent de l'objectivité au contenu subjectif de la perception justement pour rendre ce contenu indéterminé, connecté à des principes. Pour des raisons purement méthodologiques Kant a divisé notre capacité cognitive en sensibilité et entendement. Par rapport à la première, les objets nous sont donnés et, par rapport à la deuxième, les objets sont pensés. Si l'on s'arrête au niveau de l'esthétique transcendantale, on peut croire que la notion d'objet pour Kant est quelque chose qui existerait en dehors de nous et qui a la capacité d'affecter notre sensibilité afin que nous puissions produire une connaissance objective de la réalité extérieure.

S'il n'y a alors aucun moyen d'accéder à cette réalité indépendante de nous, la connaissance métaphysique ou ontologique se situe absolument en dehors de nos prétentions cognitives. Ainsi en niant les présupposés réalistes, nous pourrions être tentés de conclure en faveur du caractère anti-réaliste de la conception kantienne de la science. Dans ce sens on pourrait imaginer que la cohérence interne ou l'adéquation empirique instrumentale seraient les critères d'acceptation des théories scientifiques compatibles avec la doctrine kantienne.

Paradoxalement, Kant présente une solution qui n'est ni 'cohérentiste' ni en faveur de l'adéquation empirique. Les théories scientifiques ne sont pas tout simplement des constructions mentales possibles. Elles sont des connaissances vraies et nécessaires sur le monde. Cependant il y a des interprètes comme Putnam (1984) qui défendent que chez Kant on a une théorie de la vérité qui n'est pas du tout une théorie de la vérité-correspondance, mais une théorie de la vérité comme adéquation. Putnam affirme par exemple que la vérité pour Kant « *c'est la meilleure adéquation qu'il est possible d'atteindre à la limite* » (Putnam, 1984 :76). Ainsi, pour Putnam le terme qui traduirait

le mieux les idées de Kant est celui qu'il qualifie de conception « internaliste » ou « réaliste internaliste » de la vérité (Putnam, 1984 :72). De son côté Carl Posy (1992) argumente qu'il n'y a pas chez Kant une théorie de la vérité correspondance, mais une notion de vérité en tant qu' *assertabilism.* Il est également opposé à une interprétation constructiviste de Kant.[152]

Néanmoins, si l'on s'appuie sur le critère de Bas Van Fraassen (1980) d'identification d'une position réaliste, Kant ne pourra pas être considéré comme un anti-réaliste, car on ne peut pas séparer la question du réalisme scientifique de la question de la vérité. Selon Van Fraassen, dans toute position réaliste, l'acceptation d'une théorie scientifique contient toujours la croyance qu'elle soit vraie.

Pour A. Clark (1985) le réalisme de Kant serait justifié par la distinction cruciale réalisée dans la *Critique de la raison pure* entre la possibilité réelle d'un concept et sa simple possibilité logique[153]. La possibilité logique implique la non contradiction des prédicats dans le sujet et la possibilité réelle suppose la condition transcendantale que le concept soit compatible avec les principes d'une expérience possible. Dans *L'Unique Fondement d'une Démonstration Possible de l'Existence de Dieu* (1763), on trouve un exemple entre ces deux possibilités lorsque Kant compare le concept de « licorne » à celui de « narval ». La différence entre ces deux animaux est «qu'on accorde l'existence au narval (licorne de mer) et non à la licorne de terre» (Kant 1980c: 326 ; Ak II, 73). Kant remarque que l'énoncé «un narval est une chose existante» est mal formé, il faut plutôt déclarer: «à un certain animal marin, qui existe, appartiennent les prédicats que je pense en les réunissant dans le concept de narval». La raison de la différence est que «la représentation du narval est une idée tirée de l'expérience». Pour «prouver le bien-fondé de la proposition que je prononce sur l'existence d'une telle chose, je ne chercherai pas cette dernière dans le concept du sujet, car on n'y trouve que des prédicats de la possibilité, mais j'invoquerai l'origine de la connaissance que j'en ai». Kant distingue donc la possibilité qui est la réunion des prédicats et l'existence qui est tirée de l'expérience. Le concept est la somme des prédicats, mais dans la représentation il y a

---

[152]Sur le paradoxe de l'objet et la déduction transcendantale des catégories : cf. Michel Meyer (1981).

[153] Cf . Kant (1980c : 976 ; A 244/B 302-3 ; Ak III, 207) : « [la] possibilité *réelle* ne peut pas non plus être présentée, si on fait abstraction de toute intuition sensible (la seule que nous ayons), et il ne reste que la possibilité *logique*, c'est-à-dire que le concept (la pensée) est possible, mais ce n'est pas ce dont il s'agit, la question étant de savoir s'il se rapporte à un objet, et s'il signifie donc quelque chose. »

plus, il y a «l'idée tirée de l'expérience». L'existence du narval est donc plus qu'un «complément de la possibilité» de ses prédicats, c'est quelque chose que je connais par l'expérience et qui s'ajoute au concept. L'existence n'est pas tirée du sujet mais est prédiquée du sujet (c'est le sens de la paraphrase «un certain animal marin, qui existe etc.»). Le narval est une idée réellement possible et la licorne n'est une idée que logiquement possible. Il ne faut pas oublier que le narval n'est pas la chose réelle, mais une représentation empirique possible qui peut toujours être modifiée par l'avancée de nouvelles recherches scientifiques. Ainsi dans une première représentation on pourrait affirmer que le narval est unicorne. Dans une deuxième représentation on peut exprimer le concept de narval non pas comme unicorne; dès lors que des recherches postérieures ont montré que sa défense n'est nullement une corne, mais sa canine gauche, hypertrophiée.

L'analyse de cet exemple nous permet de voir que la perspective kantienne ne se confond pas avec celle du réalisme scientifique plus courant qui présente les prédicats comme des propriétés de choses représentant les éléments constitutifs de la réalité. Le retour au texte de Kant jette un peu de lumière sur la question posée par l'interprétation de Mittelstaedt d'associer à l'approche transcendantale une ontologie formelle d'objets et de propriétés.

Ainsi le point de départ de Mittelstaedt est une ontologie qui admet comme concepts fondamentaux les propriétés, les objets, les états des choses et le monde réel. Nous sommes tentés de croire qu'il y a une structure ontologique déterminée et unique à côté de la structure empirique des appareils de mesure ou survenant sur cette structure, ce qui semble un peu surprenant dans une perspective kantienne. Néanmoins, si on laisse de côté l'ontologie des mondes possibles originellement proposée par Everett, et si nous n'admettons qu'un seul monde réel celui qui se présente dans une situation concrète d'un processus de mesure, Mittelstaet relève au moins trois ontologies distinctes : l'ontologie classique des propriétés individuelles, l'ontologie quantique des propriétés *sharp* et l'ontologie quantique des propriétés *unsharp*.

L'ontologie classique est basée sur les postulats de base suivants :

O_{C1} : Il y a des objets individuels et distincts qui possèdent des propriétés élémentaires P_λ.

O_{C2} : Si une propriété élémentaire P_λ se rapporte à un système-objet classique, elle peut toujours être testée par une mesure. En tous les cas il est légitime d'affirmer que P_λ ou la contre-propriété $\sim P_\lambda$ appartient au système.

O_{C3} :Les objets sont sujets à la loi de complète détermination selon laquelle si tous les attributs possibles sont pris ensemble avec leurs opposés contradictoires alors un de chaque paire d'opposés contradictoires doit leur appartenir.

O_{C4} : Pour les objets de la réalité objective extérieure les lois de causalité et de substance se conservent sans aucune restriction.

O_{C5} : Les objets peuvent être individualisés par les propriétés élémentaires si l'impénétrabilité est assumée comme une condition additionnelle.

En revanche, pour l'ontologie quantique de la complémentaire des observables *sharp*, quelques limitations fondamentales sont imposées à ces postulats:

O_{Q1} : Il y a des systèmes-objets quantiques qui ne possèdent pas toutes les propriétés élémentaires.

O_{Q2} : Si une propriété élémentaire *P* appartient au système comme une propriété ***objective***, alors le test de cette propriété par la mesure aboutira avec certitude au résultat *P*. Par contre, une propriété arbitraire quelconque *P* peut être testée pour un objet donné avec le résultat tel que P ou la contre-propriété ~P sans satisfaire à la condition d'appartenance à l'objet-système.

O_{Q3} : Les objets quantiques ne sont pas complètement déterminés. Ils possèdent seulement peu de propriétés élémentaires positives ou négatives. Les propriétés qui appartiennent simultanément à l'objet sont appelées « objectives » et « mutuellement commensurables ».

O_{Q4} : Pour les objets quantiques il n'y a pas de loi de causalité stricte dès lors que l'état présent du système objet n'est pas complètement déterminé.

O_{Q5} : Le manque de détermination complète et de causalité stricte implique que les objets quantiques ne peuvent pas être individualisés et ré-identifiés dans un temps postérieur.

Si alors le système-objet quantique est définit sous la condition d'indétermination simultanée des observables, on est face à une ontologie quantique qui satisfait quelques postulats de l'ontologie classique :

O^U_{Q1} : Il y a des systèmes-objets quantiques qui possèdent toutes les propriétés élémentaires *unsharp*.

O^U_{Q2} : Deux propriétés *unsharp* d'un système quantique peuvent être attribuées conjointement à l'objet si leurs degrés d'*unsharpness* remplissent les inégalités de Heisenberg.

O^U_{Q3} : Pour les objets quantiques définis par leurs propriétés unsharp, le principe de complète détermination n'est pas violé.

O^U_{Q4} : Pour les objets quantiques unsharp les lois de causalité et de substance s'appliquent de façon stricte.

O^U_{Q5} : Le manque de détermination de propriétés *unsharp* implique que les objets quantiques ne peuvent pas être individualisés de façon stricte. Pourtant les systèmes *unsharp* peuvent être individualisés de façon *unsharp* et ré-identifiés dans un temps postérieur de façon non pointue.

Cette relativité ontologique que l'on trouve chez Mittelstaedt associée a sa perspective transcendantale suppose qu'à chaque construction un lien ontologique pourra être établi. Rien *a priori* n'indique que le lien en question sera le même à tous les niveaux. La manière qu'ont les propriétés de se tenir ensemble pour constituer un objet dépend des pré-conditions matérielles du processus de la mesure. Cependant, les pré-conditions formelles, c'est-à-dire, les principes de l'entendement pur comme les principes de substance et de causalité, sont les mêmes pour toutes les différentes ontologies. Ce sont les conditions d'application et de limitation de ces principes qui changent. On voit ainsi par exemple que l'ontologie formelle des propriétés individuelles n'est adéquate que pour les objets classiques. De son côté, l'ontologie basée sur l'indétermination simultanée des observables est beaucoup moins forte que la première et beaucoup plus faible que la deuxième. Son avantage philosophique est qu'elle n'a pas besoin de la distinction singulière entre les propriétés objectives et les propriétés non objectives.

Partie II

Conclusion

Les insuffisances du programme de limitation

Comme nous l'avons vu dans la première partie de ce travail, la réponse kantienne à la question comment les mathématiques s'appliquent-elles à la nature, se situe, selon la suggestion de H. Cohen, au niveau des principes mathématiques, et plus précisément du principe de grandeur intensive qui correspond à la catégorie de la réalité. Ce principe permet non seulement de poser l'objet d'une expérience possible, mais en plus d'en montrer sa genèse. C'est au moment où la catégorie de la réalité se schématise en principe de grandeur intensive dans la continuité du temps que l'objet mathématique peut devenir objet physique. Les sensations, indépendamment des intuitions pures qui leur confèrent une grandeur extensive, ont un degré, et peuvent croître ou décroître de façon continue entre le degré zéro et un degré quelconque de réalité en passant par une infinité de degrés intermédiaires. Mais l'espace et le temps eux-mêmes ne peuvent être qualifiés de grandeurs continues (*quanta continua*) qu'en référence à ce principe des anticipations de la perception. Pour penser l'unité spatio-temporelle qui permet au divers sensible de se manifester, il faut d'abord penser l'unité. C'est donc le principe de grandeur intensive qui à la limite détermine les intuitions pures. Ainsi H. Cohen réaffirme avec Kant, le primat de la pensée sur l'intuition qui explique pourquoi les mathématiques sont applicables à la nature. Celle-ci n'est pas une donnée « toute faite », mais c'est la pensée qui, par le même processus, établit l'objet comme réel ainsi que les conditions de sa connaissance (les intuitions pures). Connaître, c'est produire le réel ; l'utilisation du calcul infinitésimal en physique en est la preuve : c'est en le produisant par une dérivation continue que la physique détermine le mouvement, et à travers lui la nature. Si on reconnaît chez Cohen le « triomphe de la pensée », on ne peut jamais oublier que le bon usage de la pensée reste conditionné par la sensibilité.

Cependant c'est justement dans ce rapport entre la pensée conceptuelle et l'intuition sensible que la mécanique quantique reste un problème pour la méthode transcendantale proposée par Kant. Nous avons analysé dans cette deuxième partie les trois approches qui essayent de comprendre la nouvelle situation de la mécanique

quantique en imposant des limitations nouvelles à l'épistémologie kantienne. L'interprétation de Bohr, en plus de circonscrire la prévisibilité déterministe et les images univoques au contexte classique, limite de façon complémentaire l'usage des intuitions spatio-temporelles et du principe de causalité. Les premières sont réservées à des situations expérimentales et le dernier au formalisme de la fonction d'onde. Cette solution entraîne des difficultés importantes au niveau de la cohérence de la méthode transcendantale en mettant en cause la doctrine kantienne du schématisme.

Grete Hermann, de son côté, nonobstant sa filiation à l'approche relationnelle de Bohr, s'éloigne de lui dans l'analyse du principe de causalité. Pour elle non seulement les intuitions sont relatives au contexte expérimental, mais aussi le principe de causalité. La restriction à l'usage de ce principe suppose une différentiation non pas théoriquement structurelle mais empiriquement contextuelle entre causalité classique et causalité quantique. Dans le domaine classique le critère déterministe d'application du principe de causalité est légitime, tandis que dans le domaine quantique ce critère ne peut pas être associé au principe. La disjonction entre prévisibilité et causalité proposée par l'approche de Hermann engage, à notre avis, une dissociation radicale dans la méthode kantienne entre le principe mathématique des anticipations de la perception et la deuxième analogie de l'expérience. Mais Hermann avance peu dans cette direction, car, en focalisant son attention strictement sur le rôle de la deuxième analogie dans le contexte quantique, elle a mis de côté les principes mathématiques de l'entendement. L'observation de Heisenberg (1927)[154] selon laquelle en mécanique quantique les quantités physiques ne sont pas exprimées par des nombres, mais sont des expressions d'une entité mathématique plus complexe, les termes diagonaux d'une matrice, apporte des restrictions importantes au niveau du principe des axiomes de l'intuition. Ce principe qui règle l'application des mathématiques à l'expérience reste sans doute valide dans le contexte classique. En revanche, en mécanique quantique comme les quantités physiques ne sont pas tout simplement des nombres, d'autres limitations doivent être

[154] "If for example, the X-coordinate of the electron is no longer a « number », as can be concluded experimentally, according to equation (1) [$p_1q_1 \sim h$], the, the simplest assumption conceivable [(that does not contradict (1)] is that this X-coordinate is a diagonal term of a matrix whose nondiagonal terms express themselves in an uncertainty tem of a matrix whose nondiagonal terms express themselves in an uncertainty or - by transformations – in other ways. (…) As soon as one accepts that all quantum-theoretical quantities are "in reality" matrices, the quantitative laws follow without difficulty". [Heisenberg (1927), 1983: 82].

imposées aux principes *a priori* mathématiques et les articulations des ceux-ci avec les principes dynamiques doivent être repensées. Comme nous allons le voir dans le neuvième chapitre, l'approche de Jean Petitot est la première à proposer un changement au niveau des principes mathématiques de l'entendement pur, non pas dans le sens de leur limitation, mais dans celui de leur remplacement par des principes plus généraux.

Néanmoins, malgré la fissure provoquée dans le système kantien, tant Bohr que G. Hermann suivent Kant dans l'abandon de toute sorte de rattachement à une ontologie d'entités microscopiques. Dans la première approche comme dans l'autre, en restreignant le principe de causalité, soit au contexte du formalisme, comme le fait Bohr, soit au contexte expérimental comme le précise G. Hermann, le seul usage non ambigu admis pour les explications causales est, en tant qu'analogies, de servir de façon complémentaire à la description des résultats expérimentaux, sans aucune prétention de décrire une réalité fondamentale. Cette perspective relationnelle de Bohr et d'Hermann contraste avec le réalisme de l'interprétation de Mittelstaedt.

De son côté, Mittelstaedt explicite avec clarté les paradoxes qui surgissent par les tentatives d'objectivation des propriétés des objets dans le contexte méta-théorique de la mécanique quantique. Les thèses principales de son interprétation sont cependant en franche opposition avec les interprétations de Bohr et d'Hermann. La théorie quantique est ainsi pour lui une théorie universelle valable et applicable à tous les domaines de la réalité, c'est-à-dire, aux atomes, aux molécules, aux corps macroscopiques et à l'univers. Les instruments de mesure ne sont pas des corps macroscopiques soumis aux lois de la physique classique. Ils sont des systèmes quantiques aussi dépendants également des lois de la mécanique quantique. Cette universalité supposée implique la complétude sémantique. Cela veut dire que la théorie objet incorpore la théorie des instruments de mesure, celle qui est utilisée pour sa propre justification. Cette complétude sémantique implique à son tour l'auto-référence. La mécanique quantique est une théorie auto-référentielle. Pour cela Mittelstaedt veut exprimer le double rôle du processus de mesure. D'un côté il sert à établir la sémantique de vérité de la théorie en question en tant que méthode de test de vérification et de falsification de la théorie. Dans ce rôle, le processus de mesure fait partie de la meta-

théorie qu'interprète la théorie objet. De l'autre côte, il est soumis aux mêmes lois de la théorie objet et traité comme un système quantique[155].

Ainsi Mittelstaedt veut rendre compatible une ontologie qui admet comme concepts fondamentaux les propriétés, les objets, les états des choses et le monde réel avec un concept kantien d'objet suffisamment affaibli. Dans sa définition très faible d'objectivation il maintient l'idéal kantien d'attribution de propriétés associé aux principes transcendantaux de substance et de causalité. Mais pour que cela puisse marcher dans le contexte quantique, une objectivation exacte et bien définie n'est plus possible. Dans son approche, Mittelstaedt dissout d'une certaine manière le problème du schématisme car il n'y a pas de place pour les intuitions spatio-temporelles. Il croit cependant que son interprétation de la mécanique quantique en termes d'observables *unsharp* est beaucoup plus intuitive que celle de la mécanique classique. Mais le sens qu'il attribue à l'intuition n'est pas du tout le même de celui de Kant. Il prend pour intuition la notion philosophique un peu vague de sens commun. Dans ce sens, il affirme que l'ontologie classique, basée sur les postulats de détermination complète et de déterminisme rigoureux, qui dépassent notre expérience ordinaire, est moins intuitive que l'ontologie quantique des propriétés *unsharp*.

Du point de vue kantien, cependant, l'un des problèmes transcendantaux qui reste à résoudre concerne justement la mystérieuse partie du schématisme transcendantal. Le pilier central de l'édifice kantien, celui de l'articulation entre l'intuition sensible et les principes de l'entendement, a été brisé et on ne trouve pas dans aucune de ces trois approches de réponse satisfaisante. Bien évidemment l'intention surtout pour Bohr et Mittelstaedt est de fournir une interprétation cohérente de la mécanique quantique et peu importe la cohérence de la méthode transcendantale. La question la plus intéressante n'est pas celle de sauver ou de ne pas sauver Kant, mais celle d'examiner si la réflexion transcendantale peut apporter un peu de lumière aux impasses épistémologiques posées pas la mécanique quantique. Nous allons poursuivre ce questionnement dans la troisième partie de notre travail.

---

[155] Cf. Mittelstaedt, (1993 : 1763); (1998a: 4-8) et (1998b: 129-132).

PARTIE III :

Vers la relativisation des *a priori*

PARTIE III

Introduction

Le programme de relativisation des *a priori*

Le programme de relativisation de l'*a priori* est né au début des années 20, de façon presque simultanée, dans trois filières philosophiques tout à fait dissemblables : le néokantisme de Cassirer (1921), l'empirisme logique du jeune positiviste Reichenbach (1920) et le pragmatisme américain de Clarence Irving Lewis (1923 et 1929). Défiés philosophiquement par la théorie de la relativité d'Einstein et la Mécanique quantique, chacun à sa façon essaie de développer l'idée de l'*a priori* relationnel ou historique qui pourrait rendre compte des changements survenus dans ces domaines. Les deux derniers vont aboutir à une conception analytique de l'*a priori,* celle qui sera proclamée dans le Manifeste du Cercle de Vienne en 1929, qui finit par nier l'essence même de la pensée kantienne : l'idée du synthétique *a priori*[156].

Du côté du « néokantisme », plus fidèle à Kant, Cassirer n'acceptera pas l'idée, diffusée, par exemple, parmi les philosophes du Cercle de Vienne, selon laquelle la nouvelle physique représenterait la fin du 'synthétique *a priori*' et de la méthode transcendantale kantienne. Au contraire, ce que veut Cassirer c'est, en s'appuyant sur les présuppositions kantiennes, aller au-delà de Kant, comme les physiciens modernes du vingtième siècle l'ont fait par rapport à Galilée, Newton, Maxwell et Helmholtz. Kant, en épistémologie, doit être pris comme un auteur classique qui a ouvert des chemins philosophiques qui n'existaient pas avant lui et sans lesquels on ne parviendra jamais à réaliser quelque chose de nouveau. La physique einsteinienne n'a pas abandonné à coup sûr les aspects rationnels de la physique newtonienne et de la

---

[156] "The scientific world-conception knows no unconditionally valid knowledge derived from pure reason, no 'synthetic judgements *a priori'* of the kind that lie at the basis of Kantian epistemology and even more of all pre- and post-Kantian ontology and metaphysics. … It is precisely in the rejection of the possibility of synthetic knowledge *a priori* that the basic thesis of modern empiricism lies". (Carnap, Hahn and Neurath, 1973: 308).

géométrie euclidienne, mais, pour Cassirer, elle les a tout simplement définis différemment, en étendant et transformant leur armature conceptuelle. De même que quelque chose de structurel de la physique newtonienne demeure dans la physique einsteinienne, quelques aspects de sa structure transcendantale conservent leur signification et leur validité dans le contexte de la nouvelle physique.

Il développera sa propre doctrine de l'*a priori*, en prenant la philosophie kantienne non pas comme fin, mais comme origine à partir de laquelle la critique de la connaissance devra être établie. Comme il l'affirme lui-même :

> En effet, ce à quoi aspirait la *Critique de la raison pure*, ce n'était pas de fonder la connaissance philosophique une fois pour toutes sur un système de concepts figé et dogmatique, mais d'ouvrir « la vie continue d'une science » dans laquelle il ne peut y avoir ni pause ni halte absolue, mais seulement des étapes toujours relatives. (Cassirer, 2000 : 35)

En tant qu'héritier de Kant, Cassirer, prend un chemin tout à fait nouveau par rapport à celui, plus orthodoxe, pris, par exemple par Grete Hermann. Le guide moteur de sa recherche, pour comprendre les transformations en cours de la physique contemporaine qui ont bouleversé nos repères épistémologiques, est l'idée selon laquelle la structure de la science doit être pensée non pas comme substantiellement rigide, mais plutôt comme quelque chose de flexible et de plastique. C'est justement dans cet aspect mouvant que se situe le sens de l'*a priori* chez Cassirer. Paradoxalement, c'est pour rendre justice à cette flexibilité des structures scientifiques que l'*a priori* doit être considéré.

> L'*a priori* qui peut toujours être cherché et auquel seul on peut adhérer doit faire justice à cette flexibilité. Il doit être compris dans un sens purement méthodologique. Il n'est basé sur le contenu d'aucun système particulier d'axiomes, mais se réfère au processus par lequel dans la recherche théorique progressive un système se développe à partir d'un autre. Ce processus a ses règles et ces règles fournissent les présuppositions et la base pour ce que nous pouvons appeler « la forme d'expérience ».[157]

---

[157] The *a priori* that can still be sought and that alone can be adhered to must do justice to this flexibility. It must be understood in a purely methodological sense. It is not based on the content of any particular

C'est cette attitude critique par rapport à la philosophie transcendantale qu'on va trouver un peu plus tard chez Von Weizsäcker, et plus récemment à la fois chez les philosophes anglo-saxons H. Putnam et J. Hintikka et chez les philosophes français Jean Petitot (1991 et 1997) et Michel Bitbol (1998b, 2000b, 2000c). Ces auteurs sont d'accord avec Cassirer quand il dit que la signification transcendantale doit être trouvée dans les changements profonds opérés par la relativité einsteinienne et par la théorie quantique et qui ont modifié définitivement les rapports entre la connaissance scientifique et la philosophie transcendantale.

Il s'agit donc dans cette partie de la thèse de présenter le programme de relativisation de l'*a priori* à l'égard de la mécanique quantique dans les versions développées par Cassirer, Von Weizsacker, Jean Petitot et Michel Bitbol. Dans le cadre spécifique de l'épistémologie de la mécanique quantique d'inspiration bohrienne, chacun à sa manière, adhère à la perspective transcendantale comme troisième voie entre les réalistes et les empiristes pour aborder le problème de l'objectivité de la mécanique quantique. Comme G. Hermann et P. Mittelstaedt, ils considèrent que la nouvelle conception du phénomène de la microphysique serait mieux traduite en termes transcendantaux. Néanmoins à la différence de ces deux premiers auteurs, les arrière-plans transcendantaux ne se limitent pas au cadre du kantisme strict. On essayera de comprendre les changements vis-à-vis de la doctrine kantienne en prenant la troisième *Critique* comme fil conducteur pour une théorie de la science qui doit faire face aux transformations profondes de la science contemporaine.

Ainsi en prenant toujours le contexte de la mécanique quantique nous allons analyser dans le chapitre sept la perspective de relativisation de l'*a priori* proposée par Cassirer dans le déplacement de la notion de substance à celle de fonction, en mettant l'accent sur la validité généralisée du principe de causalité. Dans le chapitre huit, l'apriorisme historique de Von Weizsäcker vu en tant que succession de théories achevées vers l'unité de la nature sera examiné. Dans le chapitre neuf, on considérera le programme de régionalisation de l'esthétique transcendantale mis en œuvre par Jean Petitot. Dans le dernier chapitre, les approches pragmatistes de l'*a priori* dans le contexte de la philosophie contemporaine tant dans une perspective analytique, comme

---

system of axioms, but refers to the process whereby in progressive theoretical research one system develops from another. This process has its rules, and these rules provide the presuppositions and

celle de C. I. Lewis, que dans une perspective transcendantal du pragmatisme de la communication de Habermas et K-O Apel seront mises en parallèle avec les conceptions pragmatico-transcendantales de la théorie quantique telle que celle de Michel Bitbol. Notre but est de montrer que les conditions transcendantales d'objectivation de la mécanique quantique ne s'accomplissent que si l'on considère les conditions transcendantales intersubjectives et en même temps régulatrices de la communication que l'on peut dégager de l'interprétation complémentaire de Bohr.

---

foundation for what we may call the "form of experience". (Cassirer, 1956:74)

Chapitre 7
Ernst Cassirer et la révision de la notion kantienne de causalité au moyen de la notion de fonction

Dans la voie ouverte par les fondateurs de l'Ecole de Marbourg, H. Cohen (1902) et P. Natorp (1910), E. Cassirer (1956, 1977 et 2000) prend en charge l'actualisation de l'investigation transcendantale des conditions de possibilité de la connaissance scientifique, face au nouvel état de la science elle-même. Notamment dans les ouvrages *Zur Einsteinschen Relativitätstheorie Erkenntnistheoretische Betrachtungen*, (Berlin, 1921, traduction française 2000) et *Determininismus und Indeterminimus in der modernen Physik* (Göteborg, 1937, trad. anglaise 1956), Cassirer fait ressortir la validité de la réflexion transcendantale dans le contexte de la physique contemporaine. Il essaie d'appliquer les préceptes épistémologiques développés dans son livre de 1910, *Subtanzbegriff und Funktionsbegriff*, à la théorie de la relativité générale d'Einstein et à la Mécanique quantique. Cependant, la lecture de ses textes et la pertinence de ses analyses ne peuvent pas se passer en dehors de l'horizon du débat serré, au début des années vingt, entre lui et les partisans et du Cercle de Vienne autour de la notion d'*a priori* fonctionnel. Nous allons commencer ce chapitre justement par l'idée de l'*a priori* fonctionnel proposée au début par le jeune Reichenbach pour mieux comprendre le déplacement présenté par Cassirer.

7.1. Cassirer face à l'*a priori* fonctionnel proposé par le jeune Reichenbach

Le premier livre de Hans Reichenbach, *Relativitätstheorie und Erkenntnis a priori,* publié en 1920 à Berlin, un peu avant celui de Cassirer sur le même sujet, en même temps qu'il présente, vis-à-vis de la théorie de la relativité spéciale et générale d'Einstein, une critique de l'idéalité transcendantale de l'espace et du temps, proposée par Kant dans l'esthétique transcendantale, marque sa tentative d'interpréter la *Critique*

de la raison pure de façon à la rendre compatible avec la théorie einsteinienne. Face au vide épistémologique résultant des changements radicaux produits par la physique, ce travail de Reichenbach représente aussi l'effort positif pour établir sur des bases transcendantales les fondements philosophiques de la nouvelle science. Il propose alors de séparer les deux sens d'*a priori* que, d'après lui, on trouve chez Kant. Le premier signifie 'apodictiquement valide', c'est-à-dire, 'valide par tous les temps' et le deuxième révèle ce qui appartient à la constitution du concept d'objet (Reichenbach, p. 238). Il parvient à la conclusion que la théorie d'Einstein est tout à fait incompatible avec la théorie originelle de Kant. Pourtant, il propose de ne garder que le deuxième sens de l'*a priori* et ainsi la thèse la plus importante de la philosophie kantienne s'accorde parfaitement avec la théorie de la relativité. Cette thèse suppose le fait que toute la connaissance physique n'est possible qu'à travers certains principes qui constituent premièrement l'objet comme tel. Ces principes sont *a priori* dans la mesure où ils sont antérieurs à l'expérience, mais ils ne sont pas du tout apodictiques, puisqu'ils ne sont valables ni tout le temps ni indépendamment de l'expérience. Comme de tels principes ne sont pas du tout nécessaires, ils peuvent être modifiés ou même changés au cours du progrès de la connaissance.

A. Coffa dans son livre sur la tradition sémantique de Kant à Carnap n'hésite pas à caractériser la position débutante des empiristes logiques comme une branche du néokantisme. Ainsi il déclare :

> Il peut y avoir un peu de doute que le positivisme logique ait commencé comme une branche du néo-kantisme en différant de ses rivaux dans ce mouvement seulement par son intérêt pour la clarté et par son appréciation de la science comme modèle pour l'épistémologie[158].

Pour Maria Reichenbach, dans son introduction à l'édition anglaise de *Relativitätstheorie und Erkenntnis a priori*, l'émancipation des positivistes contemporains comme Hans Reichenbach, Moritz Schlick et Rudolf Carnap[159] par

---

[158] " There can be a little doubt that logical positivism started as a branch of neo-Kantianism differing from its rivals in that movement only in its concern for clarity and its appreciation of science as a model for epistemology" (Coffa, 1991, p. 189).

[159] La dissertation de Carnap écrite pour son doctorat, *Der Raum* (1921), et édité l'année suivante en supplément à *Kant-Studien*, traite de la théorie de l'espace d'un point de vue philosophique évidemment influencé par la philosophie de Kant. Dans ce travail, Carnap identifie trois genres de théories de l'espace

rapport au kantisme a été un processus graduel. Elle souligne que même après avoir déclaré sa rupture complète avec le kantisme, dans son article de 1933, « Kant und die Naturwissenschaft », en niant tout sens du synthétique *a priori*, Reichenbach va maintenir jusqu'à ses derniers écrits une attitude ambivalente de rejet et d'admiration pour Kant. En dépit de son appréciation négative, c'est justement le projet kantien qu'il a pris comme emblème pour caractériser la science de son temps : « l'évolution de la science au cours du siècle dernier peut être considérée comme une désintégration continue du synthétique *a priori* kantien »[160].

Ainsi au début des années vingt le travail de Cassirer a eu non seulement un accueil très favorable de la part de jeunes empiristes mais aussi une certaine identification. L'effort de Cassirer de ne pas préserver Kant à tout prix, mais de poursuivre la méthode kantienne en actualisant la doctrine transcendantale face aux défis de la nouvelle science, a été apprécié par Reichenbach, en 1921, dans son article « Der gegenwärtige Stand der Relativitätsdiskussion »[161]. Critique des stratégies immunisantes développées par quelques néokantiens radicaux comme, particulièrement E. Sellien (1919), Ilse Schneider (1921) et Lenore Ripke-Kühn (1920), qui maintiennent que le kantisme n'est pas du tout affecté par la théorie de la relativité ; Reichenbach affirme que le grand mérite de Cassirer a été de réveiller le néokantisme de son sommeil dogmatique (Cf. Reichenbach, 1959 : 25). E. Sellein, par exemple, déclare que la doctrine kantienne de l'espace et du temps concerne plus précisément l'intuition pure et de ce fait elle n'est pas affectée par les mesures empiriques de l'espace et du temps de la théorie einsteinienne. De son côté, Ilse Schneider affirme que l'espace tridimensionnel

---

qui concernent l'espace formel, l'espace physique et l'espace intuitif. L'espace formel est analytique *a priori* en possédant des propriétés formelles qui sont une conséquence logique d'un ensemble défini d'axiomes. L'espace physique en tant que synthétique *a posteriori* est l'objet de la science physique et nous ne pouvons connaître sa structure qu'au moyen d'expériences. L'espace intuitif est synthétique *a priori* et est connu par l'intermédiaire de l'intuition *a priori*. Selon Carnap, la distinction entre ces trois genres différents d'espace est semblable à la distinction entre trois aspects différents de la géométrie : la géométrie projective, métrique et topologique. L'espace intuitif, avec son caractère synthétique *a priori*, est une concession à la philosophie de Kant. Carnap accepte ainsi le point de vue néo-kantien et emploie les axiomes de Hilbert de la topologie pour la caractérisation de cet espace. La distinction entre l'espace formel et physique est semblable à la distinction entre la géométrie mathématique et physique. Cette distinction, proposée par Hans Reichenbach pendant ces années, a été acceptée par Carnap et est devenue plus tard la position officielle de l'empirisme logique sur la philosophie de l'espace.

[160] « The evolution of science in the last century may be regarded as a continuous disintegration of the Kantian synthetic *a priori* » (Reichenbach, 1936 : 145).

euclidien est l'espace où la théorie gravitationnelle de Newton est valide. Une situation analogue peut être obtenue par rapport à l'espace de la géométrie riemannienne et la théorie d'Einstein en préservant l'espace de l'intuition pure comme la condition de possibilité où tous les différents concepts d'espace et par conséquent les géométries multidimensionnelles peuvent être construites. Malgré sa naïveté, Hans Reichenbach félicite l'honnêteté de Lenore Ripke-Kühn qui rejette complètement la théorie d'Einstein en faveur de celle de Kant. Il est tout à fait d'accord avec le point de départ de cette philosophe pour qui, entre les deux théories, il faut en choisir absolument une et rejeter l'autre. Le problème est qu'elle a choisi la mauvaise direction. Avec Cassirer, les choses se passent autrement. Il reconnaît les erreurs de Kant et propose des modifications relatives à la doctrine de l'intuition pure. Reichenbach considère ainsi sa démarche défendable et dans cette perspective de Cassirer la théorie de Kant pourra être parfaitement réconciliée avec celle d'Einstein. A ce propos Coffa (1991:193) affirme : « Sur ce sujet la pensée de Reichenbach et celle de Cassirer étaient en harmonie parfaite »[162].

Néanmoins, si l'on accepte les modifications proposées par Cassirer, il faut selon lui renoncer au caractère apodictique des jugements synthétiques *a priori*. Ainsi il affirme :

> Cassirer a résolu la contradiction entre l'épistémologie de Kant et la théorie de la relativité en prolongeant le concept d'intuition pure. Je reconnais que, de cette façon, la philosophie de Kant est rendue compatible avec la physique actuelle, que cette cohérence est réalisée avec un nombre minimum de changements de la philosophie de Kant et qu'il y a de même certaines doctrines dans le kantisme (par exemple l'idéalité des formes d'intuition) qui penchent vers une telle réconciliation. Néanmoins, je maintiens qu'une telle approche est équivalente à un démenti des principes synthétiques *a priori* et qu'il n'y a aucun

---

[161] La traduction anglaise n'apparaît qu'en 1959, dans la sélection d'essais édités par Maria Reichenbach, intitulée *Modern Philosophie of Science.*

[162] « On this matter Reichenbach's thought and that of Cassirer were in perfect harmony ».

> autre reméde que de renoncer au caractère apodictique des déclarations épistémologiques[163].

Schlick a été le premier à soutenir que la doctrine kantienne ne doit pas être corrigée, mais éliminée. Son article de 1921 à propos du livre de Cassirer, "Critical or Empiricist Interpretation of Modern Physics?", représente le point de départ d'une nouvelle orientation de la philosophie scientifique.

> Ce n'était pas difficile pour le néokantisme de rester en paix avec le développement de la science naturelle, lorsqu'il est passé de la vision du monde mécanique à celle énergétique et finalement à l'électrodynamique; mais a-t-il aussi la puissance et l'élasticité suffisantes pour accompagner le bond effectué par la physique actuelle vers un nouveau chemin ? Au temps où il n'y avait que quelque peu de tentatives d'assimiler la théorie de la relativité spéciale au point de vue critique et où la théorie générale n'avait pas encore été complètement achevée, il fallait répondre à cette question négativement. Il me semblait que les principes nécessaires pour une illumination philosophique et une justification de cette théorie pourraient être tracés beaucoup plus aisément par la théorie empiriste que par la théorie kantienne de la connaissance; et même à des occasions ultérieures je n'ai trouvé aucune raison d'abandonner cette position, d'autant plus que l'achèvement couronné de succès de la théorie générale, qui a eu lieu peu après, a apporté la victoire à une idée surgie du terrain même de l'empirisme extrême (à savoir le positivisme de Mach). (Schlick, 1979a : 322)[164]

---

163 "Cassirer resolved the contradiction between Kant's epistemology and the theory of relativity by extending the concept of pure intuition. I agree that, in this way, Kant's philosophy is rendered consistent with present-day physics, that this consistency is achieved with the minimum number of changes in Kant's philosophy, and that there are even certain doctrines in Katianism (e.g. the ideality of the forms of intuition) which point to such a reconciliation. Nevertheless, I maintain that such an approach is tantamount to a denial of synthetic a priori principles, and that there is no other remedy but to renounce the apodictic character of epistemological statements." (Reichenbach, 1959: 29-30)

164 "It has not been difficult for neo-Kantianism to keep peace with the development of natural science, as it passed from the mechanical to the energetical, and finally to the electrodynamical view of the world; but does it also have sufficient power and elasticity to share in the leap whereby physics in our own day has set out on a new path? At a time when there were only quite few attempts to assimilate the special theory of relativity to the critical point of view, and when the general theory had not yet been completed at all, I thought it necessary to answer this question in the negative. It seemed to me that the principles needed for a philosophical illumination and vindication of that theory could be drawn far more readily from the empiricist than the Kantian theory of knowledge; and even on subsequent occasions I found no reason to abandon this position, more especially since the successful completion of the general theory,

Pour Schlick, Cassirer a opposé le concept critique de l'expérience au concept sensualiste, en prétendant prouver que les fondements philosophiques de la théorie de la relativité ne peuvent être trouvés que dans le domaine de la philosophie critique. Mais pour Schlick, il y a une troisième voie qui est justement l'empirisme, dans un sens tout à fait distinct du sensualisme, que Cassirer n'a pas considérée. C'est une espèce d'empirisme qui accepte que toute la science exacte s'appuie sur les observations et les mesures, mais que par contre ces observations et ces mesures ne sont pas du tout des sensations et des perceptions. Celles-ci deviennent celles-là par la médiation de certains principes constitutifs qui les ordonnent et les interprètent. C'est ainsi que les objets physiques sont constitués. Dans cette perspective, Schlick est absolument d'accord avec le point de vue de Cassirer et de la philosophie critique de la connaissance. En revanche, ce qu'il ne concède pas c'est l'idée que ces principes seraient synthétiques *a priori*. Soutenir qu'il y a des principes synthétiques *a priori* est, pour lui, admettre qu'il y a des principes apodictiques, c'est-à-dire, nécessairement et universellement valables. Mais vis-à-vis des nouvelles théories scientifiques, cela n'est plus possible.

Pour Schlick, il y a entre le criticisme transcendantal et le sensualisme strict, le point de vue de l'empirisme selon lequel ces principes constitutifs de l'observation et de la mesure sont soit des hypothèses soit des conventions. Dans le premier cas, Schlick considère qu'ils ne sont pas *a priori*, parce qu'ils ne sont pas apodictiques, et dans le deuxième, ils ne sont pas synthétiques. Schlick déclare: « un empiriste peut très bien reconnaître la présence de tels principes ; il niera seulement qu'ils sont synthétiques et *a priori* » [165]. Pour lui il faut choisir entre la théorie d'Einstein et la théorie de Kant dans la mesure où chacune est incompatible avec l'autre. Si, comme Cassirer même le recommande, on veut aller au-delà de la pensée de Kant et maintenir le point de vue critique, il faut révéler quelles sont les nouvelles propositions synthétiques *a priori* qui possèdent une validité absolue pour toute expérience.

Pour Schlick, les réponses de Cassirer à la demande de précision de ces nouveaux principes synthétiques *a priori* ne sont tout de même pas satisfaisantes. Par contre, la solution donnée par Reichenbach lui paraît entièrement convenable, même si

---

which took place soon afterwards, brought victory to an idea that had arisen from the soil of extreme empiricism (namely the positivism of Mach)." (Schlick, 1979a: 322)

l'*a priori* affaibli de Reichenbach se révèle à son avis en totale rupture avec les bases de la philosophie critique. Sa divergence avec Reichenbach n'est que terminologique, car on peut tout simplement appeler ces principes 'conventions', sans avoir besoin de les désigner par des *a priori*. Pour Schlick, les principes géométriques de la physique ne sont ni *a priori* ni empiriques, mais des conventions, dans le sens de Poincaré[166].

Le problème pour Cassirer est que les empiristes tendent à dissocier l'*a priori*, ou le transcendantal, en tant que synthétique *a priori*, de l'expérience, en les opposant. Cependant le transcendantal ne peut être compris qu'en rapport à l'expérience, dans la mesure où il est impliqué dans tout jugement valide sur les faits. Un jugement basé sur les données de l'observation sensible a une valeur fonctionnelle comme partie d'un système d'arguments. Et si ce système prétend se présenter comme valide la raison projette sur lui quelques postulats et hypothèses de façon à le rendre cohérent et objectif. Cassirer illustre bien cette situation à travers l'exemple, très utilisé par les empiristes, de la théorie évolutionniste de l'expérience :

> Lorsque, par exemple, la théorie évolutionniste de l'expérience insiste sur le fait que l'impression et la représentation du temps se développent « avec l'adaptation à l'environnement temporel et spatial », cette assertion, à coup sûr incontestée et incontestable, se donne, avec le concept d'« environnement » qu'il postule, l'ensemble des facteurs et des éléments ici en cause. On postule par là qu' « il y a » un ordre cohérent et objectif du temps et que les événements, au lieu de se suivre l'un l'autre au petit bonheur, y procèdent « l'un de l'autre » selon une certaine règle. Hypothèses cruciales dont la vérité doit persister si l'on doit pouvoir accorder son droit et conserver son sens à l'aide d'évolution ; et c'est à cette vérité d'un système de jugement, non à l'existence en nous des représentations, quelles qu'elles soient, que peut seul s'appliquer le concept d'*a priori* dans sa signification logique. Ce qui est en question avec lui, c'est la seule valeur de certaines relations et leur hiérarchisation, non pas la présence de contenus psychiques. Si l'espace, et non la couleur, est un *a priori*, au sens où l'entend la doctrine critique de la connaissance, c'est qu'il est seul à

---

[165] "An empiricist can very well acknowledge the presence of such principles ; he will deny only that they are synthetic and *a priori*". (Schlick, 1979a)

[166] Cf. Schlick, *Philosophical Papers*, (1915, 1917, 1918) et aussi M. Friedeman (1994 : 25).

constituer un invariant pour toute espèce de construction en physique. (Cassirer, 1977 : 305)

7.2. Le déplacement proposé par Cassirer

La doctrine de l'*a priori* de Cassirer a manifestement deux phases de développement. La première, présentée dans *Substanzbegriff und Funktionsbegriff* (1910), est marquée par la valeur du concept mathématique de fonction dans la théorie de la connaissance. Cependant, lorsque ce livre a été publié, la physique classique était encore acceptée comme valide et incontestable alors que la théorie de la relativité et la théorie quantique n'étaient qu'à leur début. Dans le projet de cet ouvrage, Cassirer s'ancre dans le développement de la mathématique et de la physique mathématique du dix-neuvième siècle. Ainsi comme Kant, il est convaincu que la structure et les principes fondamentaux de la connaissance peuvent être mieux discernés dans la mathématique et dans la physique mathématique, où la connaissance a atteint le plus haut niveau. Il veut néanmoins mettre en évidence la nature fonctionnelle dans le processus d'objectivation des concepts en opposition à la notion traditionnelle de formation de concepts via le processus d'abstraction, par médiation de la notion de substance. Comme Kant, il maintient la pureté des concepts mathématiques par rapport à la fois à l'expérience et à leur fonction transcendantale de formes de la perception sensible. La réalité des concepts de l'espace et du temps est donnée non pas par les existences réelles de ces concepts mais par leurs fonctions. Dans cette perspective la physique newtonienne impose une géométrie absolue de l'espace et du temps rendant compréhensible le problème du mouvement.

La deuxième phase, figurant initialement dans son ouvrage en trois volumes *Philosophie der symbolischen Formen* (1923, 1925 et 1929), contient les bases d'une théorie générale de la signification, non pas seulement appliquée à l'analyse critique de la science physique et mathématique, mais qui étend son domaine de réflexion à d'autres formes de manifestations culturelles comme le mythe, l'art et la religion. Malgré l'importance paradigmatique qu'il continue à donner à la physique et à la mathématique, le centre de son investigation s'est déplacé de la doctrine du concept à la doctrine du signe. De la critique de la raison à la critique de la culture, Cassirer

maintient un ensemble de principes invariants, comme structures *a priori* de l'esprit qui sont présents dans n'importe quel discours soit-il scientifique, mythique, religieux ou artistique[167].

Ainsi, quand Cassirer publie en 1921 son livre sur la théorie de la relativité, il n'a pas encore mené à terme sa grande œuvre philosophique *La philosophie des formes symboliques*. Cette étude se situe ainsi à mi-chemin entre sa philosophie de la connaissance et sa philosophie des formes symboliques. Comme le remarque Jean Seindengart dans la présentation de la traduction française, « Cassirer n'a pas encore souligné l'importance capitale du *langage* comme matrice de toutes les autres formes symboliques ; il se trouve donc en 1920 devant un horizon nouveau de tâches dont il ne sait pas encore articuler ou organiser les éléments de façon systématique » (Cassirer, 2000 : 23). Il est aussi curieux que même sa dernière œuvre *Determinismus und Indeterminismus* ne prenne pas comme référence la philosophie des formes symboliques, mais les préceptes développés dans *Substance et fonction*.

Le livre de Cassirer *Zur Einsteinschen Relativitätstheorie Erkenntnistheoretische Betrachtungen*, comme lui-même le fait remarquer dans son avant-propos, est une tentative d'harmoniser les jugements profondément divergents entre les philosophes et les physiciens sur les attentes épistémologiques de la théorie de la relativité. Le problème de l'objectivation est une question chargée de malentendus dans la dispute qui oppose les physiciens aux philosophes. Ainsi Cassirer fait remarquer que l'affirmation d'Einstein comme quoi sa théorie a ôté « le dernier résidu d'objectivité » à l'espace et au temps, a un sens complètement différent si elle est soutenue par un physicien ou par un théoricien de la connaissance. A quelle objectivité physique se réfère Einstein ? Le physicien peut la considérer de manière non problématique, tout simplement comme un point de départ stable et assuré. En revanche, le théoricien de la connaissance a pour tâche de donner la formulation exacte de ce problème fondamental, en l'exprimant de façon méthodique et bien déterminée. Ce que la théorie de la connaissance appelle 'l'objet' n'est pas quelque chose de donné en soi, établi une fois pour toutes, mais historiquement conditionné par les systèmes de pensée et par le point de vue que les

[167] Pour une critique de la doctrine de l'*a priori* de Cassirer, voir la troisième partie de l'article de I K. Stephens (1949 : 171-181), qui fait sienne l'affirmation de Reichenbach pour qui l'évolution de la science moderne peut être vue comme un processus de désintégration du synthétique *a priori* kantien.

diverses sciences adoptent à chaque fois. C'est d'abord à une détermination négative d'objectivité physique que l'investigation en théorie de la connaissance arrive, en niant le « réalisme naïf », qui considère la connaissance comme une description de la réalité des choses du monde, donnée par les objets de la perception sensible. Cassirer remarque que l'affirmation d'une certaine conception d'objectivité physique ne peut guère être assurée par les concepts de la physique classique avant même l'établissement de la théorie de la relativité. Ainsi l'objet physique n'est pas l'objet de la perception, mais le résultat d'une construction théorique. Dans ce sens, il affirme :

> Il est clair que des concepts comme ceux de masse et de force, d'atome ou d'éther, de potentiel magnétique ou électrique, même des concepts comme ceux de pression ou de température, ne sont pas de simples concepts de choses, ni des reproductions de contenus concrets donnés dans la perception. Nous avons affaire manifestement non pas à des reproductions de simples choses ou de sensations, mais à des positions ou à des constructions qui sont destinées à transformer ce qui est purement sensible en quelque chose de mesurable et, seulement ainsi, en un « objet physique », c'est-à-dire en un objet *pour* la physique. (Cassirer, 2000 : 36)

Dans cet essai, en harmonie avec *Substance et Fonction,* Cassirer maintient que la théorie de la relativité confirme le programme de l'idéalisme critique selon lequel quel que soit le système de géométrie utilisé par la physique, il n'a pas une réalité substantielle, mais fonctionnelle. Les objets de la connaissance ne sont jamais donnés, mais ils sont déterminés, sélectionnés et jugés selon un point de vue idéal. Les erreurs fréquentes de certaines théories de la science reposent, d'après lui, sur un faux point de départ quand elles prennent comme des substances les concepts de mesure. Un système compréhensible de relations, où les concepts se définissent les uns par rapport aux autres, et non par un système de substances, est supposé comme condition de possibilité de l'unité objective de l'expérience.

En mettant l'accent sur le concept de mesure plutôt que sur le concept de chose, Cassirer, cet héritier de la révolution copernicienne initiée par Kant, veut expliciter le caractère *a priori* de tout un système d'axiomes et d'hypothèses qui doivent bien être présupposés avant l'acte de mesure lui-même. La loi d'inertie, par exemple, Cassirer la

voit, en s'appuyant sur l'interprétation de J. C. Maxwell (1876) dans son traité, *Matter and Motion,* comme une pure définition de mesure. En ce sens, il soutient :

> L'inertie apparaît, non pas comme une propriété absolue inhérente aux choses et aux corps, mais bien au contraire comme le libre établissement d'une unité de mesure déterminée et d'un certain symbole de mesure, en vertu desquels seulement nous pouvons espérer atteindre une conception systématique et unitaire des lois du mouvement. (Cassirer, 2000 : 43)

Ainsi comme tous les concepts physiques, l'espace et le temps ne sont pas des concepts de choses mais de purs concepts de mesure. Il faut les voir comme des formes de mesure d'un ordre supérieur[168].

Une mesure, aussi empirique soit-elle, suppose toujours une dimension idéale. Lorsqu'un physicien enregistre une donnée quelconque au moyen d'un instrument de mesure, il ne s'agit pas tout simplement d'enregistrer la variation de l'aiguille de l'appareil, mais d'établir une valeur pour un « symbole abstrait » comme 'la température' ou 'la pression', par exemple[169]. Ces symboles se trouvent interconnectés par des propositions abstraites de la science physique, et seule la théorie peut à nouveau les mettre en relation avec d'autres faits réellement observés. Le processus de conceptualisation dans les sciences physiques, Cassirer le caractérise comme le passage du concept de chose au concept de relation.

> En ce sens, toute mesure contient un moment purement idéal : ce n'est pas tant à l'aide des instruments de mesure sensibles et réels que nous mesurons les processus naturels, mais c'est bien plutôt avec nos propres pensées. Les instruments de mesure ne sont en quelque sorte que l'incarnation visible de ces pensées, car chacun d'eux renferme en soi-même sa propre *théorie* et ne fournit des résultats corrects et utiles que si cette théorie est posée préalablement comme valide. (Cassirer, 2000 : 44)

Loin de réfuter les fondements de la méthode transcendantale kantienne, les géométries non-euclidiennes et la théorie de la relativité d'Einstein permettent d'élucider encore plus la perspective de la philosophie critique dont les piliers restent

---

[168] Sur le concept d'ordre supérieur : voir Cassirer (1977 : 383).

[169] Cf. Cassirer (1977 : 172).

pour Cassirer intouchables. Il concède qu'on ne peut pas maintenir la présupposition kantienne selon laquelle la géométrie euclidienne serait un *a priori* pour la physique. Pourtant, il considère parfaitement légitime d'affirmer que l'espace euclidien est un *a priori* pour la physique newtonienne aussi bien que l'espace riemannien l'est pour la théorie générale de la relativité.

7.3. Le rôle de la causalité en physique

Si l'essai *Zur Einsteinschen Relativitätstheorie Erkenntnistheoretische Betrachtungen* nous permet de situer le nouveau sens de l'*a priori* dans le cadre du déplacement proposé par Cassirer de la substance à la fonction, c'est dans *Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik* que Cassirer discute la pertinence même des principes kantiens face au développement de la mécanique quantique. L'intention de cet ouvrage était tout simplement de vérifier ses propres thèses épistémologiques qu'il avait systématisées dans son traité de 1910. Néanmoins, Felix Kaufmann (1949: 194) la considère comme l'élaboration la plus accomplie de sa théorie de la science. Dimitry Gawronsky (1949: 29) aussi affirme que « Cassirer lui-même a considéré ce livre comme l'un de ses accomplissements les plus importants»[170].

Ainsi comme un couronnement du processus de développement de sa propre pensée, Cassirer soutient que les points de vue les plus généraux à propos de la mécanique quantique ne diffèrent pas essentiellement de ceux de *Substance et Fonction.* Il croit qu'en raison même de l'état d'avancement où l'investigation en physique moderne est arrivée, les conditions pour justifier et formuler précisément les thèses épistémologiques auparavant soutenues sont encore plus favorables. Cependant, il admet qu'il y a beaucoup de choses de ses premières études qui doivent être modifiées en fonction même des transformations opérées par la nouvelle physique. L'épistémologie, pour lui, ne peut pas être immune aux développements scientifiques et doit toujours être prête à modifier ses propres présuppositions. Il voulait aussi dissiper les malentendus par rapport aux critiques reçues lors de la publication de son essai *Zur*

[170]“ Cassirer himself regarded this book a one of his most important achievements”. (Dimitry Gawronsky, 1949: 29)

Einsteinschen Relativitätstheorie Erkenntnistheoretische Betrachtungen qui lui demandaient une cohérence entre ses conclusions et sa position de néo-kantien.

Un des problèmes qui se présente d'abord, déjà pris en considération par G. Hermann, est celui de l'assimilation de la causalité au déterminisme. Mais pour Cassirer, contrairement à ces auteurs qui dissocient ces deux notions, il n'y a pas de différences entre elles si l'on prend comme définition du déterminisme la doctrine qui soutient l'universalité des relations causales. Ce qui est problématique pour Cassirer est l'identification de toutes sortes de déterminismes à celle de la célèbre formule laplacienne. C'est justement cette formulation qui va jouer un rôle fondamental dans les discussions actuelles de la physique atomique. Cassirer essaiera ainsi de distinguer dans la première partie de son ouvrage les deux types de déterminisme, le déterminisme métaphysique que l'on trouve dans les systèmes du rationalisme classique du dix-septième siècle notamment chez Leibniz, mais qui est aussi présent dans les œuvres de Kepler, Galilée et Descartes, du déterminisme critique que Kant a donné en réponse au scepticisme de Hume. Le déterminisme laplacien n'est qu'un résumé du mathématisme métaphysique de Kepler, Galilée, Descartes et Leibniz, basé sur la plus profonde identité entre la mathématique et la nature.

Dans la transformation méthodologique accomplie par Kant, la question critique cesse d'être adressée aux choses et se dirige vers la connaissance. Ainsi le principe causal ne se rapporte plus aux choses en général mais aux objets de l'expérience possible. Et c'est pourquoi Cassirer affirme que le principe causal est un principe d'objectivation. Ainsi, avant même que Laplace énonce sa célèbre formule, celle-ci avait déjà été niée par l'analyse critique, selon laquelle tout usage hyperphysique du principe causal était déjà condamné. Néanmoins, pour lui, les objections à la formule de Laplace ne s'accordent pas avec celles qui peuvent être adressées au principe de causalité. Ainsi, il faut séparer le sens métaphysique du sens critique attribué à ce principe. Dans ce dernier sens, le principe de causalité contient une affirmation non sur les choses, mais plutôt sur notre expérience ou notre connaissance empirique des objets qui nous sont donnés. Ce qui va intéresser Cassirer c'est justement le problème du principe de causalité dans un sens critique, non métaphysique, face à la théorie quantique.

Cassirer place le principe de causalité au sommet de sa hiérarchie des types d'assertions. A la différence de Carnap qui sépare les assertions de la physique en deux, les assertions théoriques et les assertions observationnelles[171], Cassirer dans la deuxième partie de cette œuvre distingue trois types d'assertions en physique : a) des assertions de résultats de mesure ; b) des assertions de lois et c) des assertions de principes. Le principe de causalité ne peut être identifié comme un quatrième type d'assertion que l'on trouve en physique, mais comme un type hiérarchiquement supérieur qui permet de rassembler les trois autres afin de constituer la physique en tant que système théorique cohérent. Il est donc présent dans chaque étape intermédiaire du processus complexe d'élaboration des théories scientifiques.

Les assertions de résultats de mesure, Cassirer les caractérise comme des assertions de premier niveau puisqu'elles représentent le premier pas vers la transition définitive du monde des données du sens au monde de la physique. Cassirer veut bien distinguer les assertions des résultats de mesure qui appartiennent au processus d'observation expérimental de celles qui sont simplement données par de simples observations, comme résultantes d'une perception immédiate. En fait, pour Cassirer, les assertions de mesure sont le début et la fin de l'investigation scientifique, puisque tous les jugements en physique doivent les prendre comme points de départ mais aussi comme points d'arrivée. C'est par leur médiation que les jugements en physique acquièrent validité et signification objectives. Ce que la physique considère comme 'objet' n'est pas une chose, mais un agrégat de nombres ayant des valeurs caractéristiques, comme les déterminations de la pression, du volume et de la température d'un gaz ou de l'énergie potentielle et cinétique d'un système. Pour ce philosophe néo-kantien, qui n'a pas besoin de supposer l'existence de choses en soi comme fondement de ces déterminations, ce qui caractérise ces assertions par rapport à toutes les autres est la caractéristique d'individualité qu'elles possèdent. Elles se réfèrent toujours à un point définitif dans l'espace et dans le temps.

Les assertions de lois sont des énoncés plus généraux que les assertions de mesure. Ils fournissent l'unité nécessaire aux assertions particulières des résultats de mesure, en établissant l'harmonie entre la multiplicité de données empiriques. Mais

[171] Cf. la section 7.2 de ce travail sur la conception de Carnap à propos de la distinction entre propositions observationelles et propositions théoriques.

pour Cassirer la réponse traditionnelle selon laquelle l'inférence inductive justifie la transition des assertions de premier ordre à celles de deuxième ordre est loin d'être établie. « L'expérience, dit-il, dans sa singularité même, intègre l'universalité de la loi ». Pour lui, le mystère de l 'induction ne commence donc pas au moment où nous appliquons à la totalité des cas une conclusion tirée d'une pluralité d'observations. L'universalité de la loi n'est donc pas le résultat auquel l'on aboutit par induction, mais elle est déjà une condition *a priori* posée avant même que le processus soit accompli. Il rappelle que Galilée a été le premier à affirmer que les lois scientifiques ne sont pas des agrégats de vérités particulières établies au moyen d'un processus inductif d'énumération simple. Sur cette relation entre le fait et la loi, ou entre le particulier et le général, dans les sciences de la nature, Cassirer écrit dans *Substance et Fonction* :

> La loi et le fait cessent d'apparaître comme les deux pôles adverses, et à jamais disjoints, du savoir ; ils composent désormais un système fonctionnel et vivant, puisqu'ils sont moyen et fin l'un pour l'autre. Il n'est pas de loi empirique dont la vocation ne soit de mettre en connexion des groupes donnés comme aussi d'inférer des groupes non donnés ; de même que, en sens inverse, tout « fait » suppose, pour être établi, une loi en forme d'hypothèse et ne reçoit sa détermination qu'en référence à une telle loi. (Cassirer, 1977 : 269)

Si une assertion de loi ne peut être assurée par aucun processus inductif d'énumération d'assertions de résultats de mesure, elle peut pourtant être énoncée de manière constante et nécessaire, avec un nombre quelconque de cas réalisés dans des expériences répétées. C'est donc le principe de causalité dans sa fonction transcendantale qui permet que l'expérimentation ait une puissance démonstrative. Il l'affirme d'ailleurs avec Kant en arrière-plan :

> Toute décision scientifique fondée sur une expérimentation s'appuie sur la présupposition latente selon laquelle la validité reconnue pour l'événement ponctuel s'applique à tous les lieux et à tous les temps, pour autant que les conditions de l'expérience demeurent inchangées. C'est en vertu de ce principe que le fait « subjectif » de la perception sensible peut être traduit dans le fait « objectif » du jugement scientifique. (Cassirer, 1977 : 276)

Pour que les assertions de loi puissent avoir une organisation d'un ordre supérieur en visant l'unité de la connaissance, il faut avancer un peu plus vers les

assertions de principes. A travers elles, les lois peuvent être organisées en un tout auquel l'on donne le nom de connaissance. « La puissance et la valeur de principes physiques consistent dans cette capacité pour la 'synopse', pour une vue globale du domaine de la réalité tout entière »[172]. Si à leur tour, les lois se rapportent à des phénomènes concrets, les principes sont quand même des règles servant à chercher et à trouver les lois. Ils sont, pour Cassirer, comme des cartes d'orientation qu'on utilise pour trouver la bonne direction pour faire avancer la recherche.

De la même façon que les lois ne sont pas une collection de résultats de mesure, les principes ne sont pas une collection de lois. Comme assertions de troisième ordre, les principes supposent une nouvelle forme d'induction qui ne ressemble pas du tout à quelque sorte d'énumération d'assertions de loi. Cassirer fait appel à l'intuition géniale des scientifiques pour justifier les assertions de principe, à l'exemple de Robert Mayer et de Fermat qui ont établi le principe de la conservation d'énergie et le principe d'action minimale, à l'inverse de ce qui est traditionnellement appelé 'méthode scientifique'.

Le principe de causalité doit être compris comme une assertion transcendantale qui porte non pas sur les objets mêmes, mais sur notre connaissance des objets de l'expérience en général. Cette condition transcendantale implique que ce principe ne soit ni une loi de la nature, car la cause et l'effet n'existent pas dans la nature, ni une '*idea innata*' en ce sens qu'on pourrait y croire par sa seule évidence. Sa validité n'est démontrée que pour les choses de l'expérience, ce qui est la condition même du concept d'objectivité chez Kant. Mais au-delà de Kant, Cassirer veut trouver la signification de ce principe au cœur même de la science physique, et non pas d'une façon très générale par rapport aux phénomènes ou aux choses empiriques. Il veut comprendre à l'intérieur même de la physique comment on progresse des assertions sur les résultats de mesure aux assertions de lois et de celles-ci aux assertions de principes. Cependant, il sait déjà que chez Kant cette signification ne concerne pas le contenu de l'expérience, puisque le principe de causalité n'ajoute rien de matériel à celui qui est donné empiriquement, il est un principe purement méthodologique. Cassirer le considère comme une espèce « d'imprimatur épistémologique », qui permet que les données de l'observation soient

[172]« The power and value of physical principles consists in this capacity for « synopsis », for a comprehensive view of whole domain of reality ». (Cassirer, 1956: 52)

traduites en assertions concernant les résultats de mesures et que, à leur tour, ces résultats de mesure soient exprimés en équations et principes dans un processus empiriquement révisable qui, malgré l'universalité de ce principe d'ordre, ne se laisse jamais accomplir. Ainsi, il affirme :

> Pour nous le principe causal appartient à un nouveau type d'énoncé physique, dans la mesure où c'est un énoncé sur les mesures, les lois et les principes. Il dit que tous ceux-ci peuvent être si rapprochés et combinés entre eux que de cette combinaison résulte un système de connaissance physique et non pas un simple agrégat d'observations isolées[173].

7.4. Le tournant helmholtzien vers la causalité comme idéal régulateur

Pour Cassirer, c'est Helmholtz qui a présenté la formulation la plus développée et la plus mûre de la signification du concept de cause dans le contexte de la physique classique, élaborée graduellement au cours de ses recherches expérimentales. Ainsi il affirme :

> C'est encore d'Helmholtz que la référence à Kant reçut sa marque caractéristique. Certes, Helmholtz refusa de suivre Kant sur la question de l'origine des axiomes géométriques, dans sa conception de l'arithmétique et du concept de nombre. Néanmoins la doctrine kantienne des formes de l'intuition données *a priori* lui parut être « une expression précise et très heureuse du rapport entre les choses ». (Cassirer, 1995 : 10)

L'idée fondamentale qu'il présente dans l'introduction de son texte classique de 1847, *Über die Erhaltung der Kraft* est celle selon laquelle les phénomènes naturels sont le résultat de l'activité de causes cachées. Ces causes sont identifiées à des forces répulsives et attractives qui émanent de l'intérieur de la matière, ainsi que Kant l'avait

[173] For us the causal principle belongs to a new type of physical statement, insofar as it is a statement about measurements, laws, and principles. It says that all these can be so related and combined with one another that from this combination there results a system of physical knowledge and not a mere aggregate of isolated observations. (Cassirer, 1956: 60)

proposé dans les *Principes métaphysiques de la science de la nature*[174]. Selon Helmholtz, l'objectif suprême de la science serait de trouver les causes inobservables des événements à partir de leurs effets visibles. Ainsi, la tâche de la physique est de réduire le phénomène naturel à des forces attractives et répulsives dont l'intensité dépend de la distance. Il y a sans doute des auteurs qui interprètent ce texte d'Helmholtz de 1847, *Über die Erhaltung der Kraft,* comme la défense, de sa part, d'une position métaphysique réaliste de la science, minimisant l'influence implicite de Kant[175]. Ce n'est pas tout à fait le cas de l'interprétation de Cassirer, pour qui Helmholtz a été l'un des premiers à proposer le retour à Kant après la domination de l'idéalisme absolu de Hegel et de ses successeurs dans la pensée allemande.

On se permet de reproduire ci-dessous quelques passages de l'introduction du texte de Helmholtz (1869) où il présente sa conception du principe de causalité afin de mieux préciser la position de Cassirer :

> Deux idées peuvent être prises pour points de départ de ces principes : la première, c'est *l'impossibilité* d'accumuler *indéfiniment du travail par les effets d'une combinaison quelconque de corps*. La seconde, c'est la *possibilité de ramener toutes les actions de la nature à des forces attractives et répulsives des points qui agissent les uns sur les autres.*
>
> Ces deux idées sont identiques, comme on le verra au commencement de ce travail. Dans cette introduction nous montrerons leur portée essentielle dans l'œuvre spéciale et finale des sciences physiques. En effet, ces sciences ont pour but de découvrir les lois d 'après lesquelles les faits particuliers de la nature sont liés à des *règles générales* : ces règles étant connues, permettent à leur tour, de déterminer tous les faits particuliers.
>
> Ces règles, telles que la loi de la *Réfraction* ou de la *Réflexion* de la lumière, celles de *Mariotte* et de *Gay-Lussac,* relatives au volume des gaz, etc ., ne sont évidemment que des conceptions générales qui embrassent un ensemble de phénomènes.
>
> La recherche de ces règles appartient à la science expérimentale, tandis que la science théorique étudie les causes inconnues à l'aide des actions sensibles, et cherche à les saisir suivant la loi de causalité. Ces études sont justifiées et

[174] Sur l'influence de la métaphysique de la nature de Kant sur Helmholtz, cf. Peter Heimann (1974).

> imposées par cet axiome : *Tout changement dans la nature est dû à une cause suffisante.*
> Les causes les plus prochaines que nous attribuons aux phénomènes de la nature, peuvent être *invariables* ou *variables.* Si elles sont variables, le même axiome nous conduit à chercher de nouveau les causes de cette variation, et ainsi de suite, jusqu'à ce que nous arrivions à une dernière cause agissant suivant une loi fixe, c'est-à-dire, produisant à chaque instant et dans les mêmes circonstances, le même effet.
> *Le but final des sciences théoriques est donc de trouver les causes constantes des phénomènes.* Il ne s'agit pas ici de décider si réellement tous les faits peuvent se ramener à de telles causes ; c'est-à-dire, si la nature est toujours intelligible, ou bien si elle présente des variations qui, se dérobant à la loi d'une causalité nécessaire, appartiennent au domaine de la spontanéité, de la liberté. Mais, on peut affirmer, la science qui a pour but de concevoir la nature, *doit admettre la possibilité de cette conception ;* et elle doit, en suite de son hypothèse, poursuivre son œuvre, ne fût-ce que pour acquérir la certitude irrécusable que nos connaissances sont limitées. (p.57- 59)
>
> (…) *les phénomènes de la nature se réduisent à des mouvements de la matière causés par des forces motrices constantes, qui ne dépendent que de rapports de positions dans l'Espace.* (p.61)
> (…) Enfin le problème des sciences physiques consiste à ramener *tous les phénomènes naturels à des forces invariables, attractives et répulsives, dont l'intensité dépend de la distance des centres d'action.*
> La possibilité de comprendre parfaitement la nature est subordonnée à la solution de ce problème. (p. 62)

Ce qui nous intéresse dans cette introduction pour clarifier la position de Cassirer, c'est la distinction faite par Helmholtz entre les règles générales découvertes par la science expérimentale, telles que les lois de réfraction et réflexion ou les lois de Boyle, Mariotte et Gay-Lussac, et les lois de la science théorique. Celles-ci cherchent au début les causes variables pour arriver à la fin aux causes invariables qui expliquent

---

[175] Cf., par exemple, Michael Heidelberger (1993).

toutes sortes de variation. En arrière-plan de cette recherche se trouve le principe de causalité, c'est-à-dire, le principe selon lequel les mêmes circonstances produisent les mêmes effets. Celui-ci est, pour Helmholtz, la garantie même de l'intelligibilité de la nature. Au sens de la philosophie transcendantale de Kant la condition de possibilité de l'explication scientifique exige que la nature soit considérée comme structurée en accord avec les lois causales. On peut mettre en correspondance biunivoque la classification des lois de Helmholtz (les lois empiriques, les lois théoriques et la loi causale) avec celle proposé par Cassirer (les assertions de loi, les assertions de principes et le principe général de causalité). Mais, dans ce texte de 1847, très engagé sur la métaphysique de la science de la nature de Kant, Helmholtz donne une définition plus stricte du principe de causalité, en le rattachant au programme de réduction de tout phénomène à des forces centrales d'attraction et répulsion.

Néanmoins dans cette introduction figure déjà l'idée transcendantale du principe de causalité, que l'on trouve dans d'autres textes postérieurs, selon laquelle la causalité nécessaire n'appartient pas à la nature, mais bien au contraire, si la science a pour but de concevoir la nature, elle doit prendre ce principe comme une condition de possibilité d'intelligibilité de la nature. L'admission de cette condition est aussi la constatation de la limitation de notre connaissance. Helmholtz dira aussi dans le volume trois de son *Handbuch der Physiologischen Optik* (§26), que notre intelligence ne peut « comprendre le monde que comme une connexion causale ». Et si par hasard nous trouvons des difficultés insurmontables dans l'application de la loi causale, il ne s'agit pas du tout que cette loi soit fausse, mais, selon Helmoholtz « nous ne connaissons pas encore complètement l'assemblage des causes qui agissent de concert dans le phénomène qui nous occupe » (Helmholtz, 1989b : 592-593).

Dans le *Traité d'Optique* Helmholtz argumente en faveur du caractère *a priori* de la loi de causalité contre l'opinion selon laquelle la loi causale serait acquise par induction, défendue par exemple par Stuart Mill. Ainsi, il affirme :

> Nous sommes donc amenés à considérer la loi de causalité, au moyen de laquelle nous concluons de l'effet à la cause, comme une loi de notre pensée, préalable à toute expérience. En général, nous ne pouvons obtenir aucun résultat d'expérience, relativement aux objets naturels, sans que la loi de causalité

> agisse déjà en nous ; elle ne peut donc pas être un résultat des expériences que nous faisons sur ces objets.
> (…) Enfin la loi causale présente le caractère d'une loi purement logique, en ce que les conséquences qu'on en déduit ne se rapportent pas à l'expérience elle-même, mais à la manière de la comprendre, motif pour lequel il est impossible qu'elle soit jamais réfutée par l'expérience[176]. (Helmoltz, 1989b : 591-592)

A la fin du paragraphe 17 du même traité, Helmholtz (1989a : 282) arrive même à dire que « la loi des énergies spécifiques de Müller, fut, pour toute la théorie des perceptions des sens, un progrès de la plus grande importance ; elle en est devenue, depuis, le fondement scientifique, et elle est, dans un certain sens, l'application empirique de l'exposé théorique de Kant sur la nature de la perceptivité[177] humaine ».

Par rapport à cette référence, Cassirer exprime l'idée selon laquelle « Helmholtz a donné au concept de théorie de la connaissance un nouveau contenu et une nouvelle direction, sans jamais être conscient du changement de signification qu'avait subi dans sa conception le concept kantien fondamental de *transcendantal ».* (Cassirer, 1995 : 11) Ce nouveau contenu et cette nouvelle direction s'expriment chez Helmholtz d'une part par le refus de la spéculation métaphysique qui animait les systèmes de la philosophie postkantienne et d'autre part par l'apport scientifique donné à la théorie de la connaissance en reprenant la perspective critique de Kant et en l'enrichissant par la recherche empirique du champ de la physiologie. Avec Helmholtz, Cassirer montre que

---

[176] Cf. Helmholtz, *Über das Sehen des Menschen*, 1856.

[177] Le terme original en allemand traduit par 'perceptivité' est *Erkenntnisvermögen* (Cf. Handbuch der Physiologischen Optik, 3te Aufl. II Band, Hamburg / Leipeig : Verlag von Leopold Voss, 1911, p. 19). Bien que la traduction française de Javal et Klein aie été approuvée par Helmholtz (Cf. Helmholtz, 1989 : III) qui témoigne dans la Préface de son exactitude, la traduction de *Erkenntnisvermögen* est plutôt 'faculté de connaître' (Cf. R. Eisler, Kant-Lexikon, p. 387) ou 'pouvoir de connaître' (Cf. Kant, 1995 : 92 et Kant, 1997 : 220) qui a un sens dans la doctrine kantienne tout à fait différent de l'expression 'perceptivité'. La traduction anglaise de ce même vocable dans l'édition de Southall a opté pour 'reason': « In a certain sense, it is the empirical fulfillment of Kant's theoretical concept of the nature of human reason ». (Helmholtz's Treatise on Physiological Optics, Volume II, edited by James P. C. Southall, New York, The Optical Society of America, 1924, p. 20.) Cependant, Kant distingue la faculté de connaître (Erkenntnisvermögen) entre la faculté inférieure de connaître ou faculté sensible de connaître (la sensibilité (*Sinnlichkeit*), comprenant les sens et l'imagination) et la faculté supérieure de connaître ou faculté intellectuelle de connaître, qui consiste en l'entendement (*Verstand*), la faculté de juger (*Urtheilskraft*) et la raison (*Vernunft*). (Cf. Kant, *Anthropologie in pragmatischer Hinsicht*, AK VII, § 7, p. 140-141 et §40, p. 196, 197 ; *Kritik der reinen Vernunft*, AK III, 130 (B 169) et AK IV, 95 (A 130) et aussi *Erste Einleitung in die Kritik der Urteilskraft*, AK XX, 201). Ainsi, dans la syntaxe kantienne, le terme français 'perceptivité' aussi bien que le terme anglais 'reason' sont peu adéquats pour traduire *Erkenntnisvermögen.*

le pas vers la naturalisation de la théorie de la connaissance n'implique pas l'abandon du point de vue transcendantal. Au-delà d'un traitement purement logique, le problème de la connaissance est abordé sous une double perspective : philosophique, par le biais de la philosophie transcendantale, et scientifique, sous l'angle de la théorie cognitive de la perception. Fullinwider (1990) partage la position de Cassirer selon laquelle Helmholtz même en se considérant comme kantien pendant toute sa vie, a transformé complètement l'épistémologie kantienne.

Avec un peu plus de liberté, dans sa conférence de 1878, « *Die Tatsachen in der Wahrnehmung* », Helmholtz donne une définition un peu plus générale du concept de cause. Dans cette définition le concept de cause ne se confond pas avec celui de l'usage commun qui le voit confusément comme un antécédent à l'effet actuellement donné. Pour lui, la cause a un sens précis de loi, celle qui ordonne les phénomènes. Chercher la cause consiste à parvenir à un ordre chaque fois plus général et logiquement compréhensif. Dans ce sens, la loi causale est un principe *a priori*, une loi transcendantale, dès lors qu'on ne peut pas la prouver à partir de l'expérience. Elle est la condition de la possibilité de la constitution des faits de la perception.

Pour Cassirer, la loi causale telle que la définit Helmholtz est un principe régulateur de notre pensée et comme tel il n'a rien à voir avec la formulation laplacéenne qui identifie cette loi au concept de prédiction complète. La maxime pragmatique selon laquelle « *savoir* est *prévoir* », adoptée par le positivisme moderne, est complètement éloignée des considérations développées par Helmholtz. L'identité 'causalité/prédiction' qui va être mise en échec par la physique quantique ne se défend même pas dans le domaine de la physique classique, comme Planck (1936) a essayé de le montrer dans son article « *Die Kausalität in der Natur* ». Pour Cassirer, Helmholtz a bien révélé dans le domaine strict de la physique classique, que l'on n'a pas besoin du critère de prédiction pour définir la loi causale. Pour ce néo-kantien, qui, selon M. Friedman (2000 :117), a remplacé les principes constitutifs de Kant par des principes purement régulateurs, on peut éviter le dilemme posé par la physique contemporaine si l'on restreint la formulation de la loi causale à une proposition concernant des cognitions à condition de la considérer comme une proposition relative à des choses et à des événements. Ainsi Cassirer est tout à fait d'accord avec Grete Hermann lorsqu'elle distingue la loi causale de son critère d'application. Pourtant, ce qu'il regrette dans

l'analyse hermannienne est justement le fait de ne pas avoir maintenu cette distinction dans le contexte de la physique classique.

7.5. Causalité empirique et causalité transcendantale : vers une interprétation plus holiste de Kant

P. M. Heimann (1974) suggère que cette définition plus générale du principe de causalité, qu'on trouve chez Helmholtz et soutenue aussi par Cassirer, est plus proche de celle que Gerd Buchdahl[178] appelle, dans son interprétation de Kant, '*lawlikeness*' [Gesetzmässigkeit = conformité à la loi]. Il s'agit d'une suggestion tout à fait intéressante qui attire notre attention sur les différents types de causalité en jeu dans la doctrine kantienne, et explicités par l'interprétation de Buchdahl, en nous aidant à mieux comprendre les racines du point de vue de Cassirer. En effet, la distinction proposé par Buchdahl entre causalité empirique et causalité de la raison présuppose une compréhension plus holiste de la théorie de l'expérience de Kant où le principe de causalité doit être analysé non seulement par rapport à l'Analytique transcendantale mais surtout par rapport à la Dialectique transcendantale et à la troisième *Critique*.

Gerd Buchdahl essaie ainsi de comprendre le concept de causalité au cœur de la dynamique kantienne de la raison et pour y arriver c'est le système transcendantal dans son entièreté qu'il va saisir. Dans cette perspective, les différentes étapes de définition du transcendantal sont dynamiquement enchaînées : le concept causal est fondé sur la conception de l'objectivité ; qui, à son tour se rapporte à la conception de la nature comme sujet de lois empiriques ; les lois empiriques sont en relation les unes avec les autres comme membres d'un système théorique, doté d'une unité systématique. Cette unité qui n'est rien de plus qu'un postulat de la raison est prise comme si elle reflétait une unité de la nature.

Ainsi, de ce mouvement dynamique qui va du fait empirique aux lois scientifiques et de celles-ci à la théorie émerge ce que Kant appelle 'l'ordre de la nature'. Cet ordre se manifeste comme un système de lois empiriques particulières,

[178] Cf. Buchdahl (1992: 203-212), la différence entre causalité empirique et causalité transcendantale.

comme par exemple le système de classification botanique ou n'importe quelle théorie physique unifiée. Ces lois possèdent pour Kant à la fois un caractère nécessaire, parce que dans le cas contraire elles ne constitueraient pas un ordre de la nature, et contingent, car elles sont établies sur des bases empiriques. Il faut bien retenir avec Buchdahl que l'ordre de la nature n'est pas donné, mais généré par l'emploi scientifique théorique de maximes de haut niveau, comme par exemple les maximes de continuité, d'économie et de simplicité, et par des concepts théoriques. Ainsi selon Buchdahl la légalité nécessaire est définie par le système théorique, qui résulte de l'emploi hypothétique de la raison dans sa fonction régulatrice, qui « projette » l'unité du système au monde.

Toutes les lois empiriques sont des règles purement contingentes. Le caractère nécessaire vient du processus de systématisation où des lois putatives sont additionnées, guidées par des maximes méthodologiques, comme par exemple 'la nature prend le chemin le plus court'. Le caractère nécessaire des lois est introduit en vertu de l'activité régulatrice de la raison. La notion de '*lawlikeness'* implique donc que la nature, pour qu'elle devienne un objet de la connaissance scientifique, doit être considérée comme structurée systématiquement de façon causale. La nécessité des lois empiriques qu'on trouve dans les théories scientifiques constituées en tant que systèmes est une conséquence de la fonction régulatrice des jugements réfléchissants ou, autrement dit, de la raison dans son emploi hypothétique.

Gerd Buchdahl soutient que l'accent donné à l'idée de connexion nécessaire seulement dans le cadre de la deuxième analogie a obscurci deux aspects tout à fait fondamentaux de la dynamique de la connaissance. Ces deux aspects sont les idées de légalité (*lawlikeness*) et de dimension systématique (s*ystemicity*), nécessaires pour construire le concept d'ordre de la nature. Selon lui les deux notions ne sont définies qu'au travers de la raison. En revanche l'entendement n'assure plus que la possibilité de jugements contingents sur les matières de fait. C'est la raison qui accomplit le processus de traiter les théories de la science comme un système cohérent de lois empiriques.

Ainsi l'approche de la philosophie de la science de Kant est bien plus générale que celle formulée dans l'Analytique des Principes de la *Critique de la raison pure*. L'analytique prétend établir plus qu'une notion d'une nature objective en général, envisagée comme une série d'événements et de choses contingentes et singulières, une notion qui suppose certains concepts catégoriels, spécialement les catégories de relation,

incluant celle de la causalité qui a un caractère de conformité à la loi (*lawlilke*). Ce qui n'est pas déterminé dans l'Analytique est de savoir si la nature est elle aussi conforme à la loi (*lawlike*) et si, par exemple, la nature est newtonienne ou déterministe ou soumise à des lois mécaniques. Cela concerne la question de savoir si la nature peut être représentée au travers d'un système de lois empiriques. Il faut ainsi distinguer l'*expérience* de *l'expérience systématique*, qui suppose une autre dichotomie entre 'le divers de la perception' et le 'divers des lois empiriques'. Pour Buchdahl (1992: 225), il y a chez Kant une distinction précise entre 'empirical lawlikeness' et 'transcendental lawlikeness' [*Gesetzmässigkeit*].

Buchdahl se réfère à une certaine fluidité des termes kantiens qui ont des significations différentes concernant les deux champs d'application tout à fait distincts : l'entendement et la raison. Le tableau ci-dessous met en évidence les changements de signification des termes kantiens si on les considère sous des perspectives différentes, soit du point de vue de l'entendement, soit du point de vue de la raison.

Termes	**Entendement**	**Raison**
Expérience	*Expérience* d'un état d'affaire singulier.	*Expérience* systématique, dénotée par le corpus théorique de la connaissance.
Unité du divers	Le *divers de l'intuition* en tant qu'unité d'une expérience singulière.	*Le divers des lois empiriques* en tant qu'unité dans une théorie générale.
Nature	*Nature* en tant qu'un simple agrégat de choses et d'états.	L'ordre de la nature se rapporte à l'idée d'harmonie de la nature.
Conformité à la loi	La notion d'objet est soumise aux principes de l'entendement.	Les processus naturels sont gouvernés par des *lawlikeness*, dans le sens d'être sujets de lois empiriques.

Ainsi, Buchdahl nous invite à considérer la *Critique de la raison pure* dans son mouvement dynamique par rapport au système critique tout entier où à chaque moment les concepts sont nouvellement redéfinis. Si l'on s'arrête à un niveau déterminé on prend le risque d'interpréter à tort les notions kantiennes. Ainsi, au niveau de l'entendement, les catégories sont valides seulement si elles sont appliquées dans le contexte du divers sensoriel. Kant appelle cela « emploi constitutif ». La notion d'objet n'existe que dans ce contexte; c'est uniquement ainsi que l'entendement peut créer son objet. Le phénomène ne peut pas devenir un objet si l'on ne considère que le divers de

la sensation donnée *a posteriori* et le cadre spatio-temporel. Il faut ajouter l'élément conceptuel pour que l'objet puisse être constitué. Sans cet élément conceptuel l'expérience n'est pas possible. Ce que Kant appelle objet est un produit de « l'unité transcendantale de la synthèse de l'aperception ».

Du point de vue de la raison la situation est différente. Le divers de l'intuition a déjà acquis une signification constitutive par l'emploi de l'entendement. En allant un peu plus loin, la raison est employée dans la création des théories scientifiques. L'unité que les théories semblent refléter n'est pas donnée mais seulement projetée. Kant accentue cela en disant que la raison est employée, non pas de manière constitutive, mais régulatrice. La raison ne crée aucun 'objet' ; elle postule seulement des unités théoriques. Cette procédure est plus unilatérale que dans le cas de l'entendement, où les catégories et le divers sensoriel s'aident mutuellement: l'expérience valide les catégories et de leur côté les catégories rendent l'expérience possible. Dans le cas de la raison, son autonomie est préservée à tout prix. Cela résulte d'une tension dans la pensée de Kant. D'un côté la raison doit agir de façon autonome, de l'autre, elle doit éviter des abus arbitraires en restreignant son activité à la fondation constitutive de l'entendement. Sur le rôle de la raison par rapport à l'entendement Kant précise :

> La raison ne se rapporte jamais directement à un objet, mais simplement à l'entendement et, par l'intermédiaire de l'entendement, à son propre usage empirique.(…) La raison n'a donc proprement pour objet que l'entendement et son emploi conforme à une fin; et, de même que celui-ci relie par des concepts le divers dans l'objet, celle-là de son côté relie par des idées le divers des concepts, en fixant une certaine unité collective pour but aux actes de l'entendement, qui sans cela se borneraient à l'unité distributive. (Kant, 1980d: 1247-8 ; A 643-4 /B671-2 ; Ak III, 427)

Sur la fonction régulatrice de la raison Kant soutient :

> L'usage hypothétique de la raison (…) n'est proprement pas *constitutif*. (…) L'usage hypothétique de la raison tend donc vers l'unité systématique des connaissances de l'entendement, et cette unité est la *pierre de touche de la vérité* des règles. Réciproquement l'unité systématique (comme simple Idée) n'est qu'une unité *projetée*, que l'on ne doit pas considérer comme donnée, mais seulement comme problème, et qui sert alors à trouver un principe au

> divers et à l'usage particulier de l'entendement, et par là à diriger cet usage vers les cas qui ne sont pas donnés, et ainsi à le rendre suivi. (Kant, 1980: 1250 ; A647/B675, Ak III 429)

L'idée de fond est que les preuves des catégories sont trop étroites pour suffire à un fondement de la science empirique. On doit aller un peu plus loin vers une synthèse qui ne peut s'accomplir que par l'activité de la raison. Sa tâche est purement régulatrice, mais pas du tout méprisable. C'est elle qui fournit un ensemble de principes ou maximes (non seulement le principe causal, mais aussi le principe de systématisation, de simplicité d'économie, etc.) qui, introduits dans la logique de la situation, produisent l'unité théorique, dont émerge la notion d'un ordre de la nature. Pour arriver à un système de lois empiriques, on ne peut pas faire l'économie de ces maximes régulatrices, de nature téléologique. Kant en cite quelques-unes, dans les introductions de la troisième *Critique*: *« La nature prend la voie la plus courte » ; « Elle ne fait rien en vain » ; « Elle ne fait pas de saut dans la diversité des formes (continuum formarum) » ; « Elle est riche en espèces, et en même temps économe quant aux genres »* (Kant, 1985c : 863 ; Ak XX , 210), ou encore le fameux « rasoir d'Ockham » : « *Sa grande diversité dans les lois empiriques est cependant une unité sous peu de principes* (*principia praeter necessitatem non sunt multiplicanda) »* (Kant, 1985d : 937 ; Ak V, 182).

Dans l' 'Appendice à la Dialectique Transcendantale' de la *Critique de la raison pure*, Kant évoque également les maximes d'homogénéité, de spécification et de continuité des formes. Ces principes ne sont, selon Kant, ni faux ni vrais, ils ne sont pas descriptifs mais prescriptibles. Ce sont des principes que la raison projette sur la nature selon son propre intérêt. Si l'on ne considère pas la perspective critique, on donne à ces principes une valeur ontologique réelle et on tombe sur des apories irrésolues. L'emploi hypothétique de la raison n'est donc pas constitutif mais régulateur. Selon ses propres mots : « Tous les principes subjectifs qui ne sont pas dérivés de la nature de l'objet, mais de l'intérêt de la raison par rapport à une certaine perfection possible de la connaissance de cet objet, je les appelle *maximes* de la raison» (Kant, 1980d : 1264 ; A666/B694 ; Ak III, 440). Dans la critique de la faculté de juger il précise encore que ces principes « ne disent pas ce qui arrive, c'est-à-dire selon quelles règles nos facultés de connaître mènent effectivement leur jeu et comment on juge, mais comment on doit

juger ; et alors cette nécessité logique objective n'apparaît pas si les principes sont simplement empiriques ». (Kant, 1985d : 937 ; Ak V, 182).

Le concept de causalité ou *lawlikeness* apparaît ainsi dans deux contextes différents : le contexte de l'entendement et le contexte de la raison. Buchdahl distingue dans la dynamique kantienne deux types de causalité : la causalité empirique et la causalité de la raison. La première est celle couramment identifiée à la deuxième analogie de l'expérience. Elle est, comme nous le savons, un principe constitutif de l'entendement, qui porte la marque de nécessité à une expérience constituée d'événements contingents. La deuxième est un principe régulateur de la raison qui prescrit comme tâche à l'entendement la recherche des causes cachées, de manière à unifier les lois empiriques dans un système cohérent. Ainsi il affirme :

> Nous pouvons ainsi dire que la conception de nécessité conforme à la loi est à cette mesure définie par le caractère du système théorique, lui-même résultant de ' l'emploi hypothétique de raison ', dans sa fonction 'régulatrice', qui ne peut plus que 'projeter' 'l'unité' correspondante dans le monde[179].

Mais quelle est la relation entre la causalité de la raison et les lois causales empiriques? On n'arrive pas à trouver une réponse simple et univoque. Elle se cache dans les différentes étapes des écrits de Kant. Ainsi dans le texte de la deuxième analogie, Kant affirme :

> C'est donc toujours eu égard à une règle, d'après laquelle les phénomènes sont déterminés dans leur succession, c'est-à-dire comme ils arrivent, par l'état antérieur, que je rends objective ma synthèse subjective (de l'appréhension), et c'est uniquement sous cette supposition seule qu'est possible l'expérience même de quelque chose qui arrive. (Kant, 1980d: 930; A195-B240; Ak III, 171)

Buchdalh met l'accent sur le fait que déjà dans la définition de la deuxième analogie c'est le caractère de conformité à la loi que Kant utilise pour définir la causalité. Celle-ci ne concerne qu'une succession déterminée dans le temps « en accord

---

[179] We may thus say that the conception of lawlike necessity is to this extent defined by the character of the theoretical system, itself the resultant of 'the hypothetical employment of reason', in its 'regulative' function, which can do no more than 'project' the corresponding 'unity' into the world. (Buchdahl, 1992:195)

avec une règle ». A la différence de celle cité ci-dessus, on trouve dans la 'Première Introduction à la Critique de la Faculté de Juger' la définition de cause suivante :

> Ainsi la solution du problème de la mécanique : pour une force donnée qui doit faire équilibre à un poids donné, trouver le rapport des bras de levier respectifs, se voit sans doute exprimer comme une formule pratique, mais elle ne contient rien d'autre que la proposition théorique que dit que la longueur des derniers est en raison inverse des premiers (des poids) quand ils sont en équilibre. Simplement, ce rapport est représenté, quant à sa production, comme possible par une cause dont le fondement de détermination est la *représentation* de ce rapport (notre arbitre). (Kant, 1985c: 848-9; Ak XX : 196)

Buchdahl analyse l'exemple de la loi de Boyle où on est devant le cas d'une loi de la nature qui n'est pas actuellement causale, bien que son application soit formulée de façon causale. Ainsi, si j'applique une augmentation de pression à un gaz, elle sera accompagnée d'une diminution de volume. Dire que cela est une relation causale dans le sens kantien c'est dire que les changements de pression et de volume se produisent en accord avec une règle universelle. Dans ce cas, en supposant la température constante, cette règle est donnée par l'expression mathématique : pv = constante. Pour Buchdalh, cela est un exemple d'une instance de règle déterministe. Néanmoins les cas de lois statistiques sont parfaitement consistants avec cette définition de causalité.

La réponse donnée par Buchdalh à la question du rapport entre les deux types de causalité propose de considérer le principe de la raison en tant que condition de l'activité interminable de la recherche scientifique qui pousse vers la recherche de lois causales empiriques. Ce qui semble un peu paradoxal. Le principe de causalité est aini requis pour chercher les lois causales. Pour Buchdahl, sans la causalité de la raison, nous n'aurions pas un langage selon lequel nous chercherions les lois. Pour faire de la science, il faut rechercher les causes des effets naturels. En vertu du principe de causalité les phénomènes déjà constitués par l'entendement sont mis en relation pour établir le concept de nature. Par nature Kant (1985a : 65- 67, ; Ak IV 294-5) entend « *la somme de tous les objets de l'expérience »* (*Prol*., §16), « déterminée suivant des lois universelles »(*Prol*., §14); parmi lesquelles on trouve, par exemple, le principe de causalité (*Prol*., §15).

En effet, il est tout à fait défendable que Kant n'ait jamais douté que l'expérience inclut la référence tant à un processus inductif qu'à une méthode d'hypothèses. La raison employée hypothétiquement, introduit un grand nombre de conceptions théoriques, simplificatrices et supplémentaires, telles que 'terre pure', 'eau pure' ou 'air pur', qui ne peuvent jamais être prises dans un sens constitutif ontologique, sinon les apories seraient inévitables. Son sens régulateur est inévitablement attaché à l'idée de système, comme Kant le précise dans le paragraphe cité ci-dessous :

> Si nous jetons un coup d'œil sur tout l'ensemble de nos connaissances d'entendement, nous trouvons que ce qui est à la disposition propre de la raison et qu'elle cherche à y réaliser, c'est le *systématique* de la connaissance, c'est-à-dire sa liaison tirée d'un principe. (…) Ces sortes de concepts rationnels ne sont pas tirés de la nature, nous interrogeons plutôt la nature d'après ces idées et nous tenons notre connaissance pour défectueuse, tant qu'elle ne leur est pas adéquate. On avoue qu'il se trouve difficilement de la *terre pure*, de l'*eau pure*, de l'*air pur*, etc. ; pourtant on a besoin des concepts de ces choses (lesquels par conséquent, en ce qui concerne la pureté parfaite, n'ont leur origine que dans la raison), afin de déterminer exactement la part qui revient à chacune de ces causes naturelles dans les phénomènes. (…) cependant une telle influence de la raison sur les divisions des physiciens est très facile à apercevoir. (Kant, 1980d: 1249; A645-6/B673-4; Ak III, 429).

Sans cette caractéristique de la raison 'd'anticipation créative de la nature', une dérivation des lois empiriques ne serait pas possible. Ainsi, ce rôle de la raison, qui n'est pas constitutif, a une fonction régulatrice nécessaire dans la construction des lois scientifiques.

> En effet la loi de la raison qui veut qu'on la cherche est nécessaire, puisque sans cette loi nous n'aurions plus de raison, sans raison plus d'usage suivi de l'entendement, sans cet usage plus de marque suffisante de la vérité empirique, et que par conséquent nous devons, en vue de celle-ci, présupposer l'unité systématique de la nature comme ayant une valeur objective et comme nécessaire. (Kant, 1980d: 1253; A651/B679; Ak III, 432)

Pour obtenir l'explication systématique de la nature, Buchdahl considère que, selon Kant, la raison fait usage alternativement soit de la maxime déterministe soit de la

maxime téléologique. Si l'interprétation de Buchdahl est correcte, on a une théorie de la science plus générale et fructueuse que celle habituellement attribuée à Kant. « L'attitude de Kant vis-à-vis de la science est plutôt plus proche et, en effet, plus en accord avec nos propres attitudes actuelles qu'on ne pourrait s'y attendre »[180]. La notion de cause, comme *lawlikeness,* devient une maxime régulatrice que la raison projette sur la nature de manière à ce qu'elle puisse être structurée selon une unité systématique. Cette procédure de conformation de l'activité de la physique à des lois n'a été niée, selon lui, par aucun des révolutionnaires de la nouvelle physique. La fonction des principes régulateurs ne peut pas être autre chose que poser la recherche de conditions comme une tâche, qui n'est jamais accomplie et qui ne peut jamais être donnée. Les maximes régulatrices sont ainsi des principes méthodologiques purement subjectifs.

7.6. Causalité transcendantale et mécanique quantique

C'est sur cet arrière-plan du tournant helmholtzien que se trouve, à notre avis, la clé de l'interprétation de Cassirer. Pour soutenir la pertinence du principe de causalité dans le domaine de la mécanique quantique il faut une conception plus élargie de ce principe comme une maxime régulatrice, telle que nous la propose Buchdahl. La question de sa validité ou de sa vacuité lorsqu'on passe de la physique classique à la physique quantique dépend pour Cassirer du sens que l'on attribue à la loi causale. Sa formulation plus courante, comme G. Hermann l'avait déjà souligné, est donnée par la formule de Laplace. Cassirer partage avec Hermann l'avis que les objections à la formule laplacienne ne s'adressent pas au principe transcendantal de causalité. Pour que les deux formulations ne soient pas mélangées, Cassirer propose de séparer le sens métaphysique du sens critique qui peuvent être attribués à ce principe. A la différence de la formulation laplacienne, la formulation critique du principe de causalité contient une affirmation non sur les choses, mais sur notre expérience ou notre connaissance

[180] « Kant's attitude to science is rather more sanguine, and indeed more in accord with our own present-day attitudes than might have been expected » (Buchdahl, 1992: 215)

empirique des objets qui nous sont donnés. Ce qui va intéresser Cassirer c'est justement la formulation critique du principe de causalité face à la théorie quantique.

Ainsi Cassirer considère que le concept critique de cause, comme *lawlikeness*, c'est-à-dire, comme une procédure de conformation de l'activité de la physique à des lois événementielles, n'a été niée par aucun des révolutionnaires de la nouvelle physique. Il s'appuie sur Bohr pour reconnaître que, en mécanique quantique, cette procédure causale est indispensable pour toutes les interprétations de résultats de mesure. Cassirer se réfère à l'illusion pointée par Bohr de penser que les concepts de la physique classique pourraient être dispensés de la description de l'activité expérimentale en physique quantique. Il souligne aussi que même pas Bohr n'a nié le principe de causalité. Comme nous l'avons vu précédemment, l'objection de Bohr à la doctrine kantienne concerne l'identification de la description causale avec celle spatio-temporelle, possible auparavant dans le cadre des théories classiques. Dans le cadre de la théorie quantique, ces deux descriptions doivent être prises comme complémentaires, et ne pourront jamais être contenues en un seul point de vue.

> En accord avec la nature de la théorie quantique nous devons être satisfaits de concevoir la représentation spatio-temporelle et la demande de causalité comme des caractéristiques complémentaires mais mutuellement exclusives de la description de l'expérience, en symbolisant l'idéalisation des possibilités respectivement d'observation et de définition [181].

Cassirer propose de voir également le principe kantien de causalité dans un sens complémentaire dont la justification peut être soit nécessaire soit accidentelle. En tant que nécessaire elle précède tout jugement empirique comme un jugement synthétique *a priori.* En tant qu'accidentelle la justification ce principe se rapport à une expérience qui n'est donnée que de façon factuelle[182].

En dépit de la déclaration catégorique de Heisenberg selon laquelle ses relations d'incertitude ont invalidé le principe de causalité, Cassirer est convaincu que cette dure

---

[181] In consonance with the nature of quantum theory we must be satisfied with conceiving the space-time representation and the demand of causality as complementary but mutually exclusive features of the description of experience, symbolizing the idealization of the possibilities of observation and of definition respectively. (Cassirer, 1956 : 115)

[182] Cf. Cassirer, 1956 : 102-3.

dénégation n'atteint qu'une certaine formulation stricte du principe de causalité. L'interprétation même que Heisenberg a donnée aux principes physiques de la théorie quantique montre que la formulation plus universelle de ce principe n'a pas été touchée. (Cf. Heisenberg, 1932 : 51-53). Même selon l'interprétation statistique de Born et Jordan qui insistent sur le caractère indéterministe de la théorie quantique, le principe de causalité se montre vide, puisqu'on ne réussit pas à en déterminer exactement les conditions initiales, néanmoins il n'a pas été déclaré comme faux[183].

Cassirer nous rappelle qu'au dix-neuvième siècle les représentants les plus significatifs de la pensée énergétique ont tenté de fondre les concepts d'énergie et de causalité, en prétendant montrer que la loi causale a sa représentation actuelle et adéquate dans la loi de conservation de l'énergie. Pour sa part Cassirer argumente que si d'un côté on peut contester l'identification tout court de la première loi de la thermodynamique avec le principe de causalité, d'un autre côté il est indéniable pour lui que la loi causale constitue un facteur essentiel et intrinsèque du principe de conservation de l'énergie. Dans le contexte de la mécanique quantique, ce principe a été maintenu sans aucun changement. Il appartient, comme le principe de conservation de la quantité de mouvement, à la classe des invariants qui ne dépendent pas de la description physique adoptée. Ces deux principes sont acceptés par exemple comme postulats dans la théorie de l'effet photoélectrique et de l'effet Compton. Même en considérant qu'on ne peut pas associer à l'état d'un système quantique une valeur définitive pour l'énergie, la validité statistique du principe a toujours été conservée.

Cassirer attire notre attention sur l'usage non critique du terme 'indéterminisme'. De même que la pensée critique de Kant a montré que la science n'a rien à dire sur les choses en soi, la critique de la raison quantique, telle que prétend la faire Cassirer, impose une indétermination complète par rapport aux objets pris comme des choses individuelles. Cependant, il a bien remarqué que la théorie quantique donne une détermination exacte par rapport à l'ensemble statistique. Elle n'a rien à dire, par exemple, sur le destin d'un atome individuel et l'instant précis de sa décomposition. Par contre, la théorie montre qu'une loi exponentielle bien déterminée gouvernant les désintégrations existe, bien qu'il s'agisse d'une loi probabiliste. Le manque de précision

[183] Cf. M. Born, 1927: 240.

peut être attribué seulement si l'on admet que les énoncés statistiques sont des énoncés « inexacts ». Mais il faut toujours prendre en compte que cette inexactitude concerne une particule prise individuellement et ne touche pas la détermination des lois. Il n'y a pour Cassirer dans le cas de l'atome radioactif aucune raison de renoncer au principe de causalité, car en théorie ce principe n'a rien à voir avec le sort d'une chose individuelle, mais tout simplement avec les lois. Dans ce sens, dans la terminologie de la science physique, la nature est une agrégation non pas de choses individuelles, mais effectivement une agrégation de relations et de lois. Bien que l'indéterminisme ne soit bien appliqué que pour les événements individuels, ce label est fréquemment étendu aux lois qui gouvernent un événement. On ne peut donc pas confondre un indéterminisme relatif aux événements matériels avec un indéterminisme relatif à la forme de la connaissance scientifique ou à la structure même de ses lois. La détermination logique des lois de la physique quantique impose que les événements soient représentés non pas par les lois dynamiques du type classique, mais seulement par les lois statistiques.

Dans la hiérarchie des énoncés scientifiques, les énoncés statistiques doivent être alors considérés comme des énoncés basiques, autrement dit, non-dérivés, valides également pour décrire un événement atomique. Ils se présentent comme appartenant à une classe fondamentale d'énoncés physiques à côté de ceux relatifs à des lois dynamiques classiques, qui continuent d'avoir une validité restreinte. Il n'y a pas d'opposition entre les énonces statistiques et les énoncés dynamiques classiques car, comme Bohr et Heisenberg ont montré, les concepts classiques sont nécessaires même en mécanique quantique surtout dans la détermination des résultats de mesure. Dans le formalisme proposé par Heisenberg à chaque quantité de la mécanique classique, est attribué une matrice correspondante qui se combine en accord avec des lois de la même manière que les quantités classiques sont combinées par les équations du mouvement. En procédant de cette manière les lois à la base de la physique classique sont alors démontrées par le formalisme de la mécanique quantique, particulièrement la conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement.

L'idéal régulateur de recherche par des invariants n'a pas été abandonné dans la nouvelle physique. On ne peut pas oublier que l'invariance de certaines quantités fondamentales est présupposée dans toutes les descriptions théoriques des événements physiques. Ainsi un système définitif de constantes universelles telles la vitesse de la

lumière, la masse et la charge de l'électron, la masse du proton, etc, a été établi. Dans la théorie quantique spécialement, la validité universelle de la constante de Planck est présupposée dans toute considération théorique et expérimentale et curieusement vérifiée par n'importe quelle méthode. Sur ce point , Cassirer affirme :

> Le quantum élémentaire d'action se montre comme s'il était une armature fixe, dans laquelle toutes les assertions de la théorie quantique sont rangées ; et la sécurité et la fermeté de cette armature toutes seules doivent être suffisantes pour protéger l'indéterminisme de la théorie contre celles interprétations spéculatives auxquelles elle a été exposée dans la transition de la physique aux conclusions générales concernant le *Weltanschauung* de l'homme. [184]

Pour Cassirer les relations d'incertitude ne peuvent être comprises que sur l'arrière-plan du « déterminisme théorique quantique », c'est-à-dire, sur la présupposition qu'une structure théorique fermée est donnée et acceptée comme universellement valide. Dans cette perspective, il n'abandonne pas l'idéal régulateur selon lequel la science doit être formulée en termes de lois de la nature. En fait, il présente de nouvelles directions pour que ces lois soient formulées conformément aux conditions de notre connaissance empirique. La première condition transcendantale extraite de ces relations est celle concernant le caractère relatif des énoncés physiques et que l'on peut exprimer de la manière suivante : *l'état de l'objet observé s'énonce toujours en relation aux moyens d'observation employés*. Cette première condition en implique une deuxième, à savoir : *étant donnée la dépendance de l'état du système aux appareillages de mesure, aucune affirmation qui outrepasse une certaine précision ne peut être énoncée*. Ces circonstances dérivées par Heisenberg imposent des limites non seulement aux techniques expérimentales mais surtout à la formulation même des concepts physiques. La nouvelle situation présentée par la mécanique quantique impose une limitation de l'usage des concepts plus radicale que celle proposée par Kant dans l'exercice de sa méthode transcendantale. Pour parler de la position d'une particule,

---

[184] "The elementary quantum of action constitutes, as it were, the fixed frame, into which all statements of quantum theory are fitted; and the security and firmness of this frame alone ought to be sufficient to protect the indeterminism of the theory against those speculative interpretations to which it was exposed in the transition from physics to general conclusions concerning man's *Weltanschauung*." (Cassirer, 1956 :121-2)

comme un électron, par exemple, il faut désormais indiquer la situation expérimentale à partir de laquelle on peut la déterminer.

Cassirer considère que Heisenberg a mal situé le problème de la validité de la loi causale quand il affirme que la mécanique quantique a établi définitivement sa nullité. Pour lui il s'agit d'une déclaration trompeuse dont l'origine de l'erreur réside dans la formulation de la loi causale que Heisenberg a prise comme point de départ de son argument, en croyant qu'elle était la définition la plus précise, à savoir : « si l'on a la connaissance exacte du présent, on peut déterminer le futur ». Comme les relations d'incertitude empêchent la connaissance exacte du présent, Heisenberg conclut que la loi causale ne serait plus valable dans le domaine de la mécanique quantique. Le problème pour Cassirer c'est que Heisenberg s'appuie sur la formulation laplacienne de la loi causale. En dépit de ses défauts théoriques graves, elle est la formulation la plus limitée et inexacte de la causalité. En revanche si l'on prend la formulation qu'Helmholtz a donnée, comme comprenant l'exigence de conformité à la loi (*lawlikeness*), les relations d'incertitude se conforment tout à fait à ce principe. Cassirer prend l'exemple typique de la dérivation des relations d'incertitude, celui de l'effet Compton. La base de son explication suppose la connexion entre le postulat quantique et les principes de conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement, ceux-ci considérés comme les expressions les plus pures et les plus typiques du principe de causalité. Ainsi, Cassirer affirme:

> De cette intercommunication il est absolument clair que les relations d'incertitude n'ont en aucun cas démoli le pont entre la théorie quantique et la physique classique, ou entre celle-là et le principe causal. Ainsi elles peuvent corriger la formulation du principe causal mais elles ne peuvent pas simplement nier ou renverser son contenu[185].

La question pertinente pour Cassirer est celle de savoir en quoi consistent les modifications ou même les corrections que les relations d'incertitude ont introduites dans la formulation du principe de causalité. Pour lui, si l'on considère d'un côté la

---

[185] From this interconnection it is absolutely clear that the uncertainty relations have by no means demolished the bridge between quantum theory and classical physics, or between the former and the causal principle. Thus they may correct the formulation of the causal principle but they not cannot simply deny or overthrow its content. (Cassirer, 1956: 124)

signification des relations d'incertitude et de l'autre la forme logique de la loi causale (« *si x, donc y* »), la réponse à cette question apparaît tout à fait évidente. Il argumente que depuis Aristote on sait que si un raisonnement faux ou une incertitude est introduite dans le terme *x*, la forme logique reste intouchable et parfaitement valide. Le problème que la mécanique quantique soulève ne concerne pas la relation causale elle-même, mais les valeurs que le terme *x* de la relation peuvent prendre afin qu'elle ait un sens non ambigu. Selon la théorie quantique ces valeurs sont limitées par les conditions du processus de la mesure. Pour soutenir sa position, Cassirer fait ressortir une formulation du principe de causalité donnée par Kant dans l'introduction de la dialectique transcendantale, à savoir : « Que tout ce qui arrive a une cause, on ne peut nullement le conclure du concept de ce qui arrive en général, c'est bien plutôt ce principe qui nous montre comment nous pouvons tout d'abord avoir de ce qui arrive un concept d'expérience déterminé » (Kant, 1980d : 1018 ; A301/B 357 ; AK III, 239). Dans cette formulation qu'il considère comme la plus précise et la plus satisfaisante, le principe causal ne représente rien du tout, il présente seulement une direction pour la détermination des concepts empiriques. Dans cette perspective on doit comprendre que les relations d'incertitude expriment plutôt une clarification du principe causal que sa propre abolition[186]. En fait elles ajoutent quelque chose de nouveau à la formulation kantienne. Maintenant nous sommes plus conscients des limites imposées à notre observation et à la détermination empirique des concepts par les conditions de l'expérience elle-même et de la façon dont le principe causal doit être appliqué sous ces conditions. Ainsi s'exprime Cassirer :

> Dans ce sens Heisenberg a établi une loi causale de mécanique quantique qui déclare que si dans un moment donné certaines quantités physiques sont mesurées aussi exactement que possible, dans un autre moment suivant il y a des quantités dont la valeur peut être précisément calculée, ou autrement dit pour lesquelles les résultats de mesure peuvent être précisément prévus[187].

---

[186] Cf. Heisenberg (1932:45).

[187] In this sense Heisenberg established a causal law of quantum mechanics which states that if at any one time certain physical quantities are measured as accurately as in principle possible, there exist quantities at any other time whose value can be precisely calculated, or in other words for which the results of measurement can be precisely predicted. (Cassirer, 1956:128)

Néanmoins, cette façon de voir les relations d'incertitude dans le cadre du concept causal nous renvoie non pas vers la solution du problème, mais à son origine. La question la plus difficile à traiter est celle de savoir comment on peut passer des assertions de résultats de mesure à celles des lois étant donné que les premières sont soumises à une incertitude fondamentale. La liaison jusqu'ici considérée comme possible et apparemment sans difficultés entre les deux types d'assertions pose des problèmes justement dans la ligne qui sépare l'instrument de mesure de l'objet d'observation. Les processus de chaque côté de la ligne sont bien déterminés soit par les lois de la physique classique, du côté de l'appareillage, soit par les équations différentielles de la mécanique quantique, du côté de l'objet. Pourtant, dans la ligne même, une perturbation incontrôlée arrive, ce qui a amené Heisenberg à renoncer définitivement à l'idée d'occurrences objectives dans l'espace et le temps indépendamment de toute observation. Ces difficultés posées par Heisenberg ont suscité un débat jusqu'à aujourd'hui sans fin autour du problème de la mesure en mécanique quantique. En philosophie ces mêmes difficultés sont au cœur d'un problème très ancien, celui de la séparation sujet/objet. Pour Cassirer on assiste à un mélange original de problèmes provenant de sources apparemment indépendantes : la physique et la philosophie. Maintenant les tâches concrètes de la physique ne peuvent pas se faire sans considérations épistémologiques. Ainsi l'examen de l'influence de la mécanique quantique dans le développement du problème philosophique sujet/objet est une mission que ni les scientifiques ni les philosophes ne peuvent négliger.

En tant que philosophe, et dans le cadre de son ouvrage *Substance et Fonction,* Cassirer croit que le problème présenté par Heisenberg peut être maîtrisé si l'on met à la place du concept de substance, qui fournit la base d'une certaine interprétation essentialiste de la mécanique classique, celui de fonction. Il veut ainsi étendre son analyse critique auparavant limitée au contexte de la physique classique à la situation nouvelle de la mécanique quantique, où le concept d'objet physique doit être reformulé. Pour Cassirer les relations d'incertitude sont particulièrement importantes dans ce processus de réexamen. Une caractéristique qui résulte de ce processus est celle d'inversion de la relation entre l'objet et la loi. Désormais, dans une conception fonctionnelle, le concept de loi doit être envisagé comme antérieur au concept d'objet. Dans la vision substantialiste, des entités définitivement déterminées, dotées d'attributs

bien définis, interagissaient les unes avec les autres selon des relations définitives exprimées par des lois naturelles. Ainsi, avant les lois, il y avait les objets, substratum matériel des lois du mouvement. En revanche, dans la vision fonctionnelle, ces entités ne sont plus le point de départ. Cassirer leur laisse quand même une place : celle de but final de la démarche scientifique. Dans sa perspective, on arrive à l'objectivité ou à la réalité objective si et seulement si cette objectivité est en conformité avec la loi, et non le contraire. Ce qui constitue le contenu de notre connaissance objective est celui que nous pouvons représenter par des lois. L'extension de ces lois marque la limite de notre connaissance objective. Il s'ensuit qu'on ne peut parler d'entités physiques que sous les conditions de notre cognition physique. Ces entités ont non seulement perdu leur fixation absolue mais dans le processus de la connaissance physique elles ne peuvent jamais être vraiment atteintes, devant être considérées comme cas limites. Ainsi il déclare : « Nous ne lisons pas simplement des lois des objets - nous condensons dans des lois et ainsi dans des déclarations objectives, les données empiriques disponibles par l'observation et la mesure. En dehors de cette réalité, il n'existe pour nous aucune autre réalité objective pouvant être examinée ou recherchée »[188].

Pour Cassirer la mécanique quantique ne fait que confirmer de façon encore plus étrange et radicale ce passage de la substance à la fonction, dont l'analyse avait déjà été réalisée pour la physique classique dans son ouvrage de 1910. Ainsi la nouvelle théorie rejette toute supposition d'attributs substantiels dans le processus d'objectivation des phénomènes microphysiques. A l'opposé, dans son ancienne version, la théorie atomique était le prototype même du substantialisme : les atomes étaient conçus comme les constituants primaires des choses, les plus petites briques de la nature. Néanmoins, pour expliquer la stabilité de l'atome, Bohr s'est vu obligé de renoncer au concept de chose en faveur d'une structure conceptuelle relationnelle et systémique plus complexe. Alors, c'est en ayant recours à un principe, le postulat quantique, qu'il rend possible la solution du problème. Il considère en plus que le passage de l'ancienne physique à la nouvelle physique peut être caractérisé comme un passage d'une physique d'images à une physique de principes, comme il le souligne dans l'extrait suivant :

---

[188] « We do not simply read off the laws from the objects – we condense into laws, and thus into objective statements, the empirical data available through observation and measurement. Apart from this reality there exists for us no other objective reality to be investigated or sought after ». (Cassirer, 1956 : 132)

> La physique la plus ancienne était en grand partie une physique de l'image, au sens où elle tenait à présenter la nature de chaque objet et de chaque événement étudié en un modèle mécanique adéquat. Les traits caractéristiques de ce modèle passaient pour une reproduction des déterminations et des propriétés de l'objet. La physique moderne a de plus en plus renoncé à cette manière de procéder : de physique des images, elle est devenue une physique des principes. Les phases du développement de la physique du XIXe siècle sont déterminées par la découverte et la formulation de plus en plus précise de ces principes, tels le principe de Carnot, le principe de conservation de l'énergie, celui de l'effet minimum, etc. (….) Les principes (…) sont moins des assertions sur les faits empiriques que des maximes grâce auxquelles nous interprétons ces faits, afin de les ordonner en une unité complète et close. (Cassirer, 1995, p. 140-1)

Ainsi, Cassirer précise que la notion de point physique matériel aussi bien que celle de point mathématique sont des constructions intellectuelles et implicitement définies en termes d'un système formel de relations. L'idée d'une localisation absolue, sur la base du principe transcendantal de substance, n'a pas de sens. Le concept de relation et a fortiori le concept de loi s'imposent sur le concept de chose et de substance.

> [les formes fonctionnelles] elles-mêmes instituent un système fortement articulé de conditions, et c'est seulement par leur relation à ce système que l'ensemble des assertions portant sur l'objet tout comme sur le moi, sur les domaines respectifs de l'objectif et du subjectif, reçoivent un sens intelligible. Il n'y a pas d'objectivité en dehors du cadre défini par le nombre et la grandeur, la permanence et le changement, la causalité et l'action réciproque ; autant de déterminations qui ne sont que les invariants ultimes de l'expérience elle-même et, par suite, de toute réalité constatable dans et par l'expérience. (Cassirer, 1977 : 349-50)

Cassirer s'appuie sur Duhem et Hertz pour affirmer le caractère essentiellement symbolique des concepts physiques. «Il est impossible de rapprocher un symbole *unique* d'une chose *unique* et de décliner leurs similitudes ; ce qui est exigé, c'est simplement que l'*ordre* des symboles soit constitué de manière à exprimer l'ordre des phénomènes » (1995 : 145). Par la notion de forme symbolique, dans le contexte de la physique mathématique, Cassirer voulait exprimer le détachement du concept par rapport à l'intuition sensible et par conséquent à toute forme de représentation spatio-

temporelle. Dans le dernier chapitre du volume dédié à la phénoménologie de la connaissance de sa *Philosophie des formes symboliques* il prend justement la théorie quantique comme exemple le plus spectaculaire d'une connaissance qui a rompu radicalement avec la phase symbolique de la représentation intuitive. Dans cet ouvrage, publié en 1929, Cassirer évoque très précocement l'espace abstrait d'Hilbert, l'espace qui n'a rien à voir avec l'espace tridimensionnel de la représentation ordinaire, comme la base qui permet la construction des concepts de la théorie des quanta. Cela a des implications profondes dans la méthode transcendantale, surtout dans la doctrine de l'Esthétique transcendantale, qui considère l'intuition spatio-temporelle comme une des conditions transcendantales qui permet la construction de la connaissance de la physique mathématique.

Si la nouvelle physique abandonne définitivement le domaine de la figuration, elle conduit nécessairement à rejeter aussi le noyau de la méthode transcendantale, à savoir, la doctrine du schématisme. A sa place un symbolisme purement abstrait de principes est proposé :

> « Le schématisme des images a cédé la place au symbolisme des principes. (…) Mais désormais la physique ne traite plus directement de l'existant comme réalité matérielle et étudie son « agencement », sa constitution formelle. La tendance à l'unification a remporté la victoire sur la tendance à la traduction intuitive : la synthèse guidée par les purs concepts de lois s'est révélée supérieure à la composition en concepts de choses » (Cassirer, 1972b : 515)

Ainsi pour Cassirer, ce que la mécanique quantique a mis en échec est plutôt le côté sensible que le côté conceptuel de la méthode kantienne. Le problème se pose donc au niveau de l'intuition et de l'esthétique transcendantale et non pas au niveau des principes de l'entendement pur. Dans cette perspective, le principe de causalité reste parfaitement valable en mécanique quantique, comme il a essayé de le montrer dans le *Determininismus und Indeterminimus,* car il s'agit d'un principe qui ne concerne que la forme de notre connaissance, sans porter sur aucun contenu matériel de la réalité physique. Le principe de causalité traduit en effet l'exigence *a priori* pour la constitution des phénomènes d'une régularité conforme à la loi et cette exigence de régularité n'a jamais été niée ni même par la mécanique quantique, malgré l'affirmation contraire soutenue par les physiciens de la théorie quantique, comme Heisenberg. Le

problème est que les interprètes de la mécanique quantique pour nier le principe de causalité, confondent en fait causalité et déterminisme. Ainsi nous pouvons maintenir une conception de causalité plus élargie indépendamment de son rapport avec le principe de continuité, telle que Kant l'avait énoncé :

> Nous avons besoin du principe de causalité des phénomènes entre eux pour pouvoir chercher et fournir aux événements naturels des conditions naturelles, c'est-à-dire des causes dans le phénomène. Si cela est accordé et n'est affaibli par aucune exception, l'entendement, qui dans son usage empirique, ne voit rien que nature en tous les événements, et qui en a aussi parfaitement le droit, a tout ce qu'il peut exiger, et les explications physiques poursuivent leur cours sans obstacle. (Kant, 1980d: 1176; A545/B573; Ak III, 370)

Pour Cassirer, sans cette notion de causalité, qui impose *a priori* l'exigence de régularité et la recherche sans fin des explications pour les phénomènes, aucune connaissance n'est possible. Néanmoins, derrière cette conception du principe de causalité en tant qu'une explication des effets à partir des « causes cachées » des phénomènes, qui, selon Cassirer, remonte à Helmholtz, il y a une conception sur le statut des théories scientifiques. Cette conception suppose que le but d'une théorie scientifique est de donner une explication des phénomènes qui se présentent. Néanmoins M. Bitbol dans le premier chapitre dédié à la controverse entre expliquer, décrire et prédire dans son livre *MQ une introduction philosophique*, considère que c'est justement cette compréhension de ce qu'est une théorie scientifique qui a été mise en cause par la mécanique quantique. Nous reviendrons sur ce point dans le dernier chapitre lorsque nous essayerons d'analyser l'approche pragmatico-transcendantale proposée par Michel Bitbol.

Chapitre 8

C. F. von Weizsäcker :

relativisation de l'*a priori* et unité de la nature

8.1. Introduction

Dans quel sens peut-on accorder les conditions transcendantales aux contraintes historiques de la science? En allant un peu plus loin dans la démarche proposée par Cassirer, Carl Friedrich von Weizsäcker nous propose une approche qui cherche à concilier les conditions historiques de la physique, c'est-à-dire le fait que les lois de la nature ne puissent avoir aucun caractère définitif, étant toujours dépendantes des contextes, et les pré-conditions *a priori* de l'expérience qui limitent toutes les démarches scientifiques. Ainsi sa philosophie prétend être à la fois transcendantale et historique. Dans un effort d'harmoniser sans contradiction ces deux perspectives, Von Weizsäcker fait un usage terminologique très personnel des termes kantiens tels que *a priori* et *a posteriori*, analytique et synthétique ou transcendantal, en s'appropriant ces termes pour leur donner une signification non orthodoxe mais originale. Il est à la fois conscient et critique de la limitation de la doctrine de Kant en ce qui concerne les conditions préalables de l'expérience, surtout par rapport à leur caractère fixe et définitif qui ne peut plus se maintenir face aux révolutions scientifiques qui ont eu lieu au 20ème siècle, particulièrement celles relatives à la Relativité Spéciale et Générale et à la Théorie Quantique. Mais, comme Cassirer, il considère aussi que Kant, mieux que nos contemporains, avait compris profondément le problème de la philosophie de la science. La force du kantisme réside selon lui justement dans la considération des conditions *a priori* de l'expérience, par contre sa faiblesse majeure consiste à n'avoir pas envisagé leur vraie nature historique.

Particulièrement dans les textes « Rapport entre la mécanique quantique et la philosophie de Kant » et « The preconditions of experience and the unity of physics », Von Weizsäcker (1956 et 1979) s'interroge sur la signification de la théorie quantique

en posant la question « comment est-elle possible ? ». Etant donné le fait de la théorie quantique, Von Weizsäcker se pose la même question transcendantale que Kant s'est posée par rapport à la théorie newtonienne. Même si chez Von Weizsäcker on trouve des réponses tout à fait différentes de Kant, le type d'argument évoqué dans sa justification peut être classé parmi ceux nommés comme transcendantaux. Selon la définition propre de Von Weizsäcker, un argument transcendantal est un argument qui prend en considération le contenu positif de la connaissance actuelle et se demande comment l'expérience décrite par ce contenu est possible. Dans cette perspective on n'a pas besoin d'une ontologie qui assure la validité des arguments, comme le suppose la stratégie réaliste. Il n'y a pas non plus de nécessité à affirmer que la connaissance pourrait être complètement différente de l'actuelle en faisant des suppositions sur les modes qu'elle pourrait prendre dans d'autres contextes ou dans d'autres mondes possibles. Le fait est que cette connaissance actuelle, historiquement conditionnée, est l'unique qui nous est donnée. La situation pour lui est analogue à la façon dont la physique moderne définit ses concepts. Par exemple, le concept de matière : le physicien ne peut pas le définir d'une manière différente de celle qui obéit aux lois de la physique. Il n'y a aucune nécessité de supposer l'existence quelconque d'une autre matière dans l'univers ayant des propriétés essentielles complètement différentes de celles révélées par la connaissance actuelle. De la même manière Von Weizsäcker prend la théorie quantique à son niveau historique actuel comme un fait scientifique, particulièrement la théorie quantique telle qu'elle est conçue par l'interprétation de Copenhague qu'il a aidé à consolider, en cherchant à comprendre ses conditions transcendantales.

Bien que dans les deux textes que nous avons pris en considération, écrits dans un intervalle de plus de 35 ans, il développe cette sorte d'épistémologie transcendantale historique, nous pouvons noter un changement de position sur ce qu'il considère comme des conditions préalables ou *a priori* de l'expérience. Dans le premier texte, « Rapport entre la mécanique quantique et la philosophie de Kant », il est plus proche de l'interprétation de Bohr qui fait de la physique classique une condition absolument nécessaire sans laquelle on ne peut exprimer les expériences de la mécanique quantique. Les lois et les concepts classiques se présentent comme des conditions *a priori* de la connaissance du monde microphysique. Dans le deuxième texte, « The preconditions of

experience and the unity of physics », il lance une hypothèse plus ambitieuse en établissant un principe substantiel unificateur tant des différentes parties de la physique que des différents champs des sciences naturelles, notamment de la chimie et de la biologie. Sa démarche est donc plus radicale dans le sens non pas de restreindre l'application des principes transcendantaux à un domaine étroit de la science, mais plutôt de fonder une universalité plus générale capable d'englober toute la connaissance de la nature. Il donne aux lois fondamentales de la mécanique quantique un statut de principes synthétiques *a priori* qui sont des conditions préalables à toute expérience possible objectivante[189]. On va examiner dans le détail ses deux manières de considérer les conditions *a priori*.

8.2. La critique de l'*a priori* absolu

Tout d'abord il faut remarquer la position critique de Von Weizsäcker par rapport à une interprétation également transcendantale mais plus orthodoxe de la science contemporaine. Il ne va pas partager avec les partisans d'un kantisme plus fermé, la croyance en une valeur absolue des jugements *a priori.* Selon cette interprétation, que l'on trouve chez des auteurs comme Körner[190] et Collingwood[191],

---

[189] Cf. Von Weizsäcker (1979: 139).

[190] Köner prend les principes de l'entendement pur, démontrés par Kant dans de la *Critique de la raison pure,* comme des présuppositions de la physique newtonienne de son époque, qui doivent être remplacés par d'autres principes : "Kant has, I believe, demonstrated that the second analogy makes objective perceptual judgements about the sequence of appearances possible. He has, however, not shown that it is the only means of doing so. To see this we only need to note his assumption that an objective sequence of appearances is the same for every observer, and consequently that appearances which are simultaneous for one observer are also simultaneous for one observer are also simultaneous for every one other observer. In modern relativity-physics this assumption has been dropped. This physical theory does not presuppose the second analogy although it does contain objective perceptual judgements. In it the second analogy is meaningless or, at least, ambiguous. Still further, the notion of time which is used in modern physics is incompatible not only with the second analogy (and the third) but also with the transcendental Aesthetic. The metaphysical presuppositions of Newton are not always also those of relativity-physics, and in so far as the Critique of Pure Reason shares the former presuppositions it stands in need of a thorough-going reconstruction. Its doctrine of space and time as a priori particulars and forms of perception might need replacing by a new notion of space-time; and its three analogies by a different set. Whitehead's Concept of Nature and other works of his could be regarded, I think, as attempts in this direction. Any philosophical physicist undertaking this task could learn a good deal not only from Kant's general approach, but also from the results of his examination of the science of his day." (S. Krörner, 1955: 87).

Kant a déjà fait beaucoup en nous présentant les présuppositions de la physique newtonienne. La *Critique de la raison pure* devrait servir de modèle à tous ceux qui souhaitent entreprendre la même tâche soit pour la physique quantique soit pour la théorie de la relativité. Une fois fixé leur domaine d'extension au contexte classique, les lois *a priori* de l'entendement pur, tel que Kant les avait établies, ne cessent pas de présenter un caractère absolu dans leurs limites étroites.

Cependant pour Von Weizsäcker, cette solution ne semble tout de même pas satisfaisante. Le problème de la validation des principes kantiens n'est pas un cas de changement de principes comme si leur champ d'application était restreint à la physique classique ou newtonienne. Pour lui, la mécanique quantique n'a renoncé ni à la perception intuitive ni au principe de causalité dans la description de la nature physique. D'une manière différente de G. Hermann (1996), il est convaincu que le principe *a priori* de la causalité de même que les intuitions *a priori* de la géométrie euclidienne de l'espace et du temps, sont valables également pour la mécanique quantique. Il y a aussi un domaine de la perception sensible dans l'expérience quantique qu'il faut d'abord préciser. Weizsäcker analyse donc le sens du perceptible en physique classique pour savoir s'il s'applique aussi à la mécanique quantique.

Selon lui la physique classique est une connaissance perceptible dans la mesure où tous ses phénomènes sont décrits « comme l'état de corps qui se trouvent dans l'espace euclidien à trois dimensions et comme la modification de ces états dans un temps objectif et à une dimension » (Von Weizsacker, 1956 : 115). Mais cela ne veut pas dire que la physique classique ne se limite qu'à la perception des phénomènes. Si, d'un côté, elle traite des choses qu'on peut voir, toucher, écouter, et qui sont susceptibles d'être mesurées, comme la lumière, le son, la chaleur, d'un autre côté elle les ramène à un niveau non perceptible dont on ne peut démontrer les relations qu'indirectement. Ce même argument du caractère perceptible de la physique classique est aussi, selon lui, valable pour la mécanique quantique. Dans la mesure où ces phénomènes sont sujets à l'expérimentation, la mécanique quantique, affirme Weizsäcker, « est une description de la nature tout à fait perceptible intuitivement ». Et,

---

[191] Cf. R. G. Collingwood (1940: 260): "In Kantian language, quantum theory commits us just as definitely as classical physics to anticipating perception ; the only difference is that it anticipates perception on a different principle".

en tant que connaissance expérimentale de la nature, elle ne peut pas renoncer au principe de causalité, puisque le processus expérimental est tout à fait lié à l'applicabilité de ce principe aux instruments de mesure. Quelle que soit l'observation, elle suppose d'un côté une chaîne causale et d'un autre une représentation sensible, celle-ci modelée par les intuitions *a priori* de l'espace et du temps. Le principe de causalité cesse d'être valable justement quand un appareil cesse d'être apte à mesurer, c'est-à-dire « là où l'incertitude de la mécanique quantique rend statistique l'induction du processus observé au processus à examiner » (Von Weizsacker, 1956 : 123).

Ainsi, l'interprétation des conditions *a priori* kantiennes comme des conditions absolues dont le domaine d'application ne reste valable que pour la physique classique, lui semble à la fois trop timide et trop hardie. Timide parce qu'elle n'ose pas étendre le domaine de validité du principe de causalité et de la géométrie euclidienne au-delà de la physique classique. Hardie parce qu'elle espère trouver de nouveaux principes *a priori* constitutifs non seulement de la mécanique quantique, mais de toute science future. Le problème pour Weizsäcker est qu'il n'y a plus de sens à parler d'universels transcendantaux absolus, comme l'a proposé Kant. Il remarque que seul « le développement futur de la science pourra décider de façon concluante de cette dernière question. Mais le seul échec de la prédiction de Kant nous permet de douter que ses critères soient suffisants pour rechercher des connaissances *a priori* dans le sens absolu du mot » (Von Weizsacker, 1956 : 157-158).

8.3. L'*a priori* relationnel

Si on ne peut plus parler de conditions *a priori* dans un sens absolu, quel est le sens de l'*a priori* relatif défendu par Weizsäcker ? Pour lui, on peut maintenir les raisonnements de Kant jusqu'à un certain point. Il maintient, comme Kant, que c'est au moyen de l'expérience que nous acquérons toute connaissance des choses du monde extérieur. A cause de ceci, toute la physique qu'elle soit classique ou quantique doit supposer comme une de ses conditions de possibilité le donné qui se présente dans une intuition sensible. Et, pour qu'on puisse obtenir une conclusion non ambiguë de l'expérience, elle doit être dans un rapport causal. Comment savons-nous ceci ? Il n'y a

pas d'autre manière : « nous savons ceci *a priori*, c'est-à-dire indépendamment de l'acte d'expérience isolée » (Von Weizsacker, 1956 : 152). Mais perceptibilité et causalité ont un sens précis seulement dans le système de la physique classique. Pour la mécanique quantique qui a besoin de la physique classique pour formaliser dans un langage non ambigu toutes ses expériences, c'est le système de la physique classique qui se présente de facto *a priori.* La situation est tout à fait paradoxale parce qu'on sait que l'atome lui-même est inobservable, qu'il n'est pas donné directement à l'expérience des sens, mais en même temps on sait qu'on ne peut apprendre quelque chose de l'atome en fin de compte que par la perception du sens, l'organe par excellence de la physique classique. Moins naïvement que Kant, Weizsäcker soutient que cette condition est une condition de fait, non de droit, c'est-à-dire qu'elle n'est pas une condition normative. Dans ce sens, nous n'avons pas le droit de dire que « toute expérience *doit être* décrite classiquement ». Ce qui nous est permis d'inférer est que « chaque expérience réelle qui nous est connue, *est* décrite classiquement ; et nous ne savons pas comment nous pourrions le faire autrement » (Von Weizsacker, 1956 : 161). Ceci change tout par rapport au statut de l'*a priori*. Nous savons que la physique classique est une condition *a priori* de possibilité exigée par une situation scientifique concrète, dans notre cas, il suffit de savoir qu'elle est *a priori* valable pour la mécanique quantique. Nous ne réussirons jamais à prouver que cette condition est *a priori* valable pour chaque connaissance possible dans l'avenir. L'*a priori* devient ainsi un concept relationnel, bien distinct de la conception originale de Kant.

Devant un concept tellement affaibli, la question qui se pose est celle de savoir si ce n'est alors pas plus convenable de remplacer le concept d'*a priori* par un autre plus exactement adapté à la nouvelle situation, imprévisible pour Kant. Pourquoi maintenir l'*a priori* pour la mécanique quantique même dans un sens relatif ou local ? Pour Weizsäcker, le système achevé de la mécanique quantique donne la preuve de la physique classique comme une condition *a priori* de possibilité des expériences de la mécanique quantique et ceci est valable indépendamment de chacune des expériences considérées. Cette preuve lui suffit à démontrer l'attribut transcendantal, c'est-à-dire non empirique, de la physique classique par rapport à la mécanique quantique, même en tenant compte de l'absence d'une limite rigide entre les concepts d'*a priori* et d'empirique. Cela veut dire qu'une même connaissance peut être *a priori* par rapport à

une deuxième et empirique par rapport à une troisième. Pour un physicien déjà habitué à la notion de complémentarité ou pour un philosophe qui sait que chaque mot ne désigne pas exactement une chose donnée, ce caractère flottant d'*a priori* ne pose aucune difficulté.

Mais le problème est de savoir si l'on peut accepter comme suffisante cette démonstration transcendantale du statut *a priori* de la physique classique. Weizsäcker lui même reconnaît l'existence de deux méthodes de démonstration de l'*a priori ;* l'une psychologique et l'autre transcendantale, bien qu'il n'ait pas considéré cette distinction dans sa procédure de démonstration. Il affirme que Kant lui-même avait mal séparé une démonstration de l'autre. La méthode psychologique « montre seulement que nous avons inévitablement une certaine représentation qui est peut-être à la source de certaines autres représentations ». Par contre, la méthode transcendantale « part de connaissances finies et avouées, et examine sur le plan logique ses hypothèses nécessaires » (Von Weizsacker, 1956 : 158). Seule la deuxième méthode est considérée comme une vraie démonstration puisque l'existence psychologique d'une représentation ne prouve pas sa nécessité.

Dans un sens plus analytique Peter Strawson (1966: 18), par exemple, définit l'*investigation transcendantale* comme celle qui a comme objet la structure conceptuelle qui est présupposée dans *toute* investigation empirique. Si l'on peut justifier avec de bonnes raisons l'élimination du mot *toute* de la définition de Strowson, la démonstration de Weizsäcker peut rentrer dans la classe des démonstrations dites transcendantales. Dans son article, '*Transcendental Proofs in Kant's Critique*', Manfred Baum (1979) remarque que le problème concernant le caractère transcendantal des démonstrations dans la *Critique de la raison pure* n'est pas de savoir si la méthode de Kant est transcendantale mais si elle est analytique ou synthétique. Que la méthode développée par Kant dans la première critique soit analytique est quelque chose avec laquelle tant Köner que Strawson sont d'accord. Mais, contre eux, Baum défend que dans la *Critique* la méthode est synthétique. C'est là un problème auquel Weizsäcker n'accorde pas la moindre attention. Ainsi étant donné que l'usage qu'il a fait de l'*a priori* est peu rigoureux, sa méthode pour le démontrer possède cette même caractéristique.

Weizsäcker soutient encore l'inversion quant au caractère fondamental de la connaissance *a priori* par rapport à la connaissance *a posteriori*. Même en considérant que la physique classique est l'*a priori* méthodologique de la théorie quantique, celle-ci, par contre, est une connaissance de la nature plus fondamentale que celle-là, c'est-à-dire, certaines propositions supposées par la physique classique ne sont expliquées que par la théorie quantique. Ainsi les apriorismes de la physique classique, bien entendues, sont des conditions préalables de la mécanique quantique, mais en aucune manière on ne peut les considérer comme des parties intégrantes de la mécanique quantique. Ils sont admis comme des hypothèses méthodologiques nécessairement supposées dans le contrôle expérimental des phénomènes atomiques, puisque ce qu'on peut comprendre directement concernant l'atome ne correspond qu'aux effets qui se laissent représenter classiquement. Cependant, comme le remarque Weizsäcker, « nous n'avons donc aucune raison empirique de conclure que les atomes eux-mêmes, dans la mesure où ils ne sont pas observés, doivent satisfaire aux lois de la physique classique. La physique classique indique la manière dont peut apparaître l'atome. C'est pourquoi elle n'énonce rien au sujet de l'atome en soi » (Von Weizsacker, 1956 : 152-153).

8.4. Le renoncement à l'objectivation

La comparaison entre « la chose en soi », au sens absolu kantien, et « l'atome en soi » en tant qu'une chose non perçue n'est établie que sur l'identité entre l'impossibilité de connaître la chose en soi et celle du comportement classique de l'atome. Irrémédiablement la mécanique quantique a renoncé à la notion d'objectivation qu'elle soit définie d'une manière réaliste ou par les conditions *a priori* du sujet, comme l'avait imaginé Kant.

La question épistémologique cruciale de la mécanique quantique pour Weizsäcker n'est donc ni le renoncement à l'intuition ni le renoncement au principe de causalité, mais justement le renoncement à « l'objectivation » des phénomènes de la nature. Ainsi, il affirme, «tant qu'on peut considérer comme équivalentes les notions « classiques » et « perceptible intuitivement », la mécanique quantique est une description de la nature tout à fait perceptible intuitivement, mais impossible à

objectiver » (Von Weizsacker, 1956 : 121). Par l'expression « le renoncement à l'objectivation », Von Weizsäcker veut souligner le fait que dans le domaine de la mécanique quantique le concept d'objet ne peut plus être utilisé sans se référer en même temps au sujet de la connaissance. Si d'un côté Kant avait établi cette condition sur le plan épistémologique, d'un autre côté il n'a pas envisagé cette intervention explicite sur le plan proprement constitutif des propositions scientifiques.

Ainsi si on prend en considération le statut purement formel des énoncés de la physique, la logique supposée par Kant était encore une logique classique. Par contre la structure de certains énoncés de la mécanique quantique obéissent à une autre logique. Dans la logique physique classique les énoncés **p** (*Je sais que A est valable*) et **s** (*A est valable*) étaient absolument équivalents et la négation de **p,** par conséquent, n'admettait que l'énoncé **t** (*A n'est pas valable)*. En mécanique quantique seul **p** peut être exprimé et l'énoncé objectif **s** n'a plus aucune signification. Par contre la négation de **p** peut être soit **q** (*Je sais que A n'est pas valable)* soit **r** (*Je ne sais pas si A est valable*). Les trois énoncés **p**, **q** et **r** sont du point de vue de la mécanique quantique du même ordre au sujet de la nature. A côté des valeurs « vrai » ou « faux », la logique quantique emploie ainsi une notion de vérité polyvalente qui admet une nouvelle valeur « indéterminée », avec une probabilité *x* d'être vraie.

Von Weizsäcker, dans le chemin initié par Reichenbach d'introduire une logique plurivalente, essaye lui même de développer une approche logique connue comme logique complémentaire[192]. Ce n'est pas le but de notre travail d'entrer dans le détail de développement de cette logique. Nous voulons juste souligner le rejet de la part de Bohr de ce projet d'une logique de la complémentarité. Pour Bohr ces tentatives logiques se prêtent, malgré la consistance qu'on pourrait leur accorder, plutôt à obscurcir qu'à clarifier la singularité de la situation quantique : le fait que la complémentarité a une justification non pas logique mais pragmatique. Comme nous l'avons vu, le mode complémentaire de description est basé sur la communication de l'expérience, laquelle doit faire usage du langage ordinaire adapté à notre mode d'orientation dans la vie quotidienne. Nous reviendrons sur ce point dans le dernier chapitre de ce travail.

---

[192] Sur la 'logique complémentaire'de Von Weizsäcker : Cf. Max Jammer (1974 : 376-379)

8.5. Connaissance et action

Bien que Kant ait déjà renoncé à l'objectivation des phénomènes de la physique classique dans un sens réaliste qui impliquait la connaissance des objets sans rien à voir avec le mode par lequel le sujet les connaissait, ce qui se passe en mécanique quantique est une sorte de renoncement plus radical. Elle a introduit une nouvelle notion de possibilité de l'expérience qui ne se réduit pas aux termes kantiens. La fonction d'état ψ, comme dit Weizsäcker, indique la probabilité pour chaque résultat *possible* de chaque expérience *possible*. Ces deux sens du possible de l'expérience quantique extrapolent celui défini par Kant en accentuant le renoncement même à la notion d'objectivation kantienne. Le premier possible selon Weizsäcker exprime notre ignorance de savoir si un processus quelconque va intervenir ou non dans les conditions d'une expérience possible. Le deuxième exprime la possibilité de vouloir, c'est-à-dire notre possibilité d'exécuter une expérience ou non. Ce deuxième sens du possible comme Weizsäcker l'interprète est tout à fait divergent du sens originaire de l'expérience possible de Kant, en mettant en évidence que les limites entre la raison théorique et la raison pratique ou entre le savoir et l'agir ne sont pas bien fixées. Dans la *Critique de la raison pure* l'expérience possible appartenait au domaine du *savoir* de la raison théorique, transcendantalement distincte du domaine du *vouloir* de la raison pratique. Dans le sens kantien, celles qui rendent l'expérience possible sont les conditions *a priori* de la sensibilité et de l'entendement humain qui sont indépendantes des conditions pratiques de l'exécution de l'expérience. C'est cette « des-objectivation » doublement plus radicale qui confère à l'analyse transcendantale de la mécanique quantique un sens absolument original par rapport à l'épistémologie en général et à l'épistémologie kantienne en particulier.

8.6. La critique du relativisme historique

Pour répondre au problème de la condition historique de notre connaissance du monde, Weizsäcker rejette aussi l'historicisme comme une troisième position acceptable

par rapport au sensualisme et au psychologisme. C'est justement en repoussant la tentation de remplacer le concept de «connaissance» par celui de «croyance » expliqué génétiquement, qu'il essaye de donner un sens exact à l'«a *priori* historique». Puisque le concept de «croyance» suppose déjà le concept de «connaissance», l'affirmation selon laquelle il n'existe de «croyance » que conditionnée historiquement, et non de «connaissance», est formellement sans valeur. Contre la tendance de rendre historiquement relatifs les théorèmes scientifiques, Weizsäcker défend leur sens et leur prétention à la vérité. Il prétend tenir compte en même temps de l'état historique de notre connaissance et du sens de la vérité scientifique. Pourtant, pour que ce soit possible il faut limiter la vérité à l'état de conscience de notre époque. Toute spéculation au-delà de cette limite est sans valeur. Contrairement à Kant qui a limité les conditions de possibilités de notre connaissance au sujet ou à la conscience humaine, Weizsäcker les limite à l'état de conscience d'une époque historiquement déterminée.

Pour rendre claire cette condition limite, le concept de **méditation** joue un rôle fondamental. Avec celui-ci Weizsäcker veut soutenir que dans le processus d'acquisition d'une vérité par la conscience non seulement le contenu de la vérité est modifié mais aussi la structure même de la conscience. Cela se vérifie aussi dans tous les processus d'apprentissage de la vie humaine, que ce soit l'apprentissage d'un sport comme l'équitation ou la natation, ou l'apprentissage d'un instrument de musique ou l'apprentissage d'une nouvelle langue. Il ne sert à rien de connaître les règles si on ne les pratique pas. L'acquisition d'un savoir-faire quelconque vient quand on fait instinctivement ce qu'il faut, toujours au terme d'exercices répétés comme résultant d'un processus de mûrissement. La même chose se passe pour la connaissance d'une théorie mathématique ou physique, au moment où on réalise la méditation, cette espèce de gymnastique mentale qui fait qu'on ne se met en présence de la vérité que quand on l'exerce, soit en parcourant les domaines déjà connus soit en explorant des régions non conquises. Selon Weizsäcker, le résultat de cette activité est une lente mais réelle transformation de la structure de la conscience, qui se vérifie, par exemple quand on compare la conscience de l'adulte avec celle de l'enfant. Comme conséquence de cette transformation de la conscience par la méditation, la notion de ce qui lui est donné est aussi modifiée, c'est-à-dire, ce qui nous est donné dépend de notre propre état de

conscience. De cette façon, une feuille écrite n'est pas la même chose pour un enfant qui sait lire et un enfant qui ne sait pas lire.

En outre, ce processus de méditation comme tout le processus d'apprentissage dans la vie pratique ne s'accomplit que par la force de la **volonté**. Weizsäcker dit: «aucune connaissance supérieure ne peut être acquise sans orientation consciente de la volonté vers le processus de l'acquisition de cette connaissance. Et il y a des connaissances seulement accessibles par la voie méditative au sens strict du mot » (Von Weizsacker, 1956 : 167).

Von Weizsäcker considère qu'à chaque niveau de méditation nécessaire pour acquérir petit à petit la vérité, correspond une phase différente du développement de la science, qui suppose et rend relative la phase précédente : une phase est l'*a priori* de l'autre. Il ne voit pas l'histoire de la science comme un processus de succession de paradigmes incommensurables, dans un sens kuhnien[193]. Pour lui la phase précédente devient une connaissance scientifique spéciale dont la nouvelle phase peut indiquer les raisons et les domaines d'application, puisque celle-ci contient parmi ses propositions empiriques celles fondamentales des niveaux antérieurs.

8.7. La symétrie comme principe unificateur de la science de la nature

Dans le programme de Von Weizsäcker [194] tel qu'il nous le présente dans le texte « The precontions of experience and the unity of physics », toute tentative de justification dans le sens d'une détermination transcendantale des lois spéciales de la physique est vouée à l'échec. Et la raison de l'échec est simple : le problème n'existe pas parce qu'il n'y a pas de lois spéciales ultimes de la nature. Les lois spéciales de la physique sont des hypothèses qui dépendent des contextes conceptuels et historiques. Par contre elles peuvent être réduites à des lois plus fondamentales et générales et celles-ci ont une validité *a priori* qui peut être démontrée par des arguments transcendantaux. Selon Von Weizsäcker, toutes les lois spéciales de la physique et de la

[193] Cf. T. Kuhn (1962).

[194] Le programme d'unification de la science est aussi présenté dans d'autres textes. Cf. Von Weizsacker (1971a et 1980).

chimie sont des conséquences logiques de la théorie quantique de base actuellement présente. Cela parce que les lois spéciales peuvent être déduites des lois fondamentales de la théorie quantique comme des cas spéciaux et en outre la théorie elle-même définit en principe les cas possibles pour lesquels elle peut être appliquée. Le problème de la justification des lois de la physique se réduit alors à la tâche singulière de justification des lois fondamentales de la physique. D'un autre côté, il ne s'agit pas de justifier les lois de l'entendement pur ainsi que Kant a essayé de le faire dans la *Critique de la raison pure*, comme s'il y avait une ligne de démarcation rigide entre la philosophie de la science et la physique fondamentale ou entre les lois de la raison et les lois de la nature[195].

Son projet cherche donc à justifier les lois fondamentales de la physique en liant les perspectives transcendantales et historiques. D'un côté il faut remarquer que comme pour Von Weizsäcker il n'y a pas d'*a priori* absolu, il ne peut maintenir aucun jugement comme *a priori* vrai. Son *a priori* a ainsi un sens très faible. Il l'applique à certains concepts qui sont nécessaires pour établir un cadre théorique dans lequel une situation empirique quelconque acquiert une signification. Et d'un autre côté, comme il n'y a aucun principe de la science et aucun concept de notre pensée qui soit atemporel, la structure temporelle même de notre pensée doit faire l'objet d'une investigation transcendantale. Son approche inévitablement historique s'impose en raison justement de sa nature transcendantale, qui privilégie le temps comme condition de possibilité de notre propre expérience. Selon Von Weizsäcker, « Kant lui-même s'était rapproché de ce problème central comme jamais ses successeurs avant Heidegger ne l'ont fait» [196].

C'est pour cela qu'une logique temporelle lui semble nécessaire pour clarifier son programme. Et la logique non classique de la théorie quantique est pour lui une expression de la structure du temps dans leurs modes. Si on définit l'expérience selon la formule « apprendre du passé pour le futur » (*to learn from de past for the future),* la question sur les conditions qui la rendent possible est une question qui porte sur les modes du temps : le présent, le passé et le futur. Selon lui, dans l'interprétation

---

[195] Pour Von Weizsäcker la théorie quantique n'est pas seulement une partie de la connaissance, mais elle est aussi une théorie de la connaissance humaine. Celle-ci peut être comprise soit en parlant des objets soit en parlant du sujet. (Cf. Weizsacker & Görnitz, 1990).

[196] "Kant himself had come closer to this central problem than anyone of his successors before Heidegger". (Von Weizsacker, 1979: 154).

statistique de la seconde loi de la thermodynamique, par exemple, le passé est supposé comme factuel, le futur comme possible et la probabilité comme une quantification de la possibilité. Cette même structure des modes du temps Von Weizsäcker la voit présupposée dans la formulation du problème de Hume. L'idée centrale d'une logique temporelle nécessaire pour comprendre la théorie quantique est que les règles bivalentes de la logique soient appliquées pour les assertions du passé mais pas pour les assertions du futur. Son propos c'est alors de définir les assertions sur le futur comme ni vraies ni fausses, mais comme possibles, nécessaires, impossibles, etc., c'est-à-dire leur appliquer les modalités temporelles et non les valeurs de vérité. Pour Von Weizsäcker la logique quantique a une justification non pas dans la construction de la structure mathématique de la mécanique quantique (selon lui la théorie de l'espace d'Hilbert est une pièce de la mathématique classique) mais dans la sémantique empirique de la mécanique quantique où elle est impliquée. C'est pour cela que la logique quantique est une logique temporelle de l'action, car des mesures sont des actions. Dans la physique classique ce problème n'existait pas parce qu'il n'y avait pas du tout le problème de la mesure tel qu'il apparaît dans la mécanique quantique. La logique temporelle exprime des lois concernant spécialement les affirmations futures.

Pour mettre en œuvre son projet d'unification, Weizsäcker essaie de ranger les lois spécifiques de la physique en deux grands groupes : le premier rassemble les lois spatio-temporelles et le deuxième réunit des lois qui définissent l'existence d'objets et de forces. Le premier peut être subdivisé en trois autres groupes : (a) celui des lois de la géométrie physique dans l'espace euclidien dans lequel le mouvement non-relativiste classique et quantique peut être décrit en additionnant la coordonnée linéaire du temps ; (b) celui des lois de la Relativité Spéciale définies à partir des coordonnées spatio-temporelles sous la symétrie du groupe de Poincaré et (c) celui des lois de la Relativité Générale dans l'espace de Reimann à partir duquel (a) et (b) sont des cas limites. Le deuxième groupe de lois spéciales peut être subdivisé en deux autres : (d) celui de la réduction de tout objet de la physique dans une série de particules élémentaires à l'égard de lois d'interaction bien définies et (e) celui de la déduction des objets élémentaires à partir de la symétrie de groupe.

Selon Von Weizsäcker, toutes les différentes étapes qui se présentent comme une séquence de '*closed theories*', dans le sens défini par Heisenberg[197], sont en fait réductibles à la dernière étape (e) puisque tant les lois des particules élémentaires que la géométrie physique peuvent être définies par la symétrie de groupe. Comme le dit Von Weizsäcker, « ainsi nous pouvons espérer déduire la géométrie de la symétrie de groupe aussi bien que les objets qui se meuvent dans l'espace de cette géométrie »[198].

La tentative de Von Weizsäcker est ainsi la justification non pas de la validité *a priori* de chacune des lois spéciales de la physique, mais de la totalité de ces lois, exprimées par les lois fondamentales. Celles-ci sont non seulement justifiables comme conditions préalables à toute expérience possible mais indiquent une voie vers une grande unité de la science. Une unité qui n'est pas une unité méthodologique entre les différentes sciences mais une unité substantielle qui résulte d'un réel progrès de la science. Cette unité substantielle, fondamentalement mathématique et exprimée par la symétrie des lois de la physique, est la condition préalable à l'objectivation de l'expérience, dans le sens de définir notre expérience comme une expérience d'objets.

Pour comprendre l'unité de la physique, von Weizsäcker développe une partie plus formalisée connue comme théorie quantique des objets « Ur ». Cela a des conséquences importantes pour la théorie quantique d'information. Ce n'est pas notre intention dans ce travail de décrire la structure de la théorie « Ur »[199]. Nous voulons juste faire remarquer que cette théorie prétend dériver tous les concepts classiques tels que matière, énergie, etc., qui à la limite peuvent s'encadrer dans une conception classique kantienne de substance, à partir d'objets les plus simples possibles appartenant à un niveau logique plus fondamental, les dits « Urs » (abréviation de Ur-alternative ou Ur-objet). Les « Urs », considérés comme des « atomes de l'information », ne sont pas des objets spatio-temporels mais des objets informationnels. Pour Von Weizsäcker, tous les concepts classiques ainsi que toutes les formules qui contiennent ces concepts seraient simplement des formes possibles de manifestation d'information. Il prétend

---

[197] Sur le concept de « Closed Theories » : Cf. Heisenberg (1974). Pour Heisenberg, une théorie est achevée si l'applicabilité de ses concepts basiques dans le domaine des objets implique déjà la validité de ses lois dans ce domaine.

[198] "Thus we may hope to deduce physical geometry from the symmetry group as well as the objects moving in the space of that geometry" (Von Weizsacker, 1979: 147).

[199] A ce sujet: Cf. H. Lyre (1995, 1996).

ainsi fournir une théorie plus fondamentale capable de donner la structure fondamentale de toute théorie physique. Cette théorie fondamentale permet de construire n'importe quel objet physique à partir des « Ur » basé sur des considérations de symétrie des objets « Ur ». La Ur-théorie présuppose, d'une part, la validité fondamentale de la mécanique quantique et d'autre part que la théorie quantique soit une théorie de prédiction concernant des alternatives empiriquement décidables. Dans une mécanique quantique ainsi comprise il n'est plus question ni d'espace ni de temps, mais simplement d'alternatives.

8.8. L'unité de la nature

E. Scheibe (2001 : 54) caractérise le projet d'unité de C. F. von Weizsäcker par deux présupposés de base. Le premier exprime l'idée que la physique comporte une unité conceptuelle jamais envisagée dans aucune autre période historique. Le deuxième assume que l'achèvement de cette unité est une tâche finie. Nous avons vu que la symétrie de groupe concentre ces deux présupposés. D'une part, il est un principe unificateur des étapes antérieures du développement scientifique. D'autre part, il est l'expression achevée, résultante d'une tâche finie, de l'unité vers laquelle est parvenue la physique actuelle.

Von Weizsäcker regarde ainsi le développement de la physique comme une succession de théories achevées ('*closed theories'*, dans les sens heisenberguien) tendant vers l'unité. Cela implique que les théories physiques n'ont pas de progrès continu, mais leur évolution peut être comprise comme des sauts d'une théorie achevée vers une autre théorie achevée. Il prend comme exemple de théories achevées la mécanique classique, l'électrodynamique classique, la théorie de la relativité, la mécanique quantique standard, la mécanique quantique des champs. Une théorie achevée en elle-même peut être vue comme relativement nécessaire et relativement universelle. Selon la définition donnée par Von Weizsäcker (1980 :156), une théorie achevée est une théorie qui ne peut pas être dépassée par de petits changements. Un petit changement est tel qu'il ne peut restreindre ni l'universalité ni la nécessité de la théorie. Si le changement produit des restrictions soit à l'universalité soit à la nécessité

de la théorie, il est considéré comme un grand changement qui conduit vers une autre théorie achevée. Les caractéristiques kantiennes d'universalité et de nécessité sont ainsi préservées non pas dans un sens absolu, mais relativement à une théorie achevée déterminée. D'un côté Von Weizsäcker suppose un relativisme par rapport à l'universalité et à la nécessité des théories, d'un autre côté, il soutient que la dernière théorie achevée contient celle que l'a précédée comme cas spécial ou limite. Historiquement la physique se développe vers l'unité. Cependant cette unité est dépendante des résultats substantiels progressifs de la physique. Comprendre l'unité de la nature c'est comprendre l'unité accomplie par la physique dans la succession de ses différentes théories achevées. Chaque nouvelle théorie suppose comme pré-condition *a priori* la théorie antérieure. Dans ce sens la physique classique et ses concepts associés sont des pré-conditions *a priori* de la théorie quantique.

Si l'on concède que la physique classique est une pré-condition matérielle de la physique actuelle, on peut aussi facilement admettre que les conditions transcendantales de cette physique, c'est-à-dire, l'intuition spatio-temporelle et les catégories de l'entendement sont des pré-conditions formelles de la mécanique quantique. Ainsi, en suivant Bohr, von Weizsäcker considère que les concepts classiques, et, par conséquent, l'intuition sensible ont un domaine d'universalité d'application restreint, et que en même temps ils sont nécessaires dans le cadre interprétatif des résultats expérimentaux. Ce n'est pas la peine d'imaginer, comme l'a fait Cassirer, d'autres formes d'intuition dans des espaces non tridimensionnels ou d'autres formes de causalité adaptées à la situation de la mécanique quantique. Von Weizsäcker exprime ainsi sa dissemblance par rapport à l'approche de Cassirer, en écrivant :

> Si les concepts classiques sont indispensables, alors la découverte du quantum d'action nous rend en effet étourdis, et la complémentarité est aussi un concept indispensable. Mais on pourrait bien être confronté au contraire : si nos facultés intuitives peuvent s'adapter au développement historique, alors, les concepts classiques deviennent dispensables et nous nous retrouvons sans la complémentarité. Même certains kantiens ont choisi ce chemin d'adaptation, parmi eux (à un niveau très élevé) Ernst Cassirer, qui dans ses livres remarquables sur la théorie de la relativité et sur la théorie quantique a essayé de montrer que l'espace euclidien n'est pas la forme de toute l'intuition externe, et que la causalité déterministe n'est pas le seul genre imaginable de légalité.

> Cependant, la position de Cassirer ne me plaît même pas. Il me semble que ce compromis sage nous a volé les fruits valables du bon combat. Il me semble qu'à la fin toute la physique empirique convergerait d'elle-même vers un apriorisme qui maintient strictement ses bases si les deux restent fidèles à leurs principes[200].

Von Weizsäcker reste ainsi fidèle à la fois à Kant, si bien entendu les formes *a priori* de l'intuition et les principes constitutifs de l'entendement sont relatifs à des théories achevées, et à Bohr, pour qui la complémentarité est une condition nécessaire de la théorie quantique. Néanmoins, la conséquence la plus intéressante de son approche, à savoir l'idée d'unité de la nature à laquelle il parvient à partir de l'idée de symétrie de groupe, n'a pas été explorée dans le contexte transcendantal des idées régulatrices de la raison. Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, Kant a en effet accordé un rôle décisif à l'idée d'unité systématique de la nature dans le champ des jugements réflexifs, qu'il fait ressortir dans la dialectique transcendantale aussi bien que dans les introductions de la troisième *Critique*. Mais ce n'est pas du côté de l'idéal régulateur que Von Weizsäcker place son idée d'unité de la nature. Sa démarche méthodologique avance dans un processus qu'Habermas (1976) qualifie d'auto-objectivation dont aucune forme ne ressemble à la démarche d'auto-réflexion entreprise par Kant. L'apriorisme du programme proposé par Von Weizsäcker est le point d'arrivée et non pas le point de départ de son entreprise. Ainsi pour lui si les lois de la nature sont historiquement produites pas l'homme et si à partir de ces lois on peut dégager une unité substantielle capable de systématiser toutes les étapes antérieures, alors cette unité est aussi un produit de l'action cognitive de l'homme sur la nature. L'unité envisagée par Von Weiszäcker est donc un résultat auquel il atteint par un

---

[200] "If the classical concepts are indispensable, then the discovery of the quantum of action indeed makes us dizzy, and complementarity is an indispensable concept. But couldn't one just as well be consistent the other way round: if our intuitive faculties can adapt themselves to the historical development, then, the classical concepts become dispensable and we can again do without complementarity? Even some Kantians have chosen this path of adaptation, among them (on a very high level) Ernst Cassirer, who in his fine books on relativity and quantum theory tried to prove that Euclidean space is not the form of every outer intuition, and that deterministic causality is not the only conceivable kind of lawfulness. Cassirer's position not quite satisfy me even then , however. It seemed to me that this wise compromise robbed us of the valuable fruits of a well-fought battle. It seemed to me that in the end all of empirical physics would of its own accord converge with an apriorism that strictly holds its ground if both remain faithful to their principles". (Von Weizsäcker, 1994: 184-5)

processus d'auto-objectivation et qui se présente en tant que condition de possibilité de toute expérience possible.

Dans la postface de *Connaissance et Intérêt*, Habermas (1976 : 338-353) fait ressortir l'ambiguïté qu'il y a dans le programme d'auto-objectivation de Von Weizsäcker à considérer la mécanique quantique en tant que théorie qui est simultanément sa propre métathéorie. Cette ambiguïté a pour lui comme origine une confusion d'ordre méthodologique entre auto-objectivation et auto-réflexion Cette critique de Habermas pourrait être adressée non seulement à Von Weizsäcker mais à tous les philosophes de la mécanique quantique qui ont la prétention de prouver que les lois de la physique ne sont pas des expressions des résultats expérimentaux mais plutôt des conditions de possibilité de toute expérience possible. Bien que le but des programmes de ce type soit semblable à celui de la démarche kantienne, son mouvement se dirige cependant vers la direction exactement opposée. Chez Kant, la démarche transcendantale part du 'fait de la science' vers les lois subjectives qui rendent l'objectivité physique possible dans un mouvement d'auto-refléxion de la raison. Dans une démarche telle que celle proposée par Von Weizsäcker le point de départ est aussi le même que celui de Kant, néanmoins ce qu'elles cherchent sont des principes objectivants plus généraux, qui sont en même temps les limites de la pensée conceptuelle. Le projet de Von Weizsäcker d'établir l'unité de la nature est, pour Habermas, la plus haute radicalisation de l'idéal du scientisme de faire des lois de la physique le fondement d'objectivation de tout événement. « Ce programme semble précisément devoir aider la philosophie transcendantale à triompher ; mais sa réalisation signifierait en vérité que le scientisme a finalement raison de manière surprenante » (Habermas, 1976 : 340). En tant que Von Weizsäcker ne peut pas assurer que les principes résultants de son programme d'auto-objectivation sont des conditions de possibilité de tout événement objectivable, sa démarche semble très paradoxale. En effet, en considérant la physique contemporaine comme une science de la nature à la fois objectiviste et transcendantale, il postule de façon arbitraire les principes fondamentaux objectivistes d'une théorie générale et les principes réflexifs sur les conditions transcendantales de toute expérience possible.

Dans cette critique de Habermas au projet de von Weizsäcker de démontrer l'unité de la nature en tant qu'unité transcendantale, deux questions doivent être

dissociées : celle de la confusion méthodologique entre auto-objectivation et auto-refléxion et celle d'une théorie qui se présente simultanément comme sa propre méta-théorie. Sur la première question nous sommes tout à fait d'accord avec Habermas que von Weizsäcker ne peut pas assurer que l'unité des lois de la physique donnée par la symétrie de groupe soit en même temps la condition transcendantale de l'unité de toute la nature. Par contre, sur la deuxième question, il y a un riche débat autour du caractère universel et auto-référentiel de la mécanique quantique et Von Weizsäcker n'est pas tout seul à affirmer le statut méta-théorique de la théorie quantique.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre sur l'interprétation de Mittelstaedt, le problème des interprétations en mécanique quantique implique, pour cet auteur, que le processus de mesure fasse à la fois partie de la théorie objet et de la méta-théorie qui interprète la théorie objet. Et nous n'avons aucun moyen d'échapper à cette ambiguïté. Dans une ligne néo-bohrienne d'interprétation, non pas partagée par Mittelstaedt, Von Weizsäcker, de son côté se base sur l'inséparabilité entre l'objet et l'observateur. Ce qui pour lui fait la différence entre la physique classique et la mécanique quantique est le fait qu'aucune proposition en mécanique quantique puisse être établie sans référence à l'état subjectif de la connaissance. Pour von Weizsäcker, chaque proposition sémantique est aussi le résultat d'un acte de volonté de la part de l'observateur. Comme nous l'avons vu, dans son analyse de l'expérience de pensée du microscope de Heisenberg, la proposition sur l'objet électron d'avoir soit une impulsion soit une position bien définies dépend de la volonté de l'observateur pour décider où placer la plaque photographique. Dans cette perspective, la seule justification des lois de l'expérience repose selon von Weizsäcker dans une perspective transcendantale d'envisager les lois générales de la physique comme des formulations des conditions par lesquelles l'expérience est rendue possible.

Chapitre 9
L'approche transcendantale de Jean Petitot

9.1. Introduction

L'approche transcendantale de Jean Petitot s'inscrit dans la perspective ouverte par le néokantisme, surtout par Cassirer, de prendre la doctrine de Kant non à la lettre, mais, dans sa propre attitude critique, comme un instrument puissant d'analyse de problèmes épistémologiques fondamentaux. Et à la façon de Von Weizsäcker, il essaye de constituer une histoire transcendantale des théories scientifiques, en dégageant les moments transcendantaux inhérents à chaque théorie physique particulière. En lisant le texte kantien de façon moins exégétique et plus critique, il en fait ressortir son actualité surtout par rapport aux aspects constitutifs transcendantaux de la physique contemporaine. La dimension constitutive qui selon Petitot lie de façon inexorable la physique moderne à la philosophie transcendantale est le fait, mis en lumière par Kant, que l'objectivité physique a une nature mathématique. Comme lui-même l'affirme, en profond accord avec le travail de Jules Vuillemin (1955), mais aussi avec le néokantien H. Cohen : « La philosophie transcendantale est par excellence la philosophie de la physique mathématique » (Petitot, 1997 : 214).

Contrairement à des épistémologues de la physique quantique qui assimilent très précipitamment la physique classique à une ontologie réaliste, Jean Petitot remarque bien le fait, mis en évidence par Kant, que la mécanique rationnelle classique représente déjà une rupture avec l'ontologie traditionnelle qui postule l'existence d'une réalité cognitive substantiellement indépendante. Il faut alors nuancer et même relativiser le concept d'objectivité forte fréquemment associé à la physique classique, car par rapport à l'ontologie traditionnelle, l'analyse transcendantale développe un concept faible d'objectivité. Il suppose qu'on n'ait pas du tout accès à une réalité indépendante de son formatage spatio-temporel. Comme le dit Jean Petitot, l'objectivité de la mécanique classique est dite « forte relativement à la Mécanique quantique » et « faible relativement à l'ontologie » (Petitot, 1997 : 204). Pourtant, il faut tenir compte que la différence entre objectivité forte et objectivité faible est irréductible. Ce fait exige ainsi

une interprétation transcendantale post-kantienne de la mécanique quantique qui prenne en compte le fait de l'insécabilité objet/instrument de mesure.

Jean Petitot souligne l'importance de ne pas oublier que la découverte kantienne de l'objectivité est surtout la découverte de son caractère relationnel. En prenant cette objectivité relationnelle comme point de départ, Petitot essaie de la dépasser afin de bien comprendre les nouveautés apportées par la physique quantique. Il remarque d'abord que l'objectivité révélée par l'analyse kantienne suppose outre sa condition spatio-temporelle, exposée dans l'Esthétique transcendantale, sa dimension prescriptive normative, explicitée par l'Analytique des principes de l'entendement pur. Comme il l'affirme : «le concept normatif d'objet est présupposé à titre de condition de possibilité par toute activité scientifique » (Petitot, 1997 : 206). L'objectivité définie ainsi prescriptivement comme un ordre de légalité empêche qu'en rejetant le réalisme ontologique on ne tombe dans la position antithétique d'un phénoménisme mentaliste psychologique. Cela résulte du fait que le type de légalité imposée à la physique est essentiellement mathématique. Petitot accentue donc le fait que les mathématiques ont un caractère prescriptif plutôt que descriptif. Ainsi, c'est en prolongeant le geste critique que Jean Petitot essaye de comprendre les problèmes soulevés par la physique contemporaine.

9.2. La régionalisation de l'esthétique transcendantale

Dans son projet de relativisation ou d'actualisation de la réflexion transcendantale, Petitot prend comme point de départ la thèse selon laquelle l'objectivité transcendantale est d'ordre prescriptif-normatif. Cette objectivité se constitue un ensemble de règles *a priori* qui n'ont pas de signification indépendamment des stratégies de détermination objective. Il conçoit alors la philosophie transcendantale en tant que source révélatrice des différentes stratégies propres à la spécificité de chaque objet scientifique. Selon sa terminologie, d'inspiration husserlienne[201], l'objet est régional et dépend des conditions mathématiques spécifiques qui permettent sa

[201] Cf. Petitot, 1991:86-87.

détermination. Ainsi pour Petitot les divisions générales de la méthode transcendantale (esthétique, analytique et dialectique), ce qu'il appelle des moments transcendantaux, peuvent être maintenues à condition que le contenu de chaque division change conformément à la stratégie spécifique d'objectivation. On peut avoir, selon lui, des esthétiques transcendantales différentes qui permettent de constituer différents objets régionaux. Ainsi l'esthétique transcendantale pour la physique classique se distingue de celle de la théorie de la relativité, qui, à son tour, est aussi dissemblable à celle de la mécanique quantique qu'à d'autres théories physiques particulières. Il ne s'agit pas pour Jean Petitot d'actualiser l'esthétique transcendantale dans le sens d'une généralisation plus universelle capable d'intégrer les différentes spécialisations ou branches de la physique mathématique. Mais si les objets scientifiques sont régionaux, les esthétiques transcendantales sont aussi régionales, en tant qu'ensembles de règles qui rendent possible les différents objets. On a ainsi une esthétique transcendantale quantique, une esthétique transcendantale relativiste, une esthétique transcendantale classique, etc. Ce qu'il veut mettre en évidence c'est justement l'histoire transcendantale des conditions de possibilité :

> Mon hypothèse de travail est qu'il existe également une structure transcendantale des théories physiques postérieures à la Mécanique rationnelle et même, plus précisément, qu'il existe une *histoire transcendantale* de ces théories. (Petitot, 1997 : 222).

Petitot propose de comprendre l'Esthétique transcendantale vis-à-vis de la mécanique quantique dans un sens instrumental plutôt qu'*esthésique*, c'est-à-dire, non pas comme une doctrine de la sensation, mais comme une doctrine qui relève de la perception en tant que mesure. (Petitot, 1997 : 209). Comme nous l'avons signalé dans le chapitre quatre, Cassirer aussi considère que l'espace et le temps sont plutôt des conditions formelles de la mesure que des conditions formelles de la perception. (Cf. Cassirer, 1977 et 2000). Néanmoins, à la différence de Bohr, pour qui en suivant Kant toute l'intuition est spatio-temporelle, Petitot imagine une sorte d'intuition non classique spécifique pour la mécanique quantique. Ainsi l'esthétique transcendantale sous-jacente à la mécanique quantique serait une sorte d'esthétique généralisée non

spatio-temporelle[202]. Mais en quoi consiste-t-elle cette esthétique transcendantale non classique ? Quelle sorte d'intuition, Petitot prétend-il mettre à la place des formes pures de l'espace et du temps ? Serait-elle une espèce d'intuition non sensible, donc une intuition intellectuelle ?

Tout le monde le sait bien que même si Kant n'a pas été le premier à rejeter le concept d''intuition intellectuelle', il est certain qu'avec lui pour la première fois ce concept est devenu la question nodale de la philosophie. Tout d'abord, le terme 'intellectuel' pour Kant se réfère à l'entendement, qui « n'est pas une faculté d'intuition, mais seulement la faculté de lier des intuitions données en une expérience » (Kant, 1985a : 93 ; Ak IV, 316 ; *Prolég.* §34). Par 'intellectuel', Kant précise, dans la note du § 34 des *Prolégomènes,* le rapport à des « connaissances acquises par l'entendement et qui portent aussi sur le monde sensible ». Dans ce sens, Kant va opposer au concept d''intellectuel' celui d' 'intelligible'. L'intelligible, dit Kant, se rapporte à des « objets en tant qu'ils ne peuvent être représentés *que par l'entendement* et qu'aucune de nos intuitions sensibles ne peut porter sur eux» (Kant, 1985a : 92 ; Ak IV, 316). Kant appelle aussi « les objets intelligibles » noumènes ou choses-en-soi. Ainsi la fonction «intellectuelle» de l'entendement pur est un principe de liaison du phénomène dans l'expérience, tandis qu'« intelligible » a un rapport avec le noumène, qui dépasse l'expérience et ne peut pas être saisi par des intuitions. Dans cet usage contraire à l'intelligible, le concept d'intellectuel a une signification positive chez Kant.

Evidemment, l'intellectuel compris de cette manière n'a rien à voir avec l'intuition, car une fois que l'intellect essaie de fournir des intuitions au-delà de l'expérience, c'est-à-dire, des intuitions non sensibles ou des intuitions intellectuelles, l'objet de l'intuition intellectuelle est alors le noumène non intuitif ou « l'intelligible ». Ainsi dans un sens strict, l'intuition intellectuelle est l'intuition intelligible. Dans les *Prolégomènes*, Kant considère qu'on ne peut donner à l''intuition intellectuelle' la moindre signification (Cf. Kant, 1985a : 92-3 ; Ak IV, 316-7 ; *Prolég.* § 34). Et dans la *Critique de la raison pure*, il la considère comme quelque chose « qui n'est point la

[202] "For classical mechanics, special relativity and general relativity, Transcendental Aesthetics is spatio-temporal. But, according to the previous definition, it can perfectly exist non spatio-temporal generalized Transcendental Aesthetics. It is the case in QM". (Petitot, 1992)

nôtre, et dont nous ne pouvons même pas saisir la possibilité »(Kant, 1980d : 982 ; B307 ; Ak III, 210).

C'est dans ce sens ce que Kant rejette la notion d'intuition intellectuelle. Ce qui pour lui a une fonction intellectuelle dans la connaissance du phénomène appartient à l'entendement et non pas à la sensibilité. Ainsi seulement les objets qui se présentent dans une intuition sensible sont objet de la connaissance.

Kant considère que le problème de l'intuition intellectuelle est intrinsèquement lié à un autre problème, celui de la connaissance du noumène. Si cependant ce dernier ne trouve pas de solution au niveau de l'entendement humain, la critique de la raison nous présente quand même une possibilité de réponse. Cette possibilité est basée sur l'idée d'un entendement divin, « qui ne se représenterait pas des objets donnés, mais dont la représentation donnerait ou produirait en même temps les objets mêmes » (Kant, 1980d : 862 ; B145 ; Ak III, 116). L'intuition intellectuelle est une sorte d'intuition originaire, « telle que l'existence même de l'objet de l'intuition soit donnée par lui » (Kant, 1980d : 810 ; B72; Ak III, 72). Son opposée est l' *intuitus derivativus*. Kant explique que cette intuition n'est en aucun sens une intuition de l'entendement ou une intuition intelligible, mais une intuition sensible, et pour cela une intuition dérivée, car elle dépend de l'existence de l'objet. Alors que l'intuition intellectuelle est l'*intuitus originarius* et n'appartient qu'à l'Etre suprême (Kant, 1980d : 810 ; B72; Ak III, 72). Original a ici une signification de constitution originaire. Nous pouvons caractériser cette intuition comme une intuition créative aussi, car elle n'est pas une intuition réceptive passive, mains une intuition au moyen de laquelle l'existence du donné est déterminée dans le même processus d'intuition.

Le concept de Kant d'intuition intellectuelle a ainsi au moins deux significations. D'une part elle est une sorte d'objet transcendantal non objectivé, par exemple, l'intuition du monde ou de la chose en soi. Dans ce sens, l'intuition intellectuelle signifie, avant tout, une relation avec le noumène, et peut être simplement interprétée comme une intuition métaphysique. D'autre part, dans le sens d'une *intuitus originarius* elle est comprise comme une intuition créative que seul Dieu peut avoir. Dans ces deux significations différentes, la première a un caractère limitatif ou négatif tandis que la deuxième a un sens positif.

Dans le cadre transcendantal, le noumène ou, autrement dit, la chose en soi est une loi de la pensée immanente au principe suprême de la connaissance, et ne peut donc certainement pas être intuitionnée. Si on identifie la réalité métaphysique et la conscience de soi dans l'intuition intellectuelle, il n'y a aucun moyen de distinguer le penser du connaître. Or, du fait même qu'elle exprime le rapport nécessaire de la connaissance à la pensée, la chose en soi est le fondement transcendantal de la distinction entre connaissance et pensée : son rôle négatif est de montrer la relativité de toute connaissance, nécessairement conditionnée par la sensibilité ; mais elle indique la tâche positive de la pensée, qui doit s'efforcer de dépasser cette limitation, même si ce dépassement ne peut jamais prendre la forme d'une totalisation finie. La chose en soi est la connaissance que la connaissance prend de ses propres limites, et, en tant que pensée, elle fonde le système même de la connaissance. La pensée règle, dirige et appelle nécessairement la connaissance, et c'est pourquoi il faut lire l'Analytique pour comprendre l'Esthétique transcendantale, et la Dialectique pour comprendre l'Analytique, conformément au mouvement général de la *Critique de la raison pure.*

Kant a déclenché après lui une discussion philosophique fructueuse sur l'existence ou non de l'intuition intellectuelle. L'une des tentatives plus intéressantes d'aborder ce problème a été offert par les phénoménologues. Mais pour qu'une solution post-kantienne soit possible quelques réquisits doivent être satisfaits. Ainsi, les phénoménologues étaient devant le dilemme suivant : Si un concept d'intuition intellectuelle est tenable, comme une troisième voie entre les doctrines métaphysiques et les théories positives, il doit satisfaire à trois prétentions : 1) posséder la fonction législative de fondement de l'objectivité ; 2) abandonner la position empiriste positiviste ; et 3) être distinct des doctrines qui tombent dans le mysticisme.

Edmund Husserl (1963), le fondateur de la phénoménologie a abordé ce problème dans le livre six des *Recherches philosophiques.* Husserl distingue l'intuition *suprasensible* de l'intuition *sensible*. La première est aussi appelée intuition essentielle ou intuition catégorielle :

> Devrons-nous distinguer d'une manière tout à fait générale, entre *intuition sensible* et *intuition catégoriale,* ou encore démontrer la possibilité d'une telle distinction. (Husserl, 1963 : 177 ; [144])

Sa méthode phénoménologique de l'analyse des degrés de la conscience a rendu possible la différentiation entre deux moments essentiels dans tous les actes de signification : l'intention de signification et le remplissent de signification (Husserl, 1963 : 21-65 ; [8-48]). Lorsque notre conscience reçoit quelques données sensibles, elle a toujours l'intention de synthèse et d'intégration des diverses impressions afin de les reconnaître en tant qu'objet. Ainsi par exemple le concept d'une table me permet de connecter et d'intégrer les impressions qui arrivent à ma sensibilité. Et cette intention peut être ensuite chaque fois plus remplie par d'autres données sensibles. La constitution des objets sensibles suit toujours ce chemin.

Cependant Husserl (1963 : 168 ; [136]) distingue dans l'intention de signification, outre le moment du matériau sensible (intention matérielle), le moment de la forme catégoriale (intention formelle). Ainsi il écrit :

> jamais la *simple* sensibilité ne peut fournir un remplissement à des formes catégoriales, plus précisément des intentions incluant des formes catégoriales ; le remplissement réside au contraire toujours dans une sensibilité informée par des actes catégoriaux. (Husserl, 1963 : 16 ; [5])

L'intuition intellectuelle en tant qu'intuition catégoriale a donc un sens pour Husserl. Elle est en effet un acte sans objet sensible. Ce fait peut être envisagé selon Husserl (1963 : 171 ; [139]) lorsqu'on essaye de trouver des corrélations objectives pour les mots comme *être, et, ou, le rien, les formes de la quantité* et *les déterminations numériques.* Ces termes ne peuvent jamais être remplis par les donnés sensibles. L'intuition formelle ou catégoriale est ainsi une intuition qui est fondée sur l'intuition sensible mais ne peut pas être remplie par les donnés sensibles. Ces deux formes d'intuition suppose alors une distinction entre perception sensible et perception suprasensible et par conséquent entre objets sensibles et objets catégorials. « La distinction entre intuition simple ou sensible et intuition fondée ou catégoriale apporte toute la clarté désirable à la vieille opposition régnant sur la théorie de la connaissance entre *sensibilité* et *entendement*. » (Husserl, 1963 : 16 ; [6])

Il semble que la conception de Jean Petitot de l'intuition non sensible est ainsi influencée par les discussions de Husserl sur l'intuition catégoriale. Comme Husserl, Petitot affirme :

> Il est certain qu'il faut *généraliser* l'Esthétique Transcendantale kantienne et la débarrasser des ses attaches avec la sensation si l'on veut pouvoir élaborer une lecture transcendantale de la physique mathématique moderne. (Petitot, 1994: 187)

Mais, Petitot a ses propres réserves sur l'approche husserlienne. Pour lui, Husserl avec sa notion d'intuition catégoriale a tellement axiomatisé les entités mathématiques, qu'il a fini par éliminer l'Esthétique transcendantale.

> L'alternative entre l'intuitionnisme étroit de Kant et le formalisme de Husserl constitue l'obstacle épistémologique majeur s'opposant à toute actualisation de la philosophie transcendantale. (Petitot, 1992a : 64)

Pour Petitot, la distinction entre empirique et *a priori* se justifie par deux différents types d'expérience : l'expérience de faits empiriques et l'expérience de faits purs ou phénoménologiques. Ainsi la connaissance *a priori*, non moins que la connaissance empirique est une connaissance de faits, mais les seconds sont d'un ordre différent des premiers. Ce qui distingue les faits purs des faits empiriques c'est qu'ils sont mathématiquement prioritaires à toutes les observations empiriques. Ainsi pour Petitot, l'Esthétique transcendantale est le domaine de l'intuition sensible et non pas de l'intuition intellectuelle, mais d'une intuition sensible non spatio-temporelle.

Pour clarifier le sens de cette intuition, Petitot dans ses considérations se rapporte à la célèbre note du § 26 de la Déduction Transcendantale, où Kant établit une distinction entre la forme de l'intuition et l'intuition formelle. Cela nous permet de comprendre l'espace et le temps soit en tant que formes *a priori* des phénomènes soit en tant qu'intuitions formelles mathématiquement construites. Pour Petitot :

> Les formes de l'intuition sont des formes de donation. Mais les intuitions formelles constituent l'instance permettant au schématisme de se prolonger en une construction qui, elle-même, devient source de modélisation.

La façon donc Petitot comprend ce passage l'amène à envisager outre l'espace et le temps, d'autres intuitions formelles non spatio-temporelles. Pour lui, l'exemple le plus remarquable d'une Esthétique transcendantale non spatio-temporelle est justement fourni par la mécanique quantique : « l'esthétique transcendantale quantique ne repose plus sur la géométrie de l'espace-temps et le principe de la relativité galiléenne mais sur

le concept d'*amplitude de probabilité* » (Petitot, 1994 : 192). Pour l'objet régional quantique, le concept d'amplitude de probabilité joue donc un rôle transcendantal en mécanique quantique de façon analogue à celui joué par la géométrie d'espace/temps en physique classique. Ce rôle se justifie selon Petitot, car il comporte les mêmes exigences posées par l'Esthétique transcendantale : l'exigence de définition relationnelle du phénomène, au sens d'une relation sujet-monde ; l'exigence de relativité vis-à-vis d'une ontologie substantialiste ; l'exigence d'une base mathématique pour la construction des catégories dynamiques de substance, causalité et interaction ; et l'exigence d'une base non métaphysique pour les catégories modales de possibilité, de réalité et de nécessité. Le concept d'amplitude de probabilité ajoute, à ces exigences déjà présentes dans le cadre transcendantal de la mécanique classique, l'exigence contextuelle annoncée par l'interprétation de Copenhague selon laquelle l'objectivité des phénomènes est inséparable des conditions théoriques et expérimentales d'observation. Par rapport aux catégories modales, en adoptant l'interprétation des amplitudes de probabilités comme des potentialités qui sont actualisées par des opérations de mesure, Petitot met à jour les postulats kantiens de la pensée empirique en général dans le contexte quantique.

Pour comprendre ce rôle transcendantal attribué à l'amplitude de probabilité dans le cadre de la régionalisation de l'Esthétique Transcendantale proposée par Petitot, quelques éclaircissements sont nécessaires. Tout d'abord il ne faut pas oublier qu'un tel concept comme celui de l'amplitude de probabilité suppose déjà une synthèse. Cependant, la méthode transcendantale suppose dans toute sorte de synthèse l'interaction simultanée de la sensibilité et de l'entendement. On ne peut donc limiter ce concept au seul domaine de l'Esthétique transcendantale, mais il faut avoir une compréhension plus élargie de celle-ci. Cela nous fait penser immédiatement à l'interprétation proposée par H. Cohen sur le rapport entre l'Esthétique transcendantale et les principes mathématiques de l'entendement pur.

De même que le néokantien H. Cohen, la question qui occupe Petitot est toujours celle de la possibilité de l'expérience physico-mathématique : comment les mathématiques s'appliquent-elles à l'expérience ? Il partage avec Cohen, contrairement à ce qu'a cru l'idéalisme allemand, que l'*a priori* n'est pas situé dans le sujet, mais dans le rapport du sujet à l'objet. L'idéalisme absolu contrairement à l'idéalisme critique,

dérive tout de la conscience de soi, et non des conditions de possibilité de l'objectivité. Cependant, dans le cadre de la pensée critique suivie par Cohen et aussi par Petitot, l'*a priori* ne trouve son sens que dans sa fonction épistémologique, dans son rapport nécessaire à la connaissance, dans son rôle transcendantal. Ils nient ainsi le réalisme métaphysique au tant qu'idéalisme absolu. Néanmoins Petitot se sépare de l'interprétation de Cohen en ce qui concerne la signification de l'Esthétique transcendantale : « je me sépare du néo-kantisme marbourgeois sur un point, certes technique mais crucial, celui de *l'Esthétique transcendantale »* (Petitot, 1994 : 187). Petitot accuse Cohen d'avoir développé « une conception trop étroite de la problématique de l'intuition pure » en conduisant « à une intellectualisation de l'Esthétique Transcendantale ». D'après lui, la lecture marbourgeoise de la *Critique de la raison pure,* celle de Cohen mais aussi celle de Cassirer, prend la forme d'un retour à Leibniz au lieu d'un retour à Kant, dans la mesure où ce qui se cache dans leur démarche de rattacher la signification de l'Esthétique Transcendantale à celle de l'Analytique est en fait une élimination de l'Esthétique Transcendantale :

> Il n'en reste pas moins que l'Esthétique transcendantale est inéliminable. L'éliminer c'est en revenir à un dogmatisme logique et ce n'est évidemment pas un hasard si le néo-kantisme marbourgeois prend en fait si souvent l'allure d'un néo-leibnizianisme. (Petitot, 1991: 188)

Comme nous l'avons vu dans la première partie de ce travail, dans son ouvrage, *Kants Theorie der Erfahrung*, Cohen essaie de réfuter les interprétations incorrectes du système kantien, spécialement celle engagée par Trendelenburg et Kuno Fischer à leur époque. Il s'est battu contre ce qu'il voyait comme un retour à la problématique pré-kantienne de l'innéité des formes *a priori* présupposée par le réalisme psychologique. Selon lui, la principale erreur dans la compréhension de l'œuvre de Kant consiste à dissocier les moments de la *Critique de la raison pure* : il ne faut pas séparer les étapes parcourues par Kant, ne pas dissocier les différentes expositions qu'on trouve dans l'Esthétique, ne pas isoler l'Esthétique de l'Analytique et de la Dialectique. Ainsi l'*a priori* des formes de l'intuition ne peut pas être séparé de celui des formes catégoriales de l'entendement et même de celui des idées régulatrices de la raison. Ainsi l'Esthétique ne doit-elle pas être isolée de la Logique, car c'est le schématisme qui permet la construction de concepts dans l'intuition pure. Ce sont les principes qui explicitent

dernièrement les concepts, mais aussi les intuitions formelles, dans le sens où celles-ci se distinguent des formes de l'intuition, comme indique la note polémique du fameux §26 de la *Critique de la raison pure*. Ainsi l'achèvement de la réponse à la question sur les conditions de possibilité de la mathématique, qui a commencé à se constituer dans l'Esthétique transcendantale, voit-il son terme véritablement dans les deux premiers principes du système de principes de l'entendement pur.

Nous ne croyons pas, comme le pense Petitot, que l'interprétation de Cohen conduise à une élimination de l'Esthétique Transcendantale. En effet, ce que l'interprétation marbourgeoise a voulu nier au nom d'un approfondissement de la lecture de Kant, est justement l'autonomie de l'Esthétique face à la Logique. Or l'approche de Petitot est bien autre : il veut rétablir l'autonomie de l'Esthétique transcendantale au prix d'une intellectualisation plus radicale que celle entreprise par les néokantiens de Marbourg. Dans quel sens Petitot semble-t-il avoir conduit à un rétablissement de l'autonomie de l'Esthétique Transcendantale ?

Alors reprenons les quatre réquisits que Petitot (1992 : 295; 1994 : 189) présente comme ceux qui caractérisent la fonction de l'Esthétique transcendantale, « comme instance constitutive d'un *domaine* d'objectivité ». Il semble implicite dans cette définition de l'Esthétique donnée par Petitot qu'un domaine spécifique d'objectivité est constitué au niveau de l'Esthétique transcendantale. Cela est aussi présent quand il annonce le premier réquisit : « déterminer mathématiquement les *formes* de manifestation de façon à éliminer le contenu subjectif (au sens « psychologique ») du concept de phénomène ». Ce réquisit correspond, selon lui, pour la mécanique rationnelle classique, à la géométrie de l'espace-temps, que l'on trouve soit dans la mécanique newtonienne soit dans la relativité restreinte et la relativité générale. Or tout l'embarras du choix entre son interprétation et celle de Cohen réside dans la signification qu'on peut donner à ce que signifie l'expression 'déterminer mathématiquement'. Du coté cohenien, le réquisit esthétique de la détermination mathématique des phénomènes est une condition nécessaire mais non suffisante. Il faut supposer que l'unité de la synthèse prétendue en toute forme de connaissance valide requière aussi le schéma catégoriel, représenté, particulièrement dans ce cas spécifique par les *Axiomes de l'intuition.* C'est grâce à « ce principe transcendantal de la science mathématique des phénomènes », comme le souligne Kant, «qui rend la mathématique

pure applicable dans toute sa précision aux objets de l'expérience » (Kant 1980d : 905 ; A165/B 206 ; Ak III, 151). Du côté de Petitot, l'esthétique transcendantale semble avoir la fonction spécifique de détermination objective d'un domaine particulier de la connaissance, à savoir, la géométrie spatio-temporelle. En dépit de l'importance accordée par l'interprétation de Marburg aux « Axiomes de l'intuition », Petitot s'appuie sur un article de 1905 paru dans l'*Encyklopädie der Elementar-Mathematik*, de Weber et Wellstein, qui affirme que « les Axiomes de l'intuition constituent un 'résidu trop humain de sensualisme qui colle encore à l'idéalisme kantien' » (Petitot, 1994 : 189). En effet, pour Petitot, l'interprétation de Cohen et de Cassirer a sous-évalué l'Esthétique transcendantale en faveur du système des principes de l'Analytique. Mais, à notre avis, il ne s'agit pas d'un renoncement à l'Esthétique Transcendantale de la part des philosophes de l'Ecole de Marbourg, mais d'une redéfinition de la véritable dimension cognitive du rôle de l'intuition sensible.

Cette même remarque sur le caractère autonome attribué à l'Esthétique Transcendantale s'applique aussi aux trois autres réquisits énoncés par Petitot comme caractéristiques de la fonction de l'Esthétique Transcendantale : 1) manifester la relativité d'une ontologie substantialiste ; 2) permettre la schématisation des catégories dynamiques ; et 3) conduire à une interprétation non dogmatique des catégories modales. Petitot fait correspondre à chacun de ses réquisits l'interprétation kantienne des principes de la physique classique tels que le principe de la conservation, le principe de l'action de forces, et le principe de l'action et de la réaction. Bien évidemment tous ceux adeptes de l'interprétation marbougeoise peuvent se mettre d'accord avec Petitot concernant ces trois autres réquisits. Le problème néanmoins se révèle lorsqu'il établit la correspondance entre ces réquisits qui caractérisent la fonction de l'Esthétique Transcendantale et les principes de la physique newtonienne. A notre avis, on ne peut pas comprendre cette correspondance sans présupposer avant le schématisme et donc le système de principes de l'entendement pur. Cela était en effet la démarche kantienne dans les *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*. Petitot lui-même reconnaît que la correspondance entre les principes de la physique et le contenu de la *Critique de la raison pure* se construit par rapport à la table des principes de l'entendement. Nous savons que ceux-ci ont été dérivés du processus de schématisation qui suppose l'unité de la synthèse entre l'Esthétique transcendantale et l'Analytique des

concepts. Petitot, pourtant, attire notre attention sur le contenu de la fameuse note du §26 de la Déduction Transcendantale où Kant affirme explicitement que : « l'unité de cette intuition *a priori* appartient à l'espace et le temps, et non au concept de l'entendement » (Kant, 1980d : 873; B161; Ak III : 125).

Mais c'est Kant qui dans cette même note nous renvoie au § 20 qui a comme titre l'affirmation suivante : « *toutes les intuitions sensibles sont soumises aux catégories, comme aux conditions qui permettent seules d'en rassembler le divers dans une conscience* » (Kant, 1980d : 860; B143; Ak III : 115). Et dans le texte qui suit cette note, Kant soutient emphatiquement que l'unité de l'intuition n'est pas possible sans l'unité originaire de l'aperception, qui est le principe de tout usage de l'entendement :

> Le donné, divers, dans une intuition sensible entre nécessairement sous l'unité synthétique originaire de l'aperception, puisque c'est par elle seulement qu'est possible l'*unité* de l'intuition (§17). Or l'acte de l'entendement, par lequel le divers de représentations données (que ce soient des intuitions ou des concepts) est ramené à une aperception en général, est la fonction logique des jugements (§19). Tout divers, en tant qu'il est donné dans une intuition empirique, est donc *déterminé* par rapport à l'une des fonctions logiques du jugement, par laquelle il est ramené à une conscience en général. Or, les *catégories* ne sont autre chose que ces mêmes fonctions du jugement, en tant que le divers d'une intuition donnée est déterminé par rapport à elles (§13). Le divers dans une intuition est donc nécessairement soumis à des catégories. (Kant, 1980d : 861; B 143; Ak III: 115).

Alors si l'on revient à la fonction transcendantale du concept d'amplitude de probabilité comme l'analogue en mécanique quantique de la géométrie spatio-temporelle, on doit le supposer comme porteur d'une unité synthétique. Dans le cadre de la méthode transcendantale suivie par Petitot, cette unité doit avoir une base intuitive, non nécessairement spatio-temporelle, et une base catégorielle. En ce qui concerne la nouvelle base intuitive qui conditionne le concept d'amplitude de probabilité, Petitot semble suggérer l'espace abstrait d'Hilbert comme la forme *a priori* de l'esthétique transcendantale quantique. Du côté analytique, l'amplitude de probabilité a un rapport direct avec le principe des anticipations de la perception et indirectement avec les axiomes de l'intuition. Petitot à plusieurs reprises démontre ainsi une compréhension

plus élargie de l'Esthétique Transcendantale qui, malgré le recul que lui-même a manifesté vis-à-vis du philosophe néo-kantien, semble très proche de l'interprétation proposée par H. Cohen. Ainsi par exemple il délimite le champ de l''Esthétique transcendantale' de façon à englober l'Analytique et même la Phoronomie et la Dynamique de la façon suivante : « l'Esthétique transcendantale et les principes associés que sont les Axiomes de l'intuition (avec la Cinématique correspondante), ainsi que les Anticipations de la Perception (avec la Dynamique correspondante) » (Petitot, 1994 : 210). A notre avis, Petitot met le doigt sur ce qui reste l'un des points les plus problématiques de la doctrine kantienne face à la théorie quantique, à savoir le principe des anticipations de la perception. Ce principe a une double signification : d'un côté il permet une dérivation déterministe de la physique newtonienne et il incarne, selon l'interprétation de H. Cohen, le noyau de la méthode transcendantale. Si nous voulons comprendre la pertinence de la méthode transcendantale vis-à-vis de la mécanique quantique, l'un des principes à modifier c'est justement ce principe des anticipations de la perception, qui a toujours été oublié dans les considérations sur l'actualité ou le dépassement du cadre épistémologique kantien.

Si comme le suggère Jean Petiot, le concept d'amplitude de probabilité prend sa place en tant que principe mathématique de l'entendement, cela entraîne des conséquences philosophiques assez intéressantes. Ce que Petitot est en train de faire, avec très peu de modifications au niveau de la méthode transcendantale c'est de la rendre parfaitement compatible avec le formalisme probabiliste, non déterministe, de la mécanique quantique. Pour cela le changement plus capital au niveau de la théorie kantienne doit porter sur les principes mathématiques car ce sont eux qui rendent l'anticipation de l'expérience possible, ou plus spécifiquement des grandeurs intensives, dan le cadre du formalisme d'un vecteur d'onde de type probabiliste qui s'inscrit dans l'espace abstrait d'Hilbert.

Etant donné son importance transcendantale, le concept d'amplitude de probabilité permet en plus de réinterpréter les catégories de substance, causalité et interaction, comme nous allons le voir par la suite.

9.3. La nouvelle construction des catégories

La nouvelle construction des catégories s'insère, dans l'approche de Jean Petitot dans ce passage de l'objet général à l'objet régional. Ainsi, il écrit :

> Pour chaque objet régional, les catégories de l'objectivité doivent être non seulement schématisées mais également construites dans les formes correspondantes de la manifestation phénoménale. (Petitot, 1991 : 87)

Chez Kant, le passage de l'objet en général à l'objet régional, se réalise justement dans les *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature.* C'est précisément à ce moment-là, au niveau de la régionalisation de l'objet qu'on peut parler au sens propre de construction des catégories. Comme Petitot le remarque bien, il n'y a pas de construction de catégories au niveau de l'Analytique Transcendantale. On a bien étendu une déduction transcendantale valable universellement à tous les objets d'une expérience possible.

> Le système catégorial s'applique, et les catégories qui sont non constructibles relativement à l'objet en général deviennent constructibles, parce que le phénomène noyau qu'on essaye d'objectiver – dont on essaye d'élaborer la physique, en l'occurrence la mécanique –« comprend en soi », comme dit Kant, une intuition pure. (Petitot, 1991 : 88)

C'est ainsi au niveau des *Premiers principes* que se donne vraiment la construction des catégories :

> Comme noyau empirique minimal, le concept empirique régional de corps (d'objet matériel) spécifie l'objet en général et c'est à travers une telle spécification que *le schématisme devient construction*. (Petitot, 1991 : 89)

Pour qu'on puisse comprendre le véritable sens de la construction des catégories dynamiques proposée par Petitot, il faut la situer par analogie avec la procédure entreprise par Kant dans le passage du système des principes de l'entendement pur aux premiers principes de la science de la nature. Comme nous l'avons vu dans la partie précédente, les interprètes de Kant, d'inspiration néo-kantienne, défendent contrairement à l'ordre de l'exposition de la *Critique de la raison pure*, que les

catégories ont été déduites des principes de l'entendement pur et que ceux-ci, à leur tour, ont été dérivés des principes de la science newtonienne. C'est dans ce cadre que Vuillemin et Philonenko soutiennent que c'est la physique, et non la logique, qui fournit le fondement même des catégories. Le projet de Petitot s'aligne bien sur cette interprétation. Pour lui, la structure transcendantale des théories physiques ne se laisse apercevoir qu'au travers de l'élargissement de l'interprétation mathématique des catégories : « si l'on met entre parenthèses le contenu mathématique spécifique des théories physiques, on n'a donc plus aucune possibilité d'accéder à leur signification transcendantale » (Petitot, 1994 : 208).

Il nous offre dans ses textes la dérivation constructive des catégories de substance, de causalité et d'interaction en prenant comme « fait de la science », dans le sens soulevé par H.Cohen, la physique contemporaine. On découvre paradoxalement chez Petitot la défense la plus explicite en faveur de l'universalité des principes dynamiques kantiens. Le caractère paradoxal se manifeste par le contraste avec sa proposition de régionalisation de l'esthétique transcendantale. Son projet propose ainsi d'intégrer la régionalisation des formes d'intuition, relatives à chaque domaine spécifique de la connaissance mathématique de la nature, à l'universalisation des catégories dynamiques.

Dans le rapport entre les *Premiers principes de la science de la nature* et la *Critique de la raison pure*, les catégories de substance, causalité et interaction sont dérivées respectivement des principes de la conservation de la masse, de la loi d'inertie et de la loi d'action et de réaction. Petitot, dans son entreprise d'actualisation de la réflexion transcendantale, présente les dérivations de la catégorie de substance à partir du théorème de Noether, la catégorie de cause à partir de la Relativité Générale et la catégorie d'interaction à partir des théories de Jauge. Nous allons examiner maintenant chacune de ses trois corrélations.

Dans le premier cas, le théorème de Noether permet pour Petitot d'approfondir la signification transcendantale du principe de conservation de la substance. Kant a essayé de montrer dans la première analogie de l'expérience que l'une des conditions dynamiques *a priori* pour la structuration des théories scientifiques est celle qui attribue à la détermination du phénomène un substrat permanent dans tous les changements. Le principe physique qui jouait ce rôle était pour Kant la loi de conservation de la masse.

Aujourd'hui on a un référentiel théorique plus puissant, qui, selon Petitot, « domine la physique, de la mécanique rationnelle à la théorie quantique des champs ». Il s'exprime par le théorème de Noether.

En effet, Emmy Noether (1918) a prouvé, dans son célèbre article, deux théorèmes sur la connexion profonde entre les symétries et les lois de conservation. Ils s'appliquent à certaines classes de théories, décrites soit par un Lagrangien soit par un Hamiltonien, ce qui est le cas de la plupart des théories en physique. Le premier s'applique aux symétries liées aux groupes de transformations de dimensions finies (symétries globales), et l'autre aux symétries liées aux groupes de transformation de dimensions infinies (symétries locales). Les symétries globales dépendent des paramètres constants et les symétries locales dépendent des fonctions arbitraires de l'espace-temps. Le premier théorème de Noether est plus célèbre car il permet la connexion entre les symétries et les principes de conservation[203]. Il associe des quantités physiques conservées aux symétries des lois de la nature. Ainsi la symétrie de translation dans le temps (phénomène invariant dans le temps) correspond à la conservation de l'énergie, celle de translation dans l'espace à la conservation de l'impulsion, celle de rotation dans l'espace à la conservation du moment cinétique. Ce théorème s'applique aussi à la théorie quantique standard, dans laquelle des degrés de liberté non-spatio-temporels additionnels sont attribués au système.

Pour Petitot la convention entre l'essence mathématique et l'existence dynamique au cœur de la théorie kantienne du schématisme est assurée par le théorème de Noether. Selon ses propres mots : « c'est en quelque sorte *le* théorème transcendantal qui donne raison à Kant au-delà de tout ce qu'il pouvait espérer » (Petitot, 1994 : 209).

Le deuxième cas analysé par Petitot porte sur la dérivation constructive de la catégorie transcendantale de cause à partir de la Relativité Générale. Contre le préjugé selon lequel la théorie de la relativité générale aurait rendu invalide l'Esthétique Transcendantale de même que les principes mathématiques qui la complètent, celui des axiomes de l'intuition et celui de l'anticipation de la perception, l'analyse de Jean Petitot essaye de montrer qu'en fait la relativité générale conduit plutôt à une généralisation qu'à une annulation de l'Esthétique transcendantale. Dans ce processus

[203] Cf. Brown, H. R., and Brading, K. A. (2002).

de généralisation de l'Esthétique, l'analyse transcendantale de la Relativité Générale a mis en évidence le passage « du niveau métrique global au niveau différentiable local » (Peitiot 1994 : 211). Cette nouvelle structure différentiable est toutefois physiquement déterminante, d'où sa dimension synthétique *a priori*. Le concept de force et par conséquent la catégorie de causalité devient assimilable par la Relativité Générale. Nous retrouvons la dynamique non absolument réduite à la géométrie mais entièrement redéfinie par la géométrie.

Nous arrivons enfin au troisième cas analysé par Petitot de construction de la catégorie d'interaction par les théories de Jauge. En théorie quantique des champs les théories de jauge se présentent comme un outil puissant pour retrouver l'invariance des équations des champs sous une symétrie locale. La description quantique de l'interaction électromagnétique repose sur la théorie invariante des perturbations, formalisme théorique parachevé par Richard Feynman. Les interactions quantiques sont décrites comme de petites perturbations locales du champ électromagnétique. Selon Petitot, lorsque l'on étudie de plus près les propriétés du champ qui apparaissent après avoir imposé une symétrie locale, on s'aperçoit que ce champ n'est rien d'autre que le champ électromagnétique et électrodynamique quantique et qu'il peut donc être interprété dans le cadre de la théorie de jauge. Le champ électromagnétique prend donc son origine dans la symétrie vis-à-vis du potentiel électrique. Les itérations physiques découlent des propriétés géométriques des symétries. Cela pour Petitot est un exemple remarquable de la détermination *a priori* constitutive des phénomènes : « les principes constitutifs (groupes de relativité, symétries) fournissent des lagrangiens, qui fournissent à leur tour des intégrales de Feynman, qui fournissent elles-mêmes les modèles spécifiques des phénomènes » (Petitot, 1992b : 297 ; 1997 : 227). Le développement technique de ces dérivations est très difficile à suivre si l'on ne dispose pas du formalisme mathématique de la géométrie différentielle non-commutative. les conséquences philosophiques de cette démarche et l'impact sur la doctrine kantienne sont dans le cadre de notre travail le plus important.

9.4. Le rôle constitutif de la symétrie en physique

Nous venons de voir que la construction des catégories dynamiques de substance, causalité et interaction en partant respectivement du théorème de Noether, de la Relativité Générale et des théories de Jauge, ont comme présupposé fondamental le concept de groupe de symétrie. Petitot lui l'interprète comme la réalisation contemporaine la plus spectaculaire du schématisme kantien. Voyons pourquoi.

Nous avons décrit dans la première partie de ce travail le schématisme en tant qu'une méthode que suit l'entendement à l'égard du schème transcendantal de l'entendement pur. Celui-ci est « un troisième terme, qui doit être homogène d'un côté à la catégorie, de l'autre au phénomène, et qui rend possible l'application de la première au second. Cette représentation médiatrice doit être pure (sans rien d'empirique) et cependant d'un côté *intellectuelle*, et de l'autre *sensible* » (Kant, 1980d ; A138/B177 ; Ak III, 134). Ce sont les schèmes qui entreprennent la synthèse entre l'esthétique et l'analytique. Pour Kant, ils sont des produits de l'imagination dont la fonction principale n'est pas de créer des images mais de produire l'unité du divers de la sensibilité. Kant sépare ainsi les schèmes des images, en montrant que les concepts n'ont pas pour fondement les images, mais les schèmes. Pour les concepts sensibles, les schèmes sont des règles qui permettent la construction des images. Néanmoins, pour les concepts purs, les schèmes sont « quelque chose qui ne peut être ramené à aucune image » (Kant Ak III, 136). Dans sa fonction synthétique d'objectivation du phénomène physique, les schèmes doivent réaliser la mathématisation du phénomène et rendre possible la dérivation des lois de la physique. Seules les mathématiques permettent aux concepts de s'interpréter sur les phénomènes pour construire l'objectivité. Les concepts ne peuvent synthétiser les phénomènes qu'en mathématisant leur forme. C'est justement sur cet aspect fondamental du schématisme que Petitot fonde son interprétation transcendantale. Il rétablit le problème central du schématisme dans les termes suivants :

> Comme seules les mathématiques offrent l'exemple d'une méthode générative permettant de transformer des significations en objets (idéaux), il faut donc substituer au sémantisme des catégories régionales une construction mathématique explicite et spécifique. C'est le schématisme. Mais pour opérer

> une telle substitution, pour en contrôler l'analogie, il faut une idée directrice, une métarègle. Cette « règle d'or » critique est que l'apparaître des phénomènes est conditionné par des intuitions pures (donatrices originaires, esthétique transcendantale), que ces intuitions sont mathématiquement déterminables *et que c'est à partir de cette détermination qu'il faut effectuer la schématisation*. (Petitot, 1992a : 55-56)

Néanmoins les schèmes étaient des déterminations du sens interne, c'est-à-dire, du temps, étant donné que le temps est, pour Kant, la forme *a priori* du sens interne. Pour Petitot il s'agit maintenant d'introduire un principe spatial plus général que celui du temps pour entreprendre la mathématisation du sens. Son programme d'actualisation du transcendantal est donc de *spatialiser le sens* dans la direction suggérée par René Thom de géométrisation des concepts (Cf. Petitot, 1992[a] : 57-58). Et pour synthétiser les phénomènes temporels selon les concepts de l'entendement afin de rendre possible la constitution des objets, en termes d'objets scientifiques, il faut d'abord géométriser le temps. Mais cette géométrisation s'inscrit dans un cadre formel plus général où sont postulés d'autres espaces sémantiques dont les structures sont plutôt différentiables que métriques. Dans cette approche, les schèmes ne correspondent plus aux déterminations du temps, mais correspondent à des règles de symétrie de groupes, dont la structure est clarifiée par la notion algébrique d'invariance. Comme nous l'avons souligné précédemment dans le cas du théorème de Noether, le concept d'invariance sous certaines transformations est devenu un outil puissant pour dériver les lois dynamiques de conservation à partir des transformations de groupes de symétries.

Etant donné la place essentielle que tient la notion d'invariance, sous-jacente à la notion de symétrie, dans la constitution de l'objectivité physique, Petitot lui accord un rôle constitutif majeur dans son projet d'actualisation du schématisme transcendantal. En se basant sur l'analyse de Jules Vuillemin (1955), Jean Petitot (1997) considère que Kant a été le premier à avoir affirmé le rôle constitutif des symétries spatiales pour l'objectivité physique. Pour Petitot, le rôle philosophique des symétries de groupe représente « une vaste généralisation de l'Esthétique Transcendantale ». Les structures mathématiques et, en particulier, les groupes de symétries, sont constitutives de l'objectivité physique. Quand Jean Petitot parle alors de cette généralisation de l'Esthétique transcendantale mise au point par le concept de groupe, soulignant en

même temps son rôle constitutif, nous ne devons pas non plus perdre de vue sa compréhension amplifiée de l'Esthétique transcendantale. Elle comprend non seulement les formes de l'intuition sensible mais aussi les principes mathématiques de l'entendement. Il convient de rappeler que Kant a d'ailleurs introduit cette notion de constitutif justement dans le cadre des principes mathématiques de l'Analytique transcendantale. Les deux premiers principes de la table de jugements synthétiques *a priori* sont justement constitutifs parce que ce sont eux qui rendent légitime l'application des mathématiques à l'expérience. Ils sont ainsi constitutifs de l'intuition car pour Kant ce sont eux qui « peuvent en effet donner lieu à une certitude intuitive » (Kant, 1980d, A162/B201 ; AK III, 148). Ainsi ce n'est pas possible de concevoir l'intuition sensible sans les principes mathématiques de l'entendement pur.

Cassirer (1995) considère aussi que le concept de groupe nous permet de nous élever au-dessus de toute intuition spatio-temporelle de la pensée mathématique pour accéder à la pureté de la méthode mathématique en tant que telle et à la théorie purement intellectuelle des opérations. En effet, affirme Cassirer, « si le concept de groupe doit être introduit dans la définition de la géométrie et si toute géométrie se laisse désigner comme théorie des invariants relativement à un groupe déterminé, alors, dès la détermination du concept de géométrie intervient un élément purement *a priori* » (Cassirer, 1995 : 58). Il nous rappelle que Poincaré (1902 : 91) a été le premier à tirer des conclusions épistémologiques de ce concept : « le concept général de groupe préexiste, en notre esprit au moins en puissance. Il s'impose à nous non comme forme de notre sensibilité, mais comme forme de notre entendement. Parmi tous les groupes possibles, il faut seulement choisir celui qui nous servira d'étalon auquel nous rapporterons les phénomènes naturels ». Jean Petitot, de son côté n'explicite pas de quel côté, sensibilité ou entendement, on doit placer le concept de groupe de symétrie. Mais, implicitement il donne la réponse. Les symétries, pour lui, réalisent la fonction prescriptive transcendantale de constitution de l'objectivité, à la fois normative et conventionnelle, en imposant des contraintes sur des théories physiques. La condition d'invariance sous un groupe de transformation impose des restrictions importantes à la forme qu'une théorie peut prendre, limitant les types de quantités qui peuvent apparaître dans la théorie aussi bien que la forme de ses équations fondamentales. « Les symétries imposent une auto-limitation à ce que la théorie peut connaître et dire qu'elles sont

constitutives c'est dire que *ce que la théorie peut connaître est déterminé par ce que la théorie ne peut pas connaître* » (Petitot, 1997 : 232). Nous ne pouvons pas nous empêcher de rapprocher ainsi la perspective de Petitot de celle de H. Cohen et surtout de Cassirer quant à la signification de l'Esthétique transcendantale. Le concept de groupe de symétrie nous permet maintenant d'avoir une vue privilégie, que même Cohen n'a pas pu envisager, sur le rôle des principes mathématiques dans la constitution de l'intuition, qu'elle soit une intuition géométrique ou une intuition empirique.

Ce rôle transcendantal déterminant des symétries pour la constitution de l'objectivité physique s'oppose, tant à une ontologie substantialiste qu'à un idéalisme subjectif. Cela parce que l'objectivité n'est pas dérivée d'un rapport avec une réalité ontologique profonde, mais d'une structure mathématique construite dans l'intuition, non nécessairement sensible, selon l'approche de Petitot. Elle ne découle pas non plus d'un idéalisme psychologique, car l'objectivité n'est pas définie par la succession de perceptions qui se succèdent les unes aux autres. Pour fonder l'expérience, il faut d'abord la quitter, c'est-à-dire quitter son effectivité psychologique et naïve qui repose sur des conditions subjectives, et se tourner vers ses conditions mathématiques de possibilité. En effet, la seule expérience qui puisse valoir en tant que telle pour l'analyse philosophique est pour Petitot l'expérience scientifique, et en particulier l'expérience physico-mathématique, car le reste n'est pour elle qu'une succession de phénomènes indéterminés.

Petitot réserve aussi au-delà du rôle constitutif des symétries, un rôle régulateur dans le sens de l'idéal de la raison pure : « il existe un *telos* de la géométrisation en physique : transformer des principes de symétrie en principes dynamiques » (Petitot, 1997 : 231). Ce rôle régulateur se manifeste chez lui dans sa fonction heuristique : « ce principe est devenu *le principe de découverte* majeur des théories physiques contemporaines ». Dans le même sens Brigitte Falkenburg (1988) nous présente une analyse rigoureuse et éclaircissante de la fonction épistémologique des symétries dans la physique des particules. Pour elle le principe de symétrie, en tant que principe transcendantal régulateur, est dérivé de l'activité de la raison dans son rôle à promouvoir une unité systématique de la nature. Les symétries sont ainsi interprétées comme des principes d'unification et de systématisation des phénomènes contingents et fonctionnent comme guides dans la recherche de nouvelles structures théoriques

fondamentales. Dans le sens que Kant donne aux principes régulateurs dans la troisième *Critique*, les symétries sont des propriétés de théories et de lois naturelles et seulement indirectement elles sont en rapport avec les objets physiques et pour cela elles ne possèdent pas de réalité objective. Au service de l'intérêt de la raison dans l'établissement d'une unité systématique des diverses lois empiriques contingentes, les symétries permettent de constituer la nature en tant qu'un système, dont l'unité n'est jamais accomplie mais est imposée comme une tâche de l'activité scientifique.

9.4 L'objectivité quantique

Le néokantisme de Petitot identifie l'objectivité au mouvement d'auto-limitation de la raison mathématique. Cette identification présuppose donc les différents moments transcendantaux de la doctrine kantienne (Esthétique, Analytique, etc.). Petitot depuis son ouvrage *Morphogenèse du sens,* envisage de les réformer à travers une critique épistémologique du structuralisme. En faisant cela quelques problèmes, au niveau de la cohérence de la méthode transcendantale, se présentent.

Reprenons Kant. Le processus de la connaissance présupposait une certaine unité entre les formes de l'intuition et les catégories *a priori.* Celles-ci peuvent être bien distinguées, mais l'unité ne se divise pas. Mais du point de vue du raisonnement de Petitot, cette unité kantienne (l'invariante schématique) est sortie de ses limites pour déborder vers un projet phénoménologique-structuraliste d'une auto-objectivation, dans le sens défini par Habermas (1976 : 338). De même que Von Weizsäcker, Petitot soutient que « les a *priori* sont matériels et non formels, historiques et non absolus ». Les *a priori* sont historiques, dans le sens : « où ils dépendent (...) du développement de la conceptualité mathématique susceptible de leur assigner un contenu ». (Petitot-Cocorda, 1985 : 286). Cette notion d'historicité met en cause l'universalité et la nécessité des *a priori* qui doivent avoir une validité objective et absolue. Mais nous pouvons penser comme Von Weizsäcker que la nécessité et l'universalité sont soit particulièrement relatives à une certaine région de la connaissance soit généralisées vu que le contenu de ces *a priori* va en s'élargissant, voire se sophistiquant, au fur et à mesure que les mathématiques se développent. Les *a priori* deviennent ainsi matériels,

définis dans ce processus d'auto-objectivation de la structure mathématique. Alors la notion kantienne d'idéalité transcendantale, basée sur des *a priori* purement formels, devient très problématique. On va donc vers une objectivation, dans un sens non kantien, des structures de la raison, dans une espèce d'enracinement des structures dans l'esprit humain.

Un autre problème de cohérence de la méthode transcendantale concerne l'assertion second laquelle les catégories sont régionales, Petitot observe :

> Cela ne restreint en rien la portée du schématisme. Au contraire. Il s'agit toujours de conditionner des catégories par une intuition et donc de renvoyer un pôle catégorial et un pôle intuitif à une *racine commune*. (…) Ce que nous appelons alors schématisme généralisé ne concerne plus forcément le temps. C'est une analogie géométrique permettant à une catégorie régionale de s'appliquer à une région phénoménale et d'acquérir, pour cette région, une valeur objective en devenant la règle des objets. (Petitot-Cocorda, 1985 : 286)

Malgré l'unité kantienne perdue, Petitot défend quand même la nécessité de la schématisation sur d'autres bases. Le schématisme est la construction d'un concept dans une intuition mathématiquement déterminée. En ce sens, la schématisation des catégories est la base de chaque constitution d'objectivité. On peut dire que la mathématisation de la théorie doit suivre la route des schématisations de ces concepts primitifs. Dans cette voie, Jean Petitot cherche à réinterpréter *la Critique de la raison pure* pour définir les nouvelles modalités régionales de la constitution de l'objectivité. Il suggère que la portée ontologique des invariants est coextensive au développement interne de la pensée mathématique. La transposition d'une telle théorie épistémologique au champ de la mécanique quantique comporte l'exigence d'une zone dans laquelle fleurissent les dangereuses analogies d'ingérence ontologique.

L'un des points les plus délicats de sa conception régionale de l'objectivité quantique réside dans la disjonction ontologique entre être et phénomène, qu'il identifie chez Bernard d'Espagnat (1994) et qu'il suppose avoir une nature typiquement transcendantale :

> On admet l'hypothèse qu'il peut y avoir une réalité ontologique 'en-soi' sous-jacente aux phénomènes. Celle-ci reste toutefois inobservable. Elle ne saurait par conséquent être l'*objet* d'une connaissance physique. Les théories physiques

> portent et ne peuvent porter que sur les manifestations de cette réalité, c'est-à-dire sur des *observables* micro-physiques. Le concept de phénomène reste donc ici défini, comme il se doit, par l'équivalent d'une *réceptivité*. Mais la réceptivité n'est plus notre réceptivité sensorielle adaptée aux phénomènes macro-physiques. Elle s'identifie à l'ensemble des appareils d'observation. (Petitot, 1997 : 205)

Pour Jean Petitot (1991 et 1997), le caractère transcendantal de la mécanique quantique se manifeste premièrement dans la présupposition de l'existence d'une réalité microphysique inobservable et que l'on ne peut pas atteindre; deuxièmement dans le fait que les théories physiques se rapportent à la manifestation de cette réalité comme phénomène, résultant de l'interaction entre le sujet et le monde. Dans le cadre de la réceptivité de notre sensibilité à recevoir des impressions, la différence par rapport au traitement kantien donnée à la mécanique newtonienne est que les phénomènes microphysiques (inobservables) pour être étudiés, sont amplifiés de façon convenable et transformés en des phénomènes macrophysiques. La réceptivité sensorielle n'est plus celle d'un sujet percepteur, mais elle devient un ensemble d'appareils d'observation, qui produit un effet qui ne s'élimine pas, exprimé par le principe de l'incertitude. L'impératif transcendantal de réduction de la connaissance au phénomène suppose l'acceptation du fait que la réalité quantique, au-delà de toute théorie et de toute expérience possible demeurera inaccessible pour toujours. Ainsi Jean Petitot part de l'hypothèse selon laquelle l'épistémologie de la mécanique quantique, prenant comme référence la réceptivité de la sensibilité est par principe, de nature transcendantale.

Même en supposant que la perspective transcendantale est bien la troisième voie entre le réalisme ontologique, qui prétend décrire l'être microphysique, et le phénoménisme mentaliste, de nature également descriptive, qui prétend décrire la pure manifestation des phénomènes, la disjonction ontologique être/phénomène est prise comme point de départ. L'objectivité quantique est donc basée sur le dualisme entre le phénomène microphysique, qui se présente macro-physiquement comme résultat d'une interaction insécable entre l'objet et l'appareil de mesure, et une réalité ontologique microscopique, inobservable et inconnaissable. Petitot fait ressortir que cette relation entre phénomène et réalité microphysique n'est pas binaire, mais ternaire. Au-délà des deux pôles il y a le concept d'objet, dont la nature est essentiellement légale et

normative. L'objet, pour Petitot, ne se confond pas avec le phénomène, dans la mesure où il « n'est pas donné dans la donation du phénomène ». Lui non plus ne peut être identifié à une réalité microscopique. Il est descriptif dans le sens où il est l'expression « des actes de légalisation des phénomènes ». Aussi pour Petitot, cette réalité indépendante, qu'on peut identifier à la chose en soi, ne peut pas être interprétée en termes ontologiques, comme une affection transcendante qui serait la cause du phénomène. Elle est avant tout une loi de la pensée dont la fonction réalise la régulation systématique du domaine de l'expérience ; en cherchant à fonder l'unité de l'expérience et ses limites.

Néanmoins, cette nécessité de distinguer la réalité indépendante sous-jacente et la réalité empirique observable et effective comme l'une des thèses fondamentales de l'interprétation transcendantale n'est pas partagée par tous ceux qui s'attachent à la perspective critique. Dans le cadre des approches transcendantales de la mécanique quantique, mais plus pragmatique que Jean Petitot, Michel Bitbol est très réticent à parler d'une réalité microphysique, inobservable et intangible, comme l'une des idées de l'epistémologie transcendantale des phénomènes macrophysiques ; de même que d'un concept d'objectivité transcendantal comme ordre légal à être imposé à la nature. Pour lui, ce sont plutôt le concept de contextualité, c'est-à-dire, la dépendance des phénomènes physiques par rapport au contexte expérimental, et la structure d'anticipation d'un ordre légal, dans le but de prédire les résultats de mesure pour une situation expérimentale reproductible, les conditions fondamentales pour réaliser une déduction pragmatico-transcendantale de la mécanique quantique. Par cette démarche, M. Bitbol propose de déplacer le problème transcendantal : des conditions de possibilité de la constitution de l'objet aux conditions de possibilité d'une activité de recherche orientée vers l'anticipation des résultats de mesure. Comme Petitot, il refuse tant les approches réalités que celles empiriques phénoménistes. Mais en revanche, en mettant l'accent plutôt sur le caractère pragmatique, il rejette aussi la disjonction ontologique être/phénomène comme intrinsèque à une approche transcendantale capable de rendre compte du problème de la mesure soulevé par la théorie quantique.

Nous allons montrer dans le prochain chapitre que l'effort de Jean Petitot pour faire dériver les conditions logico-mathématiques de la constitution du phénomène quantique par des raisonnements transcendantaux est déjà un pas important mais non

suffisant pour atteindre la nature effectivement intersubjective de la mécanique quantique. Une fois explicité le niveau constitutif structurellement mathématique, il faut atteindre le niveau performatif où la dimension de l’action et de la communication ne peut plus être négligée. C’est pour cela que le dernier chapitre de notre travail doit aboutir au pragmatisme transcendantal.

Chapitre 10
Le pragmatisme transcendantal en mécanique quantique

10.1. Introduction : Le problème du langage ordinaire en mécanique quantique

Le but principal de ce dernier chapitre conclusif de la thèse est de montrer que les nouvelles formes transcendantales qui offrent une meilleure visibilité aux problèmes épistémologiques soulevés par la mécanique quantique n'arrivent à bon terme que si on les situe sur l'optique pragmatico-transcendantale. Il est surprenant de remarquer que le tournant pragmatico-linguistique, qui a bouleversé les piliers de la philosophie contemporaine du vingtième siècle, a surgi, de façon complètement indépendante du mouvement philosophique, au cœur même de l'interprétation complémentaire de la mécanique quantique. D'après Bohr, le langage ordinaire joue un rôle central dans l'élucidation des paradoxes épistémologiques créés par la mécanique quantique.

Le problème de la place du langage ordinaire en mécanique quantique selon l'interprétation complémentaire, a une double portée. D'une part, il s'agit de l'impossibilité de toute sorte de description univoque de la nature microphysique, en utilisant des concepts du langage ordinaire, sans que l'on tombe inévitablement dans des contradictions insurmontables. D'autre part, on ne peut passer outre les concepts du langage ordinaire pour décrire et communiquer les résultats expérimentaux dont le physicien quantique doit nécessairement rendre compte. L'idée est que nos expériences, consistant en actions et observations, doivent toujours être décrites en langage ordinaire. Nous souhaitons dans cette phase finale de notre travail justement conduire cette question vers le domaine sémantique et pragmatique d'analyse du langage, en cherchant à montrer la pertinence de l'approche transcendantale dans le traitement du paradoxe du langage présenté par la mécanique quantique à partir des impasses des approches sémantiques.

Le problème de la limitation du langage commun n'existait pas dans la physique avant l'émergence de la mécanique quantique. Depuis Galilée, la physique cherche à comprendre les phénomènes de la nature à travers l'introduction d'un formalisme

mathématique, dont les symboles doivent être mis en relation avec les faits expérimentaux, plus précisément avec les résultats de mesure. Les lois de la nature sont exprimées en équations au moyen de ces symboles mathématiques, corrélés par un système rigoureux de définitions et d'axiomes. Certains de ces symboles (les variables et les constantes) sont associés à des grandeurs et des constats physiques qui rendent évidents leurs liens avec les mesures. Le formalisme mathématique représentera l'ensemble des phénomènes tant que persistera le lien entre symboles et mesures. En physique classique on peut établir une correspondance biunivoque entre la paire de variables conjuguées qui suivent une évolution continue, donnée par une équation différentielle, et les mesures simultanées des grandeurs physiques associées à ces variables. L'un des résultats de cette association est l'émergence du concept de trajectoire, traduisant l'isomorphisme entre l'évolution temporelle du formalisme symbolique et l'évolution temporelle perceptible par l'observation du mouvement d'un corps matériel. Cet isomorphisme nous permet d'anticiper de façon parfaitement déterministe la position et l'impulsion d'un corps en mouvement à tout instant. Le formalisme mathématique de la physique classique est alors associé au langage ordinaire de notre perception de façon à donner une expression concrète au symbolisme abstrait des lois théoriques.

La réussite extraordinaire de ce lien étroit entre des symboles et des mesures a inspiré le Cercle de Vienne, en particulier Carnap (1931 et 1932/33) et Neurath (1931, 1931/2 et 1932/33), dans la réalisation du projet « physicaliste, » à savoir, faire du langage de la physique le langage universel de toute science. Une proposition serait dotée de signification si elle pouvait être traduite dans le langage de la physique, un langage d'objets et de choses, qui exprime, à l'aide de concepts métriques, des énoncés qui contiennent des termes du domaine des sens. La possibilité de traduire une proposition quelconque, ayant un sens, dans le langage « physicaliste » fait de ce langage un code universel capable d'interpréter toute sorte de proposition véritable et de la physique la connaissance scientifique dans laquelle toutes les autres sont incluses. L'expérience structurée de cette forme par ce langage garantirait l'intersubjectivité de la vérification requise par la science. Le langage scientifique le plus abstrait ou le plus éloigné de l'usage linguistique ordinaire peut être expliqué à n'importe qui dans la langue courante. Cette sorte d'argument pédagogique suppose que si l'on peut parler

d'une situation abstraite ayant un sens, on peut aussi en parler dans le langage familier concret.

Cependant, le problème qui surgit avec la mécanique quantique, celui de l'absence d'un critère adéquat, capable de mettre en corrélation les symboles mathématiques appartenant au langage formel, avec les concepts du langage ordinaire, place l'épistémologie de Carnap devant de sérieuses difficultés. La physique contemporaine se trouve devant une limitation : les phénomènes atomiques ne se laissant pas décrire par les concepts communs issus du langage ordinaire. Toute tentative d'expliquer ce qui arrive dans le monde microphysique à l'aide des concepts dont nous disposons et qui sont rigoureusement applicables aux phénomènes observables entraîne des contradictions impossibles à résoudre. Dans ce cas, l'utilisation du langage ordinaire devient imprécise et extrêmement ambiguë. Si la physique qui traite des événements atomiques pouvait se passer du langage ordinaire, le problème n'existerait pas. En fait, l'usage d'un autre langage, le langage mathématique, qui fournit le substrat pour une description rigoureuse des phénomènes physiques, n'est pas suffisant. Pour décrire les dispositifs expérimentaux et énoncer leurs résultats, les scientifiques font toujours usage du langage ordinaire dont les termes dénotent des propriétés observables d'objets, ainsi que les relations également observables entre eux.

On pourrait donc penser que le problème serait en principe résolu si l'on substituait au langage ordinaire un autre langage, nouveau et précis, qui obéirait à certains schémas logiques et totalement conforme à la formulation mathématique. Un langage non pas purement formel, dans le sens logique, mais un langage physique qui emploierait des termes décrivant sans ambiguïté la réalité des événements atomiques. Comme nous l'avons vu dans le chapitre quatre, d'après Bohr et Heisenberg cette solution serait trompeuse car on ne peut pas et on n'a pas les moyens de substituer un autre langage à celui de la vie quotidienne. Ainsi, selon l'interprétation complémentaire, on ne peut pas échapper au paradoxe de l'usage du langage ordinaire en théorie quantique.

Pourtant, la description des événements atomiques dans la terminologie de la physique classique conduit à une impasse devant le dualisme des descriptions conflictuelles en supposant qu'elles ont un même référent. Ainsi, par exemple, le terme théorique 'électron', terme utilisé dans la théorie quantique, pour l'explication de

phénomènes observationnels autant que pour la description de la nature inobservable de la matière, présente des caractéristiques contradictoires d'onde et de matière, en fonction de la situation expérimentale. Il en est de même pour le terme théorique 'photon', qui est aussi utilisé soit pour expliquer une situation observable soit pour décrire la nature inobservable de la lumière. Ainsi, nous sommes amenés à la situation étrange de considérer qu'une même réalité ou un même référent présente des images intuitives conflictuelles qui s'excluent mutuellement. Si l'on insiste à considérer le terme 'électron' comme l'expression d'un objet de référence qui appartient à une réalité microphysique les contradictions sont inévitables.

La solution trouvée par Bohr est de limiter l'usage des concepts grâce au principe d'indétermination de Heisenberg et à son principe de complémentarité, à la condition qu'on abandonne l'idéal de description spatio-temporelle de la réalité microphysique. Si les physiciens utilisent des descriptions spatio-temporelles qui font usage des concepts classiques comme ceux d'onde et de particule pour les phénomènes qui se présentent dans le laboratoire c'est pour des raisons purement pragmatiques. Les physiciens ont besoin de communiquer leurs résultats expérimentaux et pour cela ils ne disposent que du langage ordinaire. Celui-ci, cependant, pour éviter toute ambiguïté et toute sorte de contradictions, doit être, d'un côté, associé, au formalisme mathématique de la théorie et d'un autre, limité au principe de complémentarité.

Chacune des descriptions complémentaires en termes d'onde et de particule n'est pas compatible avec une théorie de la référence qui suppose comme base une réalité microscopique d'objets inobservables. La contradiction est évitée en considérant que le formalisme est auto-consistant et que chaque cas particulier est consistant avec lui. La confusion surgit au moment où l'on essaye d'inclure en une interprétation unique le formalisme et plus d'un cas d'application expérimentale comme s'ils se référaient à une même réalité inobservable. Ainsi, selon l'interprétation complémentaire de Bohr, en conformité avec le principe de l'incertitude, il y a une ambiguïté inhérente à l'usage du langage ordinaire si celui-ci prétend décrire une réalité inobservable. La seule façon d'éviter cette ambiguïté est d'imposer une limitation de ne pouvoir faire usage des concepts propres au langage commun que d'une façon pragmatique, en appliquant en alternance des concepts classiques distincts qui, utilisés simultanément entraîneraient des contradictions.

L'incomplétude d'une description spatio-temporelle univoque devient un composant essentiel de toute formulation de la théorie quantique. D'où, selon l'interprétation de Bohr, le caractère statistique et probabiliste de ses équations. Contrairement aux équations de la mécanique classique, qui présentent un caractère déterministe, absolu et objectif, la fonction d'onde (ψ) représente non seulement une tendance à l'occurrence d'un événement mais aussi une connaissance limitée de cet événement. Les conditions initiales d'une planète étant données, par exemple, sa position, sa vitesse à un instant déterminé, ainsi que les équations du mouvement, il est possible de prévoir les propriétés du système à un instant quelconque futur ou passé. Voici une description déterministe et, d'une certaine façon, totalement objective. Par contre, dans la mécanique quantique il n'y a aucune manière de décrire ce qui se passe entre deux observations consécutives. Dire que l'électron aurait dû décrire un type de trajectoire dans l'intervalle séparant deux observations, même s'il est impossible de la préciser, argument raisonnable dans la physique classique, est un abus de langage dans la théorie atomique.

Ainsi, la difficulté suscitée par l'usage de la terminologie de la physique classique dans la description des événements atomiques, contournée par l'interprétation complémentaire, conduit à un autre problème : celui de dire ce qui se passe réellement. Puisque la fonction d'onde ne permet pas une description de ce qui arrive dans l'intervalle entre deux observations, le terme "arrive", dans la mécanique quantique, a une utilisation restreinte à l'acte d'observer. L'acte linguistique de décrire un événement est restreint à l'acte pratique d'observer. Cela n'a aucun sens de parler de description au niveau d'une réalité microphysique inobservée.

La fonction d'onde, dont le module du carré ($|\psi|^2$) indique la probabilité d'occurrence d'un événement combine non pas des éléments objectifs et subjectifs, comme l'avait exprimé Heisenberg, mais des éléments objectifs et intersubjectifs. Cela exprime justement la tension entre des conditions de possibilité apparemment conflictuelles : l'objectivité du schéma mathématique, la nécessite d'utiliser le langage ordinaire pour décrire l'expérience et l'inadaptation d'une description spatio-temporelle univoque.

Dans le domaine de la philosophie du langage ce problème fait partie d'un débat encore récent sur la signification des termes théoriques, qui désignent les inobservables

scientifiques tels que ‘atome’, ‘électron’, ‘positron’ ou ‘neutrino’. Le débat sur la signification des termes théoriques a été déclenché surtout par l’article de Carnap de 1956, « The methodological character of theoretical concepts », qui a reçu l’adhésion immédiate de Hempel (1958 et 1963). Le problème à été présenté sur la base de la théorie du double langage, où les termes théoriques acquièrent une signification sur la relation entre le langage théorique de la physique contemporaine et le langage ordinaire de la description factuelle.

Nous cherchons d’abord à exposer la sémantique constructive de Carnap dans l’analyse des concepts théoriques de la mécanique quantique, telle qu’il la présente dans l’article fondateur de 1956, et ensuite à discuter les impasses de sa théorie du double langage en fonction surtout des critiques d’H. Putnam (1962) et G. Maxwell (1970).

10.2. La sémantique analytique en mécanique quantique

10.2.1. La dichotomie entre le langage observationnel et le langage théorique

Nous allons tout d’abord présenter la doctrine du double langage dans la perspective sémantique telle qu’elle a été développée par Carnap (1937, 1956, 1966) et Reichenbach (1944)[204] et discuter ses limites afin d’apprécier les dimensions pragmatico-transcendantales des changements proposés par Bohr.

Le pari méthodologique de l’empirisme logique se base sur le présupposé que les problèmes épistémologiques peuvent être simplifiés et même résolus si l’on prend en considération non pas les mondes physiques, chargés de présuppositions métaphysiques, mais le royaume pur des langages physiques. Il faut ainsi poser autrement les véritables questions de façon à ce qu’elles portent non pas sur l’existence des entités réelles, mais sur la signification des termes dans une proposition. Dans ce projet de trouver un langage idéal dépourvu des termes métaphysiques et composé seulement des termes de

[204] Cette thèse a été aussi soutenue par Braithwaite (1953), Hempel (1958), Rozeboom (1960, 1963, 1970)

contenu empirique, Carnap est confronté au problème des termes théoriques[205], comme ceux que l'on trouve dans le domaine de la microphysique.

Carnap est conscient du fait que même une science comme la physique ne peut pas être accomplie en n'utilisant que des concepts purement empiriques, mais elle doit en même temps employer des théories qui recourent à certains termes non explicitement définissables dans une base de concepts observationnels. Son article « Testability and Meaning » (1936/1937) marque son changement d'attitude par rapport au programme vérificationniste fort de sa phase viennoise. Carnap adopte dès lors l'hypothèse selon laquelle les événements inobservables du monde physique ne peuvent jamais être vérifiés par l'évidence de l'observation. Il propose d'abandonner l'exigence de vérification complète en proposant à sa place le critère plus flexible de confirmation et, au lieu du critère de définition explicite des termes scientifiques [Russell (1918), Carnap (1928)] il propose le critère de réductibilité, en accentuant le caractère ouvert des termes scientifiques et le fait que leurs signifiés ne peuvent jamais être complètement fixés.

En suivant Carnap, dans sa phase américaine, dont le début est marqué par l'article « Testability and Meaning », Hempel (1958) considère que dans ce processus de systématisation scientifique il faut distinguer deux niveaux : le niveau de généralisation empirique et le niveau de formation théorique. Le premier inclut des généralisations de la physique quotidienne tels que 'le bois flotte dans l'eau' aussi que lois quantitatives comme les lois de Kepler, de Galilée ou de Snell et des généralisations botaniques ou zoologiques. Dans le deuxième niveau on trouve des propositions qui se réfèrent aux champs électromagnétiques ou gravitationnels, molécules, atomes ou particules subatomiques. En accord avec cette distinction, le vocabulaire extra-logique de la science empirique est divisé en termes observationnels et en termes théoriques.

Afin de rendre compte du caractère non négligeable des termes théoriques, Carnap a proposé la doctrine sémantique du double langage selon lequel une théorie scientifique est une construction logique systématique exprimée dans un langage propre qui peut être divisé en deux branches : un langage observationnel (L_O) et un langage théorique (L_T). Chacune de ces deux branches possèdent deux classes de constantes : des constantes logiques et des constantes extralogiques ou descriptives. V_O et V_T sont

[205] Pour une présentation détaillée du débat logique et méthodologique autour des concepts théoriques : Cf. Tuomela (1973).

l'ensemble des constantes descriptives primitives (non logiques) des langages L_O et L_T. Le vocabulaire (V_O) du langage observationnel ne contient que des termes directement connectés à notre observation tandis que le vocabulaire (V_T) du langage théorique est constitué de termes non observables.

> Le langage d'observation emploie des termes indiquant des propriétés observables et des relations pour la description des choses observables ou des événements. Le langage théorétique, d'autre part, contient des termes qui peuvent se rapporter à des événements inobservables, à des aspects ou caractéristiques inobservables des événements, par exemple, aux micro-particules comme des électrons, des atomes, au champ électromagnétique ou au champ gravitationnel en physique, aux commandes et aux potentiels de divers genres de psychologie, etc...[206]

Cette division des termes du langage scientifique a conduit à un clivage équivalent au niveau des propositions, qui ont été divisées en propositions observationnelles et propositions théoriques.

Le langage d'observation parle ainsi d'observables. Ce qui est un observable peut être pris tant dans un sens strict que dans un sens large. Le premier, réservé aux termes tels que 'chaud', 'froid', 'bleu', 'rouge', 'grand', 'petit', gros', 'fin', etc., correspond à un niveau pré-scientique de notre langage quotidien. Ce niveau du langage inclut des termes dispositionnels comme 'élastique', 'soluble', 'flexible', 'fragile', etc. Le deuxième sens appartient à un usage scientifique et suppose une technique instrumentale d'observation. Ainsi les termes tels que 'température', 'coefficient d'élasticité', 'courant électrique' ne sont accessibles que par rapport à une méthode de détermination donnée par un arrangement expérimental. Même en supposant que l'on peut avoir plusieurs méthodes de détermination d'un certain terme scientifique comme c'est le cas du courant électrique que l'on peut observer soit par la chaleur produite dans un conducteur, soit par la déviation d'une aiguille magnétique, soit par la quantité de substance séparée dans un électrolyte, ou encore par un autre processus quelconque ; ce

---

[206] "The observation language uses terms designating observable properties and relations for the description of observable things or events. The theoretical language, on the other hand, contains terms which may refer to unobservable events, unobservable aspects or features of events, e.g., to micro-particles like electrons, atoms, to the electromagnetic field or the gravitational field in physics, to drives and potentials of various kinds of psychology, etc." (Carnap, 1956: 38)

qui donne une signification à ces termes est le fait de pouvoir être réduits à un ensemble d'autres termes qui sont déterminés par l'observation directe. Le langage observationnel peut ainsi être subdivisé dans un langage-chose, dont les termes sont directement accessibles, et dans un langage physique, dont les termes sont réduits à des termes du premier. Dans le niveau scientifique, on emploie des termes quantitatifs comme 'coefficient d'élasticité' ou 'température' tandis que dans le langage-chose on emploie des termes qualitatifs 'élastique' ou 'chaud et froid'.[207]

Dans son article de 1956, Carnap remarque qu'il fait un usage strict du terme observable, en excluant les termes scientifiques que les physiciens appellent par le même nom. Du fait que les termes observationnels sont directement accessibles, le langage de l'observation est supposé complètement compris. Les propositions observationnelles sont admises comme sémantiquement non problématiques, c'est-à-dire, comme complètement interprétées, même si l'on reconnaît le caractère hypothétique et consensuel de ces propositions. Ainsi non seulement les termes théoriques mais aussi les termes observationnels impliquent l'accord intersubjectif des membres d'une certaine communauté linguistique par rapport à leur sens. Carnap définit le sens d'une complète interprétation de la façon suivante : « Imaginons que L_O est employé par une certaine communauté linguistique comme moyen de communication, et que toutes les assertions de L_O sont comprises par tous les membres du groupe de même sens. Une complète interprétation de L_O est alors donnée »[208].

Néanmoins, une complète interprétation du langage n'est possible que si l'on reste au niveau du langage observationnel. L'interprétation du langage théorique est toujours partielle. Elle est donnée par les règles de correspondances (C) qui contiennent les termes communs tant à un langage qu'à l'autre, permettant la dérivation de propositions d'un langage à partir des propositions de l'autre. Ces règles opératoires autorisent la dérivation d'énoncés pour les événements observables à partir d'énoncés qui impliquent des notions théoriques plus fondamentales. Les règles de correspondance sont ainsi des propositions qui contiennent autant de termes du vocabulaire V_T que de

---

[207] Cf. Carnap (1938 : 51-54)

[208] « Let us imagine that L_O is used by a certain language community as a means of communication, and that all sentence of L_O are understood by all members of the group in the same sense. Thus a complete interpretation of L_O is given ». (Carnap, 1956: 40).

termes du vocabulaire V_O et qui permettent la réduction d'un terme théorique à des termes observationnels. Si d'une part elles fixent la signification des termes théoriques, d'autre part elles ne les définissent jamais complètement. Une proposition de réduction détermine plutôt partiellement et conditionnellement la signification d'un terme théorique.

A propos de la relation entre termes théoriques et termes observationnels, Hempel (1958 et 1963) discute la question méthodologique suivante : si l'objectif des théories scientifiques est d'établir les connexions prédictives entre les données d'expérience, est-il possible d'éliminer L_T et de ne travailler qu'avec L_O? Ce problème, que Hempel nomme dilemme du théoricien[209], a été présenté par Tuomela (1973 : 3) de la façon suivante :

(1) Les termes théoriques servent ou à établir des connexions prédictives et explicatives ou ils ne servent pas.
(2) S'ils ne servent pas, ils sont dispensables.
(3) S'ils servent, ils établissent des relations entre les phénomènes observables.
(4) S'ils établissent ces relations, les mêmes relations peuvent être établies sans eux.
(5) Si ces relations sont ainsi établies, les termes théoriques sont dispensables.

Donc :

(6) Les termes théoriques sont dispensables.

La doctrine de construction logique de B. Russell (1918) avait posé les bases pour soutenir qu'une proposition théorique qui contient un terme théorique comme 'électron' peut être traduite, sans perdre de signification, en une proposition dont les mots dénotent des entités directement observables. Comme lui même a défini le principe suprême de sa philosophie scientifique : « Dans la mesure du possible, les constructions logiques doivent se substituer à des entités inférées »[210]. Cela veut dire que le mot 'électron' peut être explicitement défini en termes observationnels. Hempel propose des raisons à l'impossibilité d'éliminer L_T, c'est-à-dire, les V_T–termes sont

[209] Cf. Hempel (1958)

[210] "Wherever possible, logical constructions are to be substituted for inferred entities". (B. Russell, 1918 : 155).

indispensables à la science. Carnap[211] confesse que la lecture en 1954 de la première version de cet article de Hempel l'a motivé à écrire *The metholodogical character of theoretical concepts* (1956). Avant ces deux auteurs, Frank P. Ramsey, dans son travail « Theories » (1929), a été l'un des premiers à mettre en évidence que les termes scientifiques ne peuvent pas être explicitement définis sur la base des termes observationnels, en contraste avec le constructivisme d'*Aufbau* de Carnap (1928) et de B. Russell[212].

Le but de cette doctrine du double langage est de trouver un critère de signification des termes théoriques au-delà de programmes réalistes forts qui cherchent à leur donner une valeur ontologique, comme s'ils correspondaient à une réalité non observable. Pour Carnap un terme théorique pour avoir une fonction positive d'explication et de prédiction d'événements observables doit être empiriquement significatif.

Ainsi, la théorie sémantique du double langage peut être exprimée en trois thèses principales :

(T1) Les termes scientifiques peuvent être divisés en termes théoriques et en termes observationnels de façon telle que les termes théoriques ne se réfèrent qu'aux inobservables tandis que les termes observationnels ne se réfèrent qu'aux observables.

(T2) Il est impossible de donner des règles sémantiques pour les termes théoriques tandis que les termes observationnels sont sémantiquement non problématiques.

(T3) Les termes théoriques ne sont que partiellement interprétés par des règles de correspondances avec les termes observationnels non problématiques.

Carnap a trouvé dans la théorie cinétique des gaz un bon exemple pour caractériser la liaison correspondante entre des termes théoriques, comme l'énergie cinétique des molécules et des termes observationnels, comme la température d'un gaz. La règle de correspondance respective serait alors : « la température d'un gaz est proportionnelle à l'énergie cinétique de ses molécules ». Avec des énoncés de ce type on peut voir comment on peut dériver des lois empiriques sur des observables à partir de

[211] Cf. Carnap (1963 : 961).

lois théoriques sur des non-observables. Apparemment, cet exemple de la théorie classique paraît bien marcher avec la doctrine de Carnap. Le problème apparaît un peu plus compliqué si l'on considère le cas de la mécanique quantique. Carnap est conscient de cette difficulté en exprimant de façon laconique la possibilité d'attribuer à la fonction d'onde de la théorie quantique le statut de règle de correspondance :

> La conception de probabilité de la fonction '*psi*' en mécanique quantique pourrait peut-être être considérée comme exemple des règles probabilistes (type C), mais, comparativement, ce que les physiciens appellent souvent « des grandeurs observables », par exemple, la masse, la position, la vitesse, l'énergie, la fréquence d'onde, ne sont pas « observables » dans le sens usuel des discussions philosophiques de méthodologie, et appartiennent donc aux concepts théorétiques dans notre terminologie.[213]

Dans le cas spécifique du terme 'électron', Carnap (1973 : 228-232) le considère comme exemple d'un concept dont la description ne contient que des termes théoriques. Et pour cela il n'y a aucun moyen de le définir en termes observationnels : « il nous faut donc accepter qu'il est impossible de formuler pour notions théoriques des définitions semblables à celles qu'admettent les observables » (Carnap, 1973 : 229). Pour interpréter donc un terme pareil il faut qu'il soit relié à des phénomènes observables au moyen des règles de correspondance. Néanmoins son interprétation reste toujours incomplète et le système de postulats auquel il appartient reste ouvert. Cela veut dire que de nouvelles règles de correspondance peuvent toujours être ajoutées dans un processus sans fin.

> Il serait téméraire de chercher à déterminer des règles de correspondance assez fortes pour que le terme 'électron' soit défini de manière explicite. Ce concept échappe tellement à l'observation simple et directe qu'il vaut mieux lui conserver son caractère théorique et le laisser ouvert à des modifications qui peuvent être suscitées par de nouvelles observations. (Carnap, 1973 : 232).

---

[212] Cf. Braithwaite (1955).

[213] "The probability conception of the psi-fonctions in quantum mechanics might perhaps be regarded as an example of probabilistic C-rules, as some customary formulations by physicists often call "observable magnitudes", e.g., mass, position, velocity, energy frequency of waves, and the liken are not "observable" in the sense customary in philosophical discussions of methodology, and therefore belong to the theoretical concepts in our terminology." (Carnap, 1956: 49)

C'est Reichenbach qui va essayer d'appliquer la doctrine du double langage au cas spécifique de la théorie quantique. De façon légèrement différente de Carnap, Reichenbach, considère que pour le cas spécifique de la mécanique quantique le vocabulaire (Vo) des termes observationnels est défini par rapport aux processus de mesure. Ainsi il précise :

> Nous avons un langage d'observation et un langage quantique. Le langage d'observation contient des termes tels que « le compteur Geiger », « la chambre à brouillard de Wilson », « la ligne noire sur un film photographique », « l'indication du cadran », etc.. ; les expressions « mesure d'*u* », et « le résultat de la mesure d'*u* » sont définies en termes de ces expressions élémentaires. De même, une situation physique *s* peut être définie en termes observationnels (...) Le langage quantique contient des termes comme « la position *q* d'un électron » et « l'impulsion *p* d'un électron ». Entre les deux langages il existe la relation suivante : La vérité ou la fausseté des propositions du langage quantique est définie en termes de vérité et fausseté des propositions du langage d'observation. Nous disons, par exemple, « l'électron a la position *q* », quand nous savons que la proposition, « une mesure de la position a été faite et son résultat a été *q* », est vraie.[214]

Ainsi pour Reichenbach, la signification des propositions du langage de la mécanique quantique est définie par rapport à la signification des termes dans le langage observationnel et en plus, sans la définition des propositions théoriques en termes de propositions obervationnelles, le langage de la mécanique quantique ne pourra même pas être établi.

Nous voyons à quel point cette théorie du double langage de Carnap est éloignée de l'interprétation complémentaire de Bohr. Cette idée de l'incomplétude de l'interprétation liée à celle de l'ouverture du système de postulats théoriques n'est pas

---

[214] "We have an observational language and a quantum mechanical language. The observational language contains terms such as "Geiger counter", "Wilson cloud chamber", "black line on a photographic film", "indication of a dial", etc; the phrases "measurement of u", and "the result of the measurement of u" are defined in terms of these elementary expressions. Similarly, a physical situation s can be defined in observational terms (…) The quantum mechanical language contains terms like "position q of an electron" and "momentum p of an electron". Between the two languages there exists the following relation: The truth and falsehood of statements of the quantum mechanical language is defined in terms of the truth and falsehood of statements of the observational language. We say, for instance, "the electron has the position q", when we know that the statement, "a measurement of position has been made and its result was q", is true". (Reichenbach, 1944: 136).

compatible avec le principe de complémentarité selon lequel pour un terme tel qu'électron il n'y a pas une interprétation sémantique incomplète, mais une interprétation pragmatique qui suppose des descriptions de type complémentaires. Admettre aussi que le système axiomatique reste de manière à accepter de nouvelles règles de correspondance nous engage à croire qu'un jour le terme théorique puisse avoir une définition explicite en termes observationnels. L'article EPR a aussi mis en évidence que si l'on admet que le système théorique est incomplet, il faut ajouter l'hypothèse à variables cachées, que ni Carnap ni Reichenbach n'étaient prêts à adopter.

10.2.2. Explication et prédiction dans le cadre du sémantisme de Carnap et Hempel

Le cadre théorique dans lequel Carnap développe la distinction entre les termes théoriques et les termes observationnels a encore une implication directe dans la théorie polémique d'explication des lois scientifiques développée par Hempel. Celle-ci affirme une symétrie logique entre l'explication et la prédiction d'un événement physique et à cause de cela il poursuivait en disant qu'une explication n'a de sens que dans la mesure où elle amène à une prédiction bien déterminée. Pour dégager une symétrie commune aux processus d'explication et de prédiction, il faut noter qu'ils ont la même structure logique : d'un côté un ensemble d'énoncés sur des événements spatio-temporels (faits singuliers) et d'un autre côté un ensemble d'hypothèses universelles bien confirmées par des évidences empiriques (lois empiriques ou théoriques). De façon simplifiée l'explication ainsi que la prédiction ont la structure suivante :

La structure logique	**Explication d'un fait *Qa***	**Prédiction d'un fait *Qa***
$(x)\ (Px \rightarrow Qx)$	Loi universelle appliquée à n'importe quel objet *x*	1. Loi universelle
Pa	Un objet particulier *a* a la propriété *P*	2. Fait connu
Qa	1 et 2 permettent de dériver l'explication du fait que *a* a la propriété *Q*	3. Conclusion que Qa doit être un fait même s'il n'a pas été encore observé.

Ainsi le schéma logique de l'explication et de la prédiction est le même, seule la situation de connaissance change : dans l'explication, *Qa* est un fait déjà connu, dans la prédiction, *Qa* n'est pas encore connu, soit dans le sens futur d'un fait qui ne s'est pas encore produit, soit dans le sens passé de l'histoire humaine ou naturelle.

La critique de Hanson (1958, 1963) à l'égard de la théorie d'explication de Hempel, partagée aussi par Carnap est déjà bien connue. Le centre de sa critique repose sur l'inadéquation de ce modèle à la microphysique. Dans l'introduction de *Modèles de la Découverte,* il se pose la question «pourquoi les philosophes se représentent-ils mal la microphysique ? ». Hanson croit que cette thèse de la symétrie entre explication et prédiction est encore un résidu du déterminisme classique, même parmi les philosophes qui ont voulu écarter cette doctrine du champ de la philosophique scientifique. La situation dans la physique quantique est tellement différente que cette symétrie ne tient pas. Hanson est prêt à concéder qu'un phénomène quantique singulier est expliqué *ex post facto* au travers du formalisme des lois quantiques. Pourtant le processus de prédiction tel que Hempel (1944) et Carnap (1966 : 3-18) logiquement le décrivent s'avère très problématique en mécanique quantique.

Néanmoins, même l'idée d'explication *post facto,* telle qu'Hanson la suggère, n'est pas non plus tout à fait applicable sans restriction en mécanique quantique[215]. Comme Bohr (1991 : 149-163) a essayé de le montrer dans son article « *Lumière et vie »,* cette idée n'est valable que sous le présupposé d'une limitation essentielle introduite par la notion de complémentarité. Essayer de trouver une explication même *post facto* pour l'existence objective des phénomènes indépendants des moyens d'observation est une conjecture aussi ambiguë.

10.2.3. Les limites du sémantisme analytique

Outre Hanson, la thèse de Carnap et Reichenbach de la dichotomie théorique/observationnelle des concepts scientifiques et du caractère partiellement interprétatif des termes du langage théorique a été fortement critiquée entre autres par

H. Putnam (1962) et G. Maxwell (1962, 1970). L'un comme l'autre ont argumenté contre la possibilité de tracer une ligne de séparation entre les termes observationnels et les termes théoriques. Voyons plus en détail les objections de Putnam.

Putnam récuse la dichotomie observationnel/théorique proposée par Carnap en s'appuyant sur trois arguments. Le premier consiste à montrer que le problème par rapport auquel la dichotomie a été proposée (« comment est-il possible d'interpréter les termes théoriques ? ») n'existe pas. Le deuxième considère que la raison principale pour introduire la dichotomie est fausse, puisque la justification en science ne se produit pas en tournant vers les propositions observationnelles. Et le troisième essaie de montrer que la double distinction observationnel / théorique n'est pas plausible.

Putnam commence par discuter la notion de terme observationnel. Si l'on affirme avec Carnap que les termes observationnels ne se réfèrent qu'aux entités et événements observables, il n'y a pas un seul terme que l'on peut caractériser comme observationnel. Un terme comme 'rouge', donné par Carnap comme exemple, a été utilisé par Newton dans sa théorie des couleurs quand il postule que la lumière rouge est constituée de corpuscules rouges. On voit ainsi un terme observationnel appliqué à des entités inobservables. Cependant, Putnam concède que les termes observationnels peuvent dans des contextes déterminés être appliqués à des inobservables et ainsi on peut en principe maintenir la classification. Pourtant une difficulté un peu plus sérieuse se présente lorsqu'on identifie les 'termes non-observables' aux 'termes théoriques'. Putnam exclut la confusion de l'usage commun de classer comme 'théorique' des termes tels que 'fâché', 'amour' etc. simplement parce qu'ils ne se réfèrent pas à des observables publics en gardant le sens strict des termes théoriques comme ceux originaires des théories scientifiques. Dans ce sens précis un terme comme 'satellite' qui se réfère à une entité observable est un terme théorique tandis que le terme 'antipathie' ne l'est pas. Dans le cadre strict d'une théorie scientifique, des objections infranchissables concernant la dichotomie entre des propositions théoriques, celles qui ne contiennent que des termes non observables, et des propositions observationnelles, celles qui s'expriment dans le vocabulaire observationnel, peuvent être proposées. Dans le cas de la microphysique, Putnam donne l'exemple suivant d'une proposition

---

[215] A ce propos voir M. Bitbol (1996), notamment la première section du chapitre 1 intitulée « Expliquer, Décrire, Prédire ».

observationnelle qui contient des termes théoriques : « nous avons observé la création de deux paires d'électron-positron ». Une sortie possible pour cette objection, mais qui a été rejetée par Carnap, consiste à relativiser la dichotomie observationnel/théorique selon des contextes. Putnam, lui non plus, ne considère pas cette solution pertinente car on peut imaginer un cadre de figure où un terme comme 'électron' apparaît dans un même contexte spécifique à la fois dans un rapport observationnel et dans un rapport théorique. Des distorsions peuvent surgir si l'on met le terme 'électron' dans les deux catégories, celle des termes observationnels et celle des termes théoriques.

De son côté, Putnam ne nie pas qu'on peut avoir une notion telle que 'rapport observationnel'. Ce qu'il nie est le fait que la distinction entre le rapport observationnel et les propositions théoriques puisse être établie en fonction du vocabulaire. Ainsi pour lui il est difficile de soutenir que les propositions théoriques ne sont que partiellement interprétées tandis que les propositions observationnelles sont complètement interprétées. La notion d'interprétation partielle peut être appliquée soit à des termes, soit à des théories, soit à des langages. Le problème pour Putnam c'est que dans aucun des trois cas, cette notion n'est acceptable comme modèle pour les théories scientifiques :

> Si nous prenons comme primitifs non seulement les 'termes d'observation' et 'les termes logiques', mais également le 'large spectre' mentionné avant ('chose', 'grandeur physique', etc.), et peut-être, certaines notions imprécises mais utiles du langage commun – par exemple, '*dur* à accélérer', 'détermine' - alors nous pouvons introduire des termes théoriques sans difficulté.
>
> Nous voyons, d'abord de façon étonnante, que la possibilité de définir le terme évidemment théorique 'particule élémentaire' dans 'le langage d'observation' de Carnap repose sur le fait que la notion d'un objet physique soit passée de manière fraudeuse dans le langage lors de l'interprétation même des variables individuelles.
>
> Si nous sommes capables d'avoir un si riche vocabulaire théorique comme celui que nous avons c'est parce que nous n'étions jamais dans la position d'avoir

> seulement le vocabulaire de l'observation de Carnap à notre disposition. (Putnam, 1979 : 227)[216]

Si on essaie d'appliquer la solution proposée par Carnap et Hempel au cas de la théorie quantique de la mesure, d'autres difficultés encore plus insurmontables se manifestent. Si, pour l'instant, on fait abstraction des critiques de Putnam sur l'impossibilité de distinguer le niveau observationnel du niveau théorique, et si l'on ne considère les relations entre la physique théorique et l'expérience ordinaire que dans le cadre de la mécanique classique, on peut, même problématiquement, décrire les relations entre l'hamiltonien du système et les variables mesurées selon le schéma linguistique proposé par Carnap. Pourtant, la situation de la mesure en mécanique quantique nous présente un autre cadre de figure complètement différent. Si l'on maintient la division entre expérience ordinaire (décrite à l'aide des concepts de la physique classique) et formalisme théorique (décrit au moyen du langage formel de la théorie quantique) on est obligé, selon l'interprétation courante de la mécanique quantique, de considérer les deux niveaux de façon tellement distincte qu'il est impossible de donner une approche du premier niveau dans les termes du deuxième ou vice-versa. La théorie quantique de la mesure dans sa façon formalisée donnée par Von Neumann, empêche qu'une transition entre ces deux niveaux soit possible et évoque des processus indépendants et non analysables comme le 'saut quantique' ou 'la réduction du paquet d'onde'. On parle d'une discontinuité entre ces deux niveaux plutôt que d'une correspondance. Si l'on adhère à d'autres interprétations de la mécanique quantique qui nient le processus du saut quantique ou de la réduction du paquet d'onde on doit aussi nier la distinction entre le niveau de l'expérience observable et le niveau théorique.

---

[216] "If we take as primitives not only the 'observation terms' and the 'logical terms', but also the 'broad spectrum' referred to before ('thing', 'physical magnitude', etc.), and perhaps, certain imprecise but useful notions from common language – for example, 'harder to accelerate', 'determines' – then we can introduce theoretical terms without difficulty".

"We note that the, at first blush surprising, possibility of defining the obviously theoretical term 'elementary particle in Carnap's 'observation language' rests on the fact that the notion of a physical object is smuggled into the language in the very interpretation of the individual variables"

"That we are able to have as rich a theoretical vocabulary as we do have because, thank goodness, we were never in the position of having only Carnap's observation vocabulary at our disposal." (Putnam, 1979: 227)

L'approche de Carnap a également fait l'objet de la critique de Quine (1951) dans « Two Dogmas of Empiricism ». Quine remet en cause les deux thèses fondamentales sur lesquelles s'appuie la doctrine carnapienne même dans sa version la plus souple: 1) la thèse selon laquelle il y aurait des unités minimales de signifié exprimées par des propositions «atomiques» qui favoriseraient le lien entre le discours théorique et les faits perceptifs ; et 2) la thèse d'une distinction possible entre les propositions analytiques *a priori* et les propositions synthétiques *a posteriori*. Contrairement à Carnap, dans l'holisme sémantique de Quine (1951/1953) les signifiés des termes sont fixés par des définitions théoriques. Le problème sémantique chez Quine est de savoir comment le discours total s'articule avec l'expérience totale. Chez Quine, la valeur cognitive de nos propositions qui ne sont pas décomposées en des propositions atomiques est donnée par l'ensemble ou la totalité de nos croyances sur le monde.

Pourtant, le problème linguistique suscité par la mécanique quantique ne reçoit aucun traitement spécial dans aucune de ces deux approches, ni par l'atomisme carnapien ni par l'holisme quinean. L'existence du paradoxe de la limitation du langage dans la microphysique n'est point considérée . Les deux approches ne font aucune distinction entre des termes théoriques utilisés dans le cadre linguistique de la physique classique et dans celui de la théorie quantique. Ainsi, la même théorie est valable pour des noms propres, autant que pour des espèces naturelles, pour des termes désignant des espèces biologiques et pour des termes désignant des propriétés scientifiques inobservables. Le même traitement donné à des termes comme 'arthropode', 'roseau', 'chromosome' est donné à des termes comme 'électron', 'positron' ou 'spin' dans l'atomisme de Carnap, aussi bien que dans le holisme de Quine. Même Putnam, qui s'est spécialement consacré tant à la logique de la mécanique quantique[217] qu'à la critique de la distinction carnapienne entre termes observationnels et termes théoriques n'a pas accordé une attention particulière à la spécificité des termes théoriques attribués à des inobservables[218].

---

[217]Cf. Putnam (1975), Putnam (1983) et Friedman & Putnam (1978).

[218] Cf. Putnam (1977).

Prenons par exemple les deux termes théoriques ‘chromosome’ et ‘électron’ et cherchons dans le dictionnaire leurs définitions respectives. Dans le *Petit Robert* dictionnaire de la langue française, on trouve les définitions suivantes :

> chromosome : élément de la cellule vivante, de forme caractéristique et en nombre constant situé dans le noyau de la cellule. *Les chromosomes sont le support de facteurs héréditaires.*
>
> électron : particule élémentaire extrêmement légère, gravitant normalement autour du noyau atomique, et chargée d’électricité négative. *Les électrons sont l’un des constituants de la matière.*

Ceux pour qui la mécanique quantique n’est pas un problème, peuvent penser que malgré les différentes définitions, les deux termes ont des caractéristiques linguistiques et épistémologiques très semblables. Les deux sont issus des théories scientifiques contemporaines, respectivement la biologie et la physique, et n’ont de sens qu’à l’intérieur de ces théories. Tant l’un que l’autre sont des éléments constituants des parties structurantes de la matière, les cellules, pour les êtres vivants, et les atomes, pour tous les êtres en général. Mais, si d’un côté les biologistes sont prêts à donner leur accord concernant la correction du premier terme, les physiciens quantiques ont du mal à accepter la deuxième définition. Imaginons qu’à partir de là, les éditeurs du dictionnaire demandent à la communauté physique lors d’une nouvelle édition de faire apparaître une définition la plus exacte possible du terme ‘électron’ correspondant au stade actuel du développement scientifique. Les physiciens vont se trouver dans l’embarras pour répondre que malheureusement toutes les définitions qu’ils pourront donner dans le langage ordinaire du terme ‘électron’ sont chargées d’ambiguïtés. Il y aura même certains qui risquent de dire qu’aucune description définie ne pourra être donnée à un tel terme.

D’habitude les physiciens se montrent tolérants par rapport à ces définitions ambiguës des termes de la microphysique trouvées dans les dictionnaires car cette ambiguïté fait partie de la nature même de leur connaissance. Les philosophes du langage, de leur côté, continuent à parler comme si les deux termes avaient le même statut sémantique. Chez Carnap, la signification des deux termes théoriques peut être fixée par une sorte de correspondance avec des termes observationnels. Chez Quine, la

signification ne peut pas être décomposée, mais on peut quand même l'établir dans le réseau de propositions qui constitue la théorie scientifique. En principe on pourrait trouver une description non ambiguë pour des termes de la microphysique au moyen d'autres descriptions qui font partie du même tissu théorique.

Si, cependant, comme l'affirme Heisenberg (1961), être susceptible d'une description dans le langage quotidien est propre au concept de fait, des problèmes linguistiques sérieux surgissent qui ne sont pas les mêmes dans le cadre théorique de la science classique. Les scientifiques continuent à vouloir parler, de toute façon, de la structure des atomes, et pas seulement des faits. Ceux-ci sont, dans le cas de la mécanique quantique, des phénomènes expérimentaux observables comme, par exemple, des taches noires sur une pellicule photographique ou des gouttelettes d'eau sur une caméra de Wilson. Cependant comme nous l'avons vu on n'a pas le moyen de décrire la structure des atomes dans le langage commun en ayant recours à une intuition spatio-temporelle univoque. Une question qui se pose est donc celle de rechercher dans quelle mesure on peut parler d'atomes en donnant à ce terme un sens?

En fait, le problème du signifié d'un terme théorique comme 'atome' n'est pas dissociable du problème relatif à l'engagement ontologique de ce terme. Les polémiques autour de la signification physique des termes du formalisme de la mécanique quantique ont contribué spécialement à rallumer l'ancienne flamme du débat autour du réalisme. Du côté de la philosophie des sciences, ces polémiques vont alimenter la constitution d'un nouveau champ de recherche philosophique, le réalisme scientifique, attaché principalement à la tradition analytique, autour de la discussion sur le réalisme des théories scientifiques, dont la référence à la mécanique quantique est inévitable. Le débat s'est divisé en deux positions antagoniques. D'une part des auteurs comme Sellars (1962), Kripke (1980, 1983) et Putnam (1973b, 1975), assumant une espèce d'essentialisme scientifique, soutiennent que des propriétés observables, qu'on appelle des types naturels, sont métaphysiquement déterminées par leurs structures atomiques ou subatomiques. D'autre part, la position antiréaliste est soutenue par des auteurs comme Van Fraassen (1980) qui, dans son empirisme constructif, développe la thèse selon laquelle l'acceptation d'une théorie implique, et c'est la seule croyance exigée, qu'elle soit empiriquement adéquate. Pourtant, les physiciens continuent à parler

d'atomes, d'électrons, de microparticules, de photons, en se référant toujours à une réalité microscopique inobservée.

Si d'un côté nous acceptons que les critiques de Hanson, Putnam et Maxwell aient dissout le problème de la distinction entre termes théoriques et termes observationnels concernant n'importe quelle théorie scientifique, le problème de la distinction entre termes du vocabulaire de la physique quantique et termes issus du vocabulaire scientifique classique persiste. A notre avis la solution pour ce problème ne peut pas être trouvée au niveau de l'analyse sémantique du langage, mais au niveau pragmatique. Afin d'analyser les conditions de possibilité de dire quelque chose sur la nature inobservable, nous devons maintenant nous tourner vers la perspective pragmatico-transcendantale.

10.3. Le tournant pragmatico-linguistique dans la philosophie contemporaine

Le tournant pragmatique s'inscrit à l'intérieur d'un mouvement plus général connu comme tournant linguistique. Celui-ci est une tentative de comprendre les principaux problèmes philosophiques, incluant les problèmes épistémologiques, à partir de l'analyse du langage. Le terme 'tournant linguistique' (*linguistic turn*) a été donné par R. Rorty (1967/1992) comme titre d'un recueil d'articles de la philosophie analytique, une des branches parmi les plus différenciées et les plus influentes de la philosophie contemporaine, développée surtout en Angleterre et en Amérique. Avec ce nom, il voulait justement signaler la caractéristique la plus essentielle de ce mouvement, initié par G. Frege et B. Russel, à savoir, la transformation de tout le problème philosophique en un problème sur le langage. Celle-ci est devenue l'objet principal de l'investigation philosophique. « Je voudrais dire par « philosophie linguistique » l'avis que les problèmes philosophiques sont des problèmes qui peuvent être résolus (ou

dissous) soit en reformant le langage, soit par une meilleure compréhension du langage que nous employons actuellement »[219].

Selon Karl-Otto Apel (1989), le tournant linguistique est déclenché d'un côté par le *Tractatus logico-philosophicus*, du premier Wittgenstein, et de l'autre, par la sémantique logique constructive de Carnap et Tarski. Pour lui ce qui caractérise le '*tournant linguistique*' est l'adoption des concepts linguistiques à la place des concepts 'mentalistes' comme conscience, jugement, pensée ou intentionnalité. Ce mouvement s'est propagé non seulement dans la branche analytique de la philosophie contemporaine, mais il a réussi à s'engager par tout.

Dans le *Tractatus,* Wittgenstein a ajouté encore à ce '*tournant linguistique*' un tournant sémantico-transcendantal, où le principe kantien majeur de l'analytique transcendantale celui du 'principe suprême des jugements des synthétiques' (« les conditions de la possibilité de l'expérience sont les conditions des objets de l'expérience » CRP, A158/B-197) est remplacé par un postulat équivalent qui exprime l'idée selon laquelle les conditions logico-transcendantales du langage pur sont les conditions de la possibilité des faits comme éléments d'un monde descriptible[220]. Apel considère ce principe, qu'il appelle principe de l'autonomie onto-sémantique et de la non-transcendance méthodologique du langage, l'étalon irréversible de la philosophie du 20ème siècle et le critère qui permet de définir une partie du 'tournant linguistique'.

> La limite de la langue se montre dans l'impossibilité de décrire le fait qui correspond à une proposition (qui est sa traduction) sans, justement, répéter la proposition.
> (Nous avons affaire ici à la solution kantienne du problème de la philosophie).[221]

Le premier Wittgenstein réalise ainsi un tournant linguistique dans les contours même d'une philosophie transcendantale : au lieu de chercher, comme l'avait fait Kant, à établir les limites de la raison pure, il se propose de chercher les limites du théoriser

---

[219] « I shall mean by "linguistic philosophy" the view that philosophical problems are problems which may be solved (or dissolved) either by reforming language, or by understanding more about the language we presently use » (Rorty, 1992: 3).

[220] Cf. L'interprétation transcendantale du *Tractatus* de Eric Stenius (1960).

[221] Cf. Wittgenstein, 1984 : 22.

significatif. Une différence méthodologique radicale ne pourra pas cesser d'être établie entre la *Critique de la raison pure* de Kant et le *Tratactus logico-phylosophicus* de Wittgenstein : la transformation de l'analyse de la conscience en analyse du langage dans laquelle les conditions logiques du langage assument la place des formes *a priori* kantiennes. Le problème des limites de la connaissance est remplacé par le problème de proférer des propositions ayant un sens. Ainsi dans le *Tratactus* les propositions de la métaphysique, contrairement aux propositions de la science naturelle, ne pourraient pas être dites ; elles seraient des non-sens. Cependant, les propositions dotées de sens qu'il prend comme référence correspondent à celles de la science newtonienne dans laquelle l'incompatibilité du langage et de la description ne se présente pas. Si les propositions de la mécanique quantique ne se réduisaient pas à des descriptions en termes observationnels, elles seraient aussi des non-sens et la science naturelle souffrirait du même mal que la métaphysique. Le critère de sens développé par Wittgenstein qui va influencer l'empirisme logique de Carnap devient donc problématique.

Pour Apel le transcendantalisme linguistique wittgesteinien présuppose au moins trois choses : 1. L'idée d'un langage pur, ou d'une structure logiquement profonde de tous les langages possibles qui prescrit la structure ontologique du monde descriptible; 2. Le langage doit consister en phrases propositionnelles dont la seule fonction est de représenter l'état d'affaires ; 3. La référence des signes aux objets réels doit être garantie d'une manière quelconque par la structure du langage.

La première de ces présuppositions a été abandonnée par Carnap (cf. « Empirisme, sémantique et ontologie »)[222] et remplacée par le pluralisme de structures syntatico-sémantiques qui assument la fonction quasi-transcendantale de prescrire le cadre de descriptions et explications scientifiques du monde de l'expérience. Pour Apel la sémantique qui mène du *Tractatus* de Wittgenstein à des structures syntatico-sémantiques de Carnap et Tarski souffre d'une abstraction fallacieuse et doit être complétée par la dimension pragmatico-transcendantale. Si, d'un côté, le tournant linguistique a été effectué, en un premier temps, dans les limites du sémanticisme, d'un autre côté, il faut reconnaître avec Habermas (1993 : 54-55) et Apel qu'à cause d'un certain nombre d'abstractions le programme sémantique n'a pas pu résoudre des

[222] Cf. Carnap (1997) et (1973b).

problèmes essentiels. En faisant abstraction de la situation de la communication, des contextes de parole et d'utilisation du langage, la sémantique formelle a été restreinte à l'analyse des formes de propositions. Ainsi un *tournant linguistique* complet doit considérer la condition semiotico-transcendantale de possibilité de notre connaissance intersubjectivement valide sur le monde.

Le tournant pragmatique au sein du tournant linguistique se réfère tout d'abord à la direction inaugurée par le second Wittgenstein[223] vers une philosophie du langage ordinaire centrée sur l'usage du langage. C. S. Peirce (1978), à son tour, soutient une transformation sémiotique et pragmatique de la logique transcendantale de Kant. Dans sa théorie, Peirce établit la fonction de triade du signe comme médiation nécessaire de l'interprétation du monde et ainsi comme condition de possibilité du savoir sur la réalité, en transformant le sujet cognitif en une communauté de sujets qui interprètent. Apel qualifiera de transcendantale la sémiotique de Peirce, en ce sens qu'elle cherche à procurer les conditions de possibilité de la connaissance intersubjective valable du monde. La dimension pragmatique introduite par la sémiotique de Peirce permet de poser le thème des conditions de validité du discours scientifique dans le contexte de l'interprétation en rapprochant ainsi la pragmatique du champ de l'herméneutique. Son pragmatisme pré-wittgensteinien, antérieur aussi au développement de la mécanique quantique, reconnaîtra l'irréductibilité de l'indétermination tant dans le domaine de la connaissance que dans celui du langage ou dans celui du réel, en développant une sorte de réalisme du vague.

Il faut tenir compte évidemment que le pragmatisme en général n'est pas réductible au tournant linguistique. C. S. Peirce, à côte de W. James et J. Dewey, sont les fondateurs d'un mouvement philosophique, dont la maxime pragmatique associe la signification d'un concept non pas nécessairement à l'usage linguistique, mais à ses conséquences expérimentales. Ce qui pour une philosophie de la mécanique quantique rend le pragmatisme encore plus intéressant. Dans ce courant initié par Peirce, l'une des tentatives qui a poussé les *a priori* vers une pragmatisation à été celle de C. I. Lewis. Examinons cette perspective d'un peu plus près.

---

[223] Cf. S. Laugier (2002).

10.4. L'*a priori* pragmatico-analytique de C. I. Lewis

Dans son premier et principal travail, *Mind and the World Order*, publié en 1929, C. I. Lewis lance les bases de son 'pragmatisme conceptualiste' selon lequel la connaissance empirique dépend des 'données' sensorielles et de l'activité constructive de l'esprit qui apporte un ensemble de concepts *a priori* pour interpréter les faits donnés. Ces concepts sont le produit de l'héritage social de l'agent et des intérêts cognitifs. Ainsi ils ne sont pas *a priori* dans le sens d'être donnés absolument : ils sont pragmatiquement *a priori*. Les concepts *a priori* résultent d'alternatives et de choix parmi plusieurs possibilités à partir de considérations pragmatiques participant au succès cognitif.

Au début des années 20 Lewis éditera deux articles fondamentaux, « A pragmatic conception of the *a priori* » et « The pragmatic element in knowledge ». Ces deux articles présentent le noyau de la théorie pragmatique de Lewis de la connaissance qui sera développée plus en détail dans *Mind and the World Order.* Dans une conception pragmatique de l'*a priori*, Lewis rejettera les concepts traditionnels de l'*a priori*, surtout par rapport à leur caractère immuable. Dans ce sens il affirme:

> La pensée qui a fait défaut tant au rationalisme qu'à l'empirisme est qu'il y a des principes, représentant l'initiative de l'esprit, qui n'impose à l'expérience aucune limitation quelle qu'elle soit, mais que de telles conceptions sont toujours sujettes à l'alternance en bases pragmatiques quand les frontières d'extension de l'expérience indiquent leur réussite en tant qu'instruments intellectuels.[224]

Les *a priori* pour Lewis ont un statut purement hypothétique et sont donc toujours révisables et historiquement conditionnés. Quand on formule une hypothèse au sujet d'un fait donné, qui, pour Lewis, a une signification purement logique, on applique des concepts à l'expérience. Les concepts que nous formulons sont en partie déterminés par nos intérêts pragmatiques et en partie par la nature de l'expérience. Les lois

[224] "The thought which both rationalism and empiricism have missed is that there are principles, representing the initiative of mind, which impose upon experience no limitations whatever, but that such

scientifiques fondamentales sont *a priori* parce qu'elles ordonnent l'expérience de sorte qu'elle puisse être investiguée. Il en va de même pour nos notions catégorielles le plus fondamentales. Nos concepts catégoriels nous permettent de conformer l'expérience pour qu'elle puisse être interrogée. Ainsi le fait que nous devions fixer leurs significations avant que nous puissions les appliquer productivement dans l'expérience, est entièrement compatible avec leur changement historique ou même leur abandon.

Dans « The pragmatic element in knowledge », Lewis a étendu son pragmatisme au sujet de l'*a priori* à la théorie de la connaissance. Il identifie trois éléments dans la connaissance qui sont séparables seulement par analyse : l'élément de l'expérience qui est donnée à un agent, la structure des concepts avec lesquels l'agent interprète ce qui est donné, et l'acte de l'agent d'interpréter ce qui est donné au moyen de ces concepts. Le caractère distinctif pragmatique de cette théorie se trouve tant dans le fait que la connaissance est une activité ou une interprétation que dans le fait que les concepts avec lesquels l'agent interroge l'expérience reflètent des engagements faillibles et révisables vis-à-vis de conséquences empiriques futures. Au service de certains intérêts de l'agent par rapport à ce qui est donné dans l'expérience, la connaissance est une interprétation d'importance empirique qui a une signification testable par ses conséquences au travers de l'action de l'agent.

La vérité *a priori* est indépendante de l'expérience parce qu'elle est purement analytique et ne peut rien ajouter au donné. Le contenu des sciences formelles, ne dépendant en rien de ce qui est empiriquement donné, est purement révélé par l'analyse logique. Il y a ainsi dans toute connaissance un ordre analytique *a priori* résultant de nos définitions. D'habitude nous ne séparons pas cet ordre logique, mais il est toujours possible de le faire. C'est cependant cet élément que les esprits doivent avoir en commun s'ils doivent se comprendre. Dans ce sens Lewis affirme: « Après une heure qui paraît très longue à vous et courte à moi, nous pouvons nous mettre d'accord, parce que notre compréhension commune de cette heure n'est pas un sentiment de l'ennui ou de la vivacité, mais signifie soixante minutes ou un tour de l'horloge »[225]. Bref, les

---

conceptions are still subject to alternation on pragmatic grounds when the expanding boundaries of experience reveal their felicity as intellectual instruments." (Lewis, 1923)

[225] "At the end of an hour which feels very long to you and short to me, we can meet by agreement, because our common understanding of that hour is not a feeling of tedium or vivacity, but means sixty minutes, one round of the clock" (Lewis, 1926).

concepts partagés ne dépendent pas de l'identité d'un sentiment, mais de leur signification objective pour l'action. Le concept est ainsi un modèle purement logique de la signification. Il représente ce que l'esprit *apporte* à l'expérience par l'acte de l'interprétation. L'autre élément, ce que l'esprit *trouve*, ou ce qui est indépendant de la pensée, est donné. Le donné, par contre, ne peut pas être exprimé en une langue parce que la langue implique des concepts et parce que le donné est cet aspect de l'expérience que les concepts ne donnent pas. La connaissance est la signification que l'expérience peut avoir par l'action possible de l'esprit.

Dans son livre Le *Mind and the World Order,* Lewis développe ces résultats en trois thèses principales. Pour la première, la vérité *a priori* est définitive et offre les critères au moyen desquels l'expérience peut être distinguée. Pour la deuxième, l'application des concepts à n'importe quelle expérience particulière est hypothétique et le choix de systèmes conceptuels découle de besoins pragmatiques. Pour la troisième, la susceptibilité de l'expérience à l'interprétation conceptuelle n'exige aucune prétention métaphysique particulière au sujet de la conformité de l'expérience à l'esprit ou à ses catégories. Ces principes permettent à Lewis de présenter le problème classique de la connaissance comme se basant sur une erreur. Il n'y a aucune contradiction entre la relativité de la connaissance pour l'esprit et l'indépendance de son objet. La confusion par rapport à cela est le produit de la théorie réprésentationniste de la connaissance, autrement dit, de la 'théorie de copie de la pensée', dans laquelle la connaissance d'un objet est comprise comme une coïncidence qualitative entre l'idée dans l'esprit et le véritable objet externe. Pour Lewis la connaissance ne copie rien mais concerne la relation entre une certaine expérience et d'autres expériences possibles. La connaissance est exprimable non pas parce que nous partageons les mêmes données du sens mais parce que nous partageons des concepts et des engagements catégoriels.

Pour lui, toute connaissance est conceptuelle. Le donné, n'ayant aucune structure conceptuelle propre, n'est même pas un objet possible de la connaissance. Ainsi le « fondationnalisme » classique du type empiriste est directement exclu. La tâche de Lewis dans *Mind and the World Order* est en effet de trouver une solution pragmatique au problème de l'induction de Hume mais sans faire appel à des principes « fondationnalistes » comme le sont les synthétiques *a priori* kantiens ou à l'idée même de chose en soi. L'ordre que nous apportons à l'expérience rend la connaissance

possible sans que l'on ait besoin de se baser sur quelque chose qui se trouve en dehors de l'expérience. La connaissance en tant qu'interprétation correcte ne dépend pas du tout d'une « similarité » supposée entre le caractère phénoménal de l'expérience et le « véritable » objet connu, parce que le caractère phénoménal de l'expérience a une fonction en tant que signe de son interprétation conceptuelle, c'est-à-dire, de sa signification pour des expériences et des actions futures. La question de la validité des prétentions de la connaissance est ainsi pour Lewis fondamentalement la question d'importance normative de nos évaluations empiriques pour l'action.

Lewis soutient que notre interprétation spontanée des expériences par les concepts qui ont leur signification objective pour une future expérience constitue un genre *de diagnosis of appearance.* Si nous ne pouvions pas identifier un contenu sensoriel de notre classification par rapport à d'autres qualitativement semblables qui ont acquis une signification prédictive dans le passé, l'interprétation serait impossible. Malgré le fait qu'une telle identification est spontanée, elle a le caractère logique d'une généralisation. Identifier un objet - par exemple, « voilà, une pièce de monnaie »- c'est faire une hypothèse empirique faillible. Néanmoins identifier son apparence, c'est le classer parmi d'autres aspects qualitativement semblables. La base du jugement empirique est liée au fait que dans le passé des classifications ont été bien réussies.

Pour Lewis, nos prétentions empiriques de la connaissance sont dépendantes, pour leur justification, du corpus d'interprétations conceptuelles et ce de deux manières. Premièrement, le monde, sous forme de futurs événements implicitement prévus (ou pas) par nos jugements empiriques, confirmera ou infirmera ces jugements : toute la connaissance empirique est ainsi simplement probable. Deuxièmement, la classification des appréhensions immédiates par des concepts qui justifient des jugements empiriques particuliers est elle-même une généralisation même si ces concepts fonctionnent comme critères de signification. Des concepts deviennent des critères de classification parce qu'ils nous permettent de faire des jugements empiriquement valides, et parce qu'ils s'adaptent utilement à la structure plus élargie de nos concepts. Cette structure, indépendamment de l'expérience, est un système de concepts *a priori*. L'application d'un de ses concepts à une chose en particulier est une question de probabilité, mais la question de l'application d'un système en général est une question de choix d'un système abstrait et ne peut être déterminée que par des considérations pragmatiques. Les

implications d'un concept dans un système dépendent des critères de son applicabilité dans ce système. Si une expérience postérieure ne s'accorde pas avec des implications logiques de notre application d'un concept à une chose particulière, nous enlevons l'application du concept. La défaillance persistante dans l'application fructueuse de différents concepts nous mènera à rajuster le système comme un tout. Notre réseau d'interprétations conceptuelles forme une hiérarchie selon laquelle certaines d'entre elles sont plus fondamentales que d'autres, ce qui fait que leur abandon ait des conséquences plus radicales.

L'approche de la connaissance de Lewis offre une version non-métaphysique de l'induction et une conception précoce de la doctrine de l'observation théoriquement chargée, développée un peu plus tard par des auteurs comme Hanson, Feyrabend et Kuhn. Ainsi il rejettera soit les vérités métaphysiques soit le synthétique *a priori* pour établir le lien entre les concepts abstraits dans l'esprit et la réalité présentée dans l'expérience. Lewis offre un genre d'argumentation transcendantale en fournissant une justification pragmatique d'induction mais sans soutenir la prétention de Kant que l'expérience est limitée par les modes de l'intuition et les formes fixes de pensée. Sans système d'interprétation conceptuelle, aucune expérience n'est possible. Néanmoins, quel système d'interprétation employer est une question de choix et ce que nous expérimentons est donné par la réalité. L'importance du donné dans cette histoire est son *indépendance.* Notre système conceptuel peut au mieux indiquer un système de mondes possibles duquel l'actuel ne doit pas être déduit mais reconnu. Bref, la théorie de la connaissance de Lewis dans *Mind and the World Order* est une théorie pragmatique de la connaissance qui combine des éléments rationalistes et naturalistes, sans des engagements « fondationnalistes » de part et d'autre pour rendre compte du caractère faillible et progressif de la connaissance du réel.

Comme nous l'avons vu dans les chapitres antérieurs de cette troisième partie, de Cassirer à Petitot, en passant par Von Weizsäcker, on n'a pas besoin de se placer dans une perspective anti-transcendantale pour affirmer le caractère révisable, hypothétique et historiquement conditionné de la connaissance. Néanmoins ce qui éloigne le pragmatisme de Lewis d'une approche véritablement transcendantale c'est, d'une part, sa conception purement analytique de l'*a priori*, et d'autre part, ce qui est une conséquence de cette première présupposition, l'indépendance du donné par rapport

au système conceptuel. Il faut toujours rappeler que le transcendantal n'est pas quelque chose d'indépendant du donné ou de l'expérience, mais ce qui rend ce donné ou cette expérience possible. Comme Cassirer a essayé de le montrer, les hypothèses physiques ont un caractère éminemment synthétique qui se rapportent toujours à un donné possible. Ce qui cependant est très intéressant dans la doctrine de Lewis c'est la façon dont les *a priori* sont orientés vers l'action. Le sujet connaissant n'est plus enfermé dans le cadre d'une aperception purement théorique, mais il est avant tout un agent connaissant qui fait usage de son système conceptuel pour agir sur le monde. C'est cette dimension pratique qui sera creusée par Michel Bitbol dans son approche pragmatico-transcendantale de la mécanique quantique. Mais contrairement à Lewis, Bitbol soutient que le donné n'existe pas en tant que tel, mais qu'il est contextuellement attaché à des conditions instrumentales de mesure et à des structures théoriques anticipatives orientées vers la prédiction des résultats de la pratique expérimentale. Avant d'examiner l'approche de Bitbol, nous allons considérer le pragmatisme transcendantal dans le contexte philosophique de la philosophie du langage.

10.5. Le pragmatisme transcendantal

Bien que les noms de Karl-Otto Appel et J. Habermas se placent complètement en dehors de la communauté des épistémologues de la mécanique quantique, ils sont inextricablement liés au projet du pragmatisme transcendantal ou du pragmatisme universel, comme préfère l'appeler Habermas (1976 :). Néanmoins, si l'on veut soutenir une telle approche en théorie quantique, on doit la situer par rapport à ses pères fondateurs.

La pensée de K-O. Apel et de J. Habermas s'inscrit plutôt dans le cadre d'une herméneutique pragmatique que dans celui d'une épistémologie pragmatique. L'approche herméneutique, telle que J. Habermas (1986) l'a définie, à la différence de l'épistémologique, considère les contenus scientifiques de la conscience non seulement dans leur rapport à la réalité, mais dans leur triple relation communicative : ils sont des énoncés sur des choses du monde (1) qui expriment une intention d'un sujet (2) pour les membres d'une communauté linguistique (3). La signification des énoncés scientifiques

est alors analysée comme des actions linguistiques employées par les participants d'une communauté de communication. Dans cette perspective, la dimension propositionnelle aussi bien que la dimension performative, oubliée par l'analyse épistémologique, doivent être mises en cause. Cela signifie que pour la validation de quelque énoncé que ce soit deux plans s'entremêlent : celui du monde vécu et celui du discours. Un énoncé qui revendique la validité doit à la fois s'appuyer sur le monde de l'expérience et être rationnellement fondé, c'est-à-dire, que son contenu scientifique doit pouvoir être défendu avec des raisons suffisantes face à tout contre-argument possible. L'herméneutique pragmatique de Habermas et K-O Apel soutient ainsi que la validation d'un contenu propositionnel quel qu'il soit ne peut être décidé que « discursivement ». Et par cet aspect essentiel, il acquiert une dimension nécessairement intersubjective.

La distinction habermasienne entre le jeux linguistique qui se rapporte aux conditions de l'expérience objective et celui se référant à la discussion des raisons pour la prétention à la validation des arguments, amène à considérer deux sortes d'*a priori* : des *a priori* constitutifs de l'expérience et des *a priori* relatifs au discours. Déjà dans *Connaissance et Intérêt*, il expose ainsi sa pensée :

> L'a priori de l'expérience (la structure des objets de l'expérience possible) est indépendant de l'a priori d'argumentation (des conditions de discours possibles). Toutefois les théories des sciences expérimentales (qui s'accumulent à partir des fondements) sont limitées par les *deux* a priori. Les théories ne peuvent être formées et développées que *dans les conditions* de l'argumentation et en même temps *dans les limites* de l'objectivation préalable de l'événement dont on peut faire l'expérience. (Habermas, 1976 : 352)

Dans le cadre de la pragmatique transcendantale, l'expérience n'est pas quelque chose d'extérieur et de discursivement neutre. La vérité prétendue quand on affirme un énoncé sur un phénomène déterminé, ne peut être immédiatement vérifiée dans le monde de l'expérience. Elle doit être toujours discutée et si possible acceptée dans le plan du discours argumentatif moyennant de bons arguments pouvant s'appuyer, dans tous les cas, sur l'expérience. Entre les conditions pré-discursives et celles du discours, s'interposent les conditions de l'expérience se référant au discours. Ainsi quand des raisons empiriques sont prises en compte dans le discours scientifique il s'agit d'essayer de produire l'évidence de l'expérience en tant qu'expérience phénoménale se rapportant

au discours, selon des expériences ou des observations guidées par la théorie, plutôt qu'une régression à des expériences du monde vécu. La nature éminemment discursive de la vérité supposée par le pragmatisme transcendantal est basée sur la reconnaissance qu'une entente intersubjective est toujours présupposée dans les contextes discursifs.

Si à un niveau constitutif, la connaissance scientifique du monde traite de reconstruire le phénomène dans sa structure logico-mathématique, cette rationalité logico-mathématique n'est pas suffisante. Elle présuppose en plus le plan discursif à la lumière duquel elle est élucidée. Dans ce sens le langage mathématique est une condition transcendantale de possibilité de la physique, nécessaire mais non suffisante. Par ailleurs une rationalité discursive doit être présupposée d'où le niveau performatif émerge au-delà du niveau propositionnel des énoncés sur le monde.

A cause du caractère linguistique du monde, celui-ci comporte plusieurs significations. Si l'on considère la nature comme significative, notre pré-compréhension est une condition de possibilité de toutes nos pensées et aussi de nos actions. La dimension pragmatique de la connaissance nous fait considérer une pluralité d'ontologies selon les rationalités impliquées. Ainsi il y a autant d'ontologies ou autant de mondes possibles que de types différents de connexions pouvant rationnellement être soumis à l'épreuve expérimentale.

Si la pensée de Bohr peut être rapprochée de la pensée kantienne, ce n'est pas du tout dans le cadre du kantisme strict, mais dans celui-ci du pragmatisme transcendantal. C'est pour cela que nous allons retourner à Bohr avant d'arriver à l'approche pragmatico-transcendantale de la mécanique quantique telle qu'on trouve chez Michel Bitbol.

10.6. L'interprétation de Bohr sur l'optique pragmatico-transcendantale

L'affirmation de Von Weizsäcker (1994) introduit bien la question : « L'alliance entre kantiens et physiciens était prématurée à l'époque de Kant, et continue à l'être ;

avec Bohr, nous commençons à percevoir cette possibilité »[226]. Et de façon pittoresque il nous raconte :

> Niels Bohr est le seul physicien dans notre temps qui - dans la mesure où je sais, sans avoir été influencé par Kant – a procédé à partir d'insights fondamentaux semblables à Kant. Bohr surprenait toujours les jeunes physiciens comme moi en affirmant à plusieurs reprises que, même après la théorie quantique, chaque phénomène immédiat, y compris chaque résultat de la mesure, doit être décrit par des concepts de la physique classique. [Eduard Teller] également m'a récemment rappelé comment une fois, pendant le thé d'après-midi à l'Institut de Bohr, il avait essayé de convaincre Bohr qu'à long terme nous adapterions certainement nos concepts et perceptions au formalisme théorique quantique nous permettant de ce fait de nous passer des descriptions classiques. Silencieusement, avec ses yeux fermés, Bohr lui écoutait ; et à la fin il a dit simplement : « Bien, oui, nous pourrions également dire que nous ne sommes pas assis ici en train de boire du thé mais seulement que nous rêvons tout ceci ».[227]

Dans le quatrième chapitre nous avons donc analysé la place que l'interprétation complémentaire de Bohr et Heisenberg avait réservée à la doctrine kantienne, au sens strict. Désormais on essaiera de comprendre la pensée de Bohr dans une perspective transcendantale postkantienne. Des auteurs comme C. Hooker (1972), J. Honner (1982, 1987), C. Chevalley (1994) et S. Brock (2003) ont déjà réalisé des analyses très fines afin d'interpréter Bohr à la lumière kantienne. J. Honner (1982), par exemple, dans sa réponse à H. Folse (1978), donne trois arguments transcendantaux trouvés chez Bohr qui permettent lui le classer dans la tradition néo-kantienne. Ils sont les suivants :

---

[226] "The alliance between Kantians and physicists was premature in Kant's time, and still is; in Bohr, we begin to perceive its possibility". (Von Weizsäcker, 1994: 185)

[227] "Niels Bohr is the only physicist in our time who – as far as I know, without having been influenced by Kant – proceeded from fundamental insights similar to Kant's. Bohr always startled the young physicists like myself by repeatedly asserting that, even after quantum theory, every immediate phenomenon, including every result of measurement, must be described with the concepts of classical physics. [Eduard Teller] also recently reminded me how once, during the afternoon tea at Bohr's Institute, he had tried to convince Bohr that in the long run we would certainly adapt our concepts and perceptions to the quantum theoretical formalism thus enabling us to dispense with classical descriptions. Silently, his eyes closed, Bohr listened to him; and in the end said merely: "Well, yes, we could also say that we are not sitting here drinking tea but only dreaming all this". (von Weizsäcker, 1994: 184)

I. Un certain genre de cadre conceptuel est une condition nécessaire de la possibilité d'ordonner l'expérience.

II. C'est une condition nécessaire de possibilité de description objective des processus qui sont à la frontière de l'expérience humaine que les concepts attachés à l'expérience ordinaire soient utilisés. (une version raffinée du principe de correspondance)

III. Notre position comme observateurs dans un domaine d'expérience, où l'application non ambiguë des concepts dépend essentiellement des conditions de l'observation, permet l'utilisation des descriptions complémentaires, et les exige si la description doit être exhaustive (principe de la complémentarité).

Notre tâche maintenant, en nous appuyant sur ces auteurs, est de situer Bohr dans une branche plus spécifique de la pensée postkantienne, celle du pragmatisme transcendantal, parvenue à la conjonction entre deux traditions distinctes, le néo-kantisme et le pragmatisme wttgensteinnien. Il s'agit donc maintenant de comprendre la pensée de Bohr dans le cadre du tournant linguistique afin de soutenir une interprétation pragmatique transcendantale de la mécanique quantique où le langage ordinaire joue un rôle considérable.

Parmi les nouveautés apportées par la théorie quantique, une plus particulièrement nous permet d'inscrire la pensée de Bohr non seulement dans le cadre des révolutions scientifiques du vingtième siècle mais aussi dans le panorama du tournant linguistique de la philosophie contemporaine. Cette nouveauté concerne une des thèses interprétatives de Bohr (1937b, 1949 et 1958), selon laquelle l'activité de compréhension ne peut pas être séparée de celle de la communication d'une théorie scientifique. Toutes deux doivent être considérées comme parties d'un processus d'interprétation, où les symboles purement formels sont mis en relation avec des concepts qui sont donnés dans une intuition empirique à travers le principe de complémentarité.

C'est justement parce que les conditions de possibilité de compréhension sont indissociablement liées aux conditions de possibilité de communication que nous qualifierons la pensée philosophique de Bohr à la fois comme pragmatique et transcendantale. Pragmatique parce que l'activité de compréhension ne peut plus être

comprise dans la perspective sémantique du rapport entre les concepts scientifiques et l'expérience en faisant abstraction de l'usage communicationnel des termes scientifiques par les membres d'une communauté scientifique. Transcendantal parce que sa démarche d'investigation sur les conditions de possibilité de compréhension l'amène à établir quelques invariants *a priori* performatifs qui ne peuvent être niés dans aucune activité de recherche. Dans ce sens Bohr affirme, par exemple :

> Les conditions expérimentales peuvent être variées de bien des façons, mais le point essentiel est que nous devons, dans chaque cas, être capables de communiquer à d'autres ce que nous avons fait et ce que nous avons appris, et que le fonctionnement des instruments de mesure doit par conséquent être décrit dans le cadre des représentations physiques classiques. (Bohr, 1991 : 284)

Ainsi, à la façon du deuxième Wittgenstein, le principe suprême de tous les jugements synthétiques de la philosophie transcendantale kantienne est remplacé par un argument du type hermeneutico-pragmatico-transcendantal selon lequel les conditions de possibilité de compréhension de l'expérience scientifique sont en même temps les conditions de possibilité de communication non–ambiguë parmi les membres d'une communauté scientifique.

Son approche pragmatico-transcendantale se remarque même quand il analyse la découverte du quantum d'action, fait considéré par beaucoup de philosophes de la science comme une évidence de la position empiriste ou même réaliste. Cela a généré beaucoup de malentendus dans les discussions sur les interprétations en mécanique quantique. Néanmoins Bohr refuse de l'interpréter ontologiquement. Il le voit comme une découverte à la fois universelle et élémentaire (Cf. Bohr 1937, 1949 et 1958) en mettant en évidence la dimension performative, toujours cachée par les analyses traditionnelles, plutôt que la dimension propositionnelle des théories scientifiques. Ce fait, tel que Bohr l'interprète, instaure une distinction entre le niveau macroscopique et le niveau microscopique non pas au sens d'une division entre deux niveaux de réalités macro/micro (approches réalistes), ni même entre les deux niveaux de langages observationnel/théorique (approches sémantiques à la Carnap/ Hempel/ Reichenbach). Cette distinction macro/micro n'a de sens qu'entendue sous la perspective pragmatique transcendantale d'un usage linguistique des concepts qui sont toujours théoriques. Le quantum d'action est ainsi pour Bohr une condition quantique qui se rapporte non à une

détermination du réel mais aux attitudes des scientifiques dans leur pratique d'utilisation des concepts. Contrairement à H. Folse (1978) qui fait du quantum d'action le point de départ d'une justification empirique de la philosophie bohrienne, J. Honner (1982) le considère comme partie d'un programme transcendantal plus général qui cherche les conditions selon lesquelles une expérience est obtenue.

Dans cette perspective, le seul sens qu'on peut accorder au rôle descriptif ordinaire des théories scientifiques est limité aux processus macroscopiques, où la référence peut être non-ambiguë et où justement se déroulent toutes les situations expérimentales. Par conséquent, toutes les tentatives d'attribuer au domaine microscopique soit une réalité ontologique soit une description comme s'il s'agissait de phénomènes inobservables apportent des confusions infranchissables. Le mot phénomène doit être réservé à ce qui apparaît et donc au domaine macroscopique. Le problème est alors de justifier comment l'objectivité de la physique est maintenue pendant la croissance de l'expérience au-delà des événements de la vie quotidienne. Pour Bohr la réponse au problème de l'objectivité n'est pas liée à des objets en tant qu'entités référentielles, mais aux conditions d'une communication non ambiguë.

> « Par le mot « expérience » [*experiment*], nous nous référons à une situation où nous pouvons dire à d'autres hommes ce que nous avons fait et ce que nous avons appris » (Bohr, 1991 : 207)

Si la condition d'objectivité s'identifie chez Bohr aux conditions d'une communication non ambiguë, son argument de caractère nettement transcendantal doit être dirigé vers les conditions selon lesquelles les physiciens, en tant qu'êtres finis dans le monde et appartenant à une communauté linguistique, utilisent les concepts. Pour Bohr c'est une condition transcendantale de la communication que les concepts de la vie journalière soient employés même pour des processus qui dépassent de façon extraordinaire la gamme d'une expérience ordinaire. Pourtant cette condition est nécessaire mais pas suffisante pour résoudre le problème de l'objectivité de la théorie quantique. Une chose est de rendre les descriptions des phénomènes expérimentaux, qui se passent dans le laboratoire, non ambiguës, une autre beaucoup plus difficile est de les rendre complètes ou exhaustives. En mécanique quantique où toute la référence aux phénomènes doit supposer la condition de contextualité, la solution au problème de la complétude et de la possibilité d'une description exhaustive se trouve dans le principe

de complémentarité. Ce principe a ainsi un rôle transcendantal majeur dans le cadre de la pensée bohrienne : « Loin de contenir aucun mysticisme étranger à l'esprit de la science, la notion de complémentarité porte sur les conditions logiques que doivent remplir en physique atomique la description et la compréhension de l'expérience » (Bohr, 1991 : 288).

Dans son article intitulé 'Causalité et Complémentarité (1937), mais aussi à plusieurs reprises, Bohr avait soutenu l'idée selon laquelle le principe de complémentarité est le substitut en théorie quantique au principe de causalité qui en termes très généraux est la condition de possibilité qui permet d'encadrer de façon complète les phénomènes physiques. Un tel principe est la réponse à la question « comment une théorie qui prend le quantum d'action comme un fait est-elle possible ? ». Il ne s'agit pas de nier la condition empirique imposée par le quantum d'action. Bien au contraire, en l'admettant comme un fait scientifique, il s'agit de réaliser l'action réflexive kantienne en cherchant ses conditions transcendantales de possibilité. En faisant cela, on découvre que les conditions de l'objectivité sont déterminées d'un côté par les conditions subjectives de notre sensibilité contextuellement élargie, c'est-à-dire, une sensibilité amplifiée par les instruments de mesure, et, de l'autre côté, par les conditions intersubjectives de notre langage dans un usage scientifiquement non ambigu des concepts. On a ici une situation analogue à celle de la doctrine kantienne, où la frontière entre le domaine du subjectif et celui de l'objectif est assez fluide. Ainsi pour Kant, d'un côté les conditions de la subjectivité sont en même temps les conditions de l'objectivité, et, de l'autre, les conditions des objets de l'expérience sont en même temps les conditions de l'aperception transcendantale (le « *je pense* »). Chez Bohr, les conditions subjectives de notre position comme observateurs et les conditions intersubjectives de l'application non ambiguë des concepts sont les conditions d'une objectivité « complémentairement » comprise et qui satisfait aussi l'exigence de complétude.

Cette nouvelle façon d'actualiser la méthode transcendantale sera reprise par Michel Bitbol qui essayera de la pousser vers une approche encore plus pragmatique où les *a priori* sont associés aux modes spécifiques d'activité pratiquée. En réponse à des conceptions représentationnistes qui amènent à des apories insurmontables quand elles sont appliquées à la microphysique, Michel Bitbol développe un schéma alternatif qui

permet de justifier la structure de base de la mécanique quantique, en exhibant les conditions de possibilité de l'activité de recherche orientée vers les résultats de mesure.

10.7. M. Bitbol et la justification pragmatico-transcendantale de la mécanique quantique

Sur le chemin ouvert par Cassirer et Von Weizsäcker de relativisation des principes transcendantaux, l'approche de Michel Bitbol se distingue de toutes les autres antérieurement considérées par son emphase dans un programme d'une véritable pragmatisation de la méthode transcendantale. Pour rendre compte du cadre théorique de la mécanique quantique on ne peut plus rester, comme d'ailleurs Jean Petitot le propose, dans le schéma des procédures et concepts développés par Kant lui-même, adaptés à la physique de son temps, à savoir la mécanique newtonienne. Ainsi quelques pas en avant doivent être faits vers une généralisation de la déduction transcendantale capable d'assimiler la mécanique classique aussi bien que la mécanique quantique. Mais à la différence de Jean Petitot dont l'approche, comme nous l'avons vu, est orientée vers un changement de l'Esthétique transcendantale et des deux principes mathématiques constitutifs de l'intuition, Bitbol propose un tournant pragmatique au cœur même de la *Critique de la raison pure* au niveau du principe suprême de tous les jugements synthétiques. Ce que Michel Bitbol essaie de nous faire comprendre c'est qu'il n'y plus de raison pure et que la raison est essentiellement pragmatique.

Michel Bitbol partage avec Putnam et Hintikka, entre autres, une version pragmatique de la philosophie transcendantale, où l'*a priori,* conçu d'une façon pluraliste et flexible, a un sens purement fonctionnel. Ce sens fonctionnel a sans doute une inspiration cassirerienne, mais Bitbol l'inscrit dans le cadre pratique de l'activité de recherche. L'*a priori* est donc considéré comme relatif à certains modes d'activité de recherche devant être altéré dès qu'une activité déterminée est abandonnée ou redéfinie. Bitbol se montre très critique à l'égard de la signification fallacieuse et innéiste donnée à l'expression '*a priori*', comme s'il était un attribut inné de tous les être raisonnables acquis une fois pour toutes. Pour lui, cela est l'une des sources majeures des

malentendus qui nourrit les préjugés contre toutes les tentatives qui essaient d'actualiser la réflexion transcendantale.

Mais si les *a priori* ont un sens purement conventionnel qu'on peut les abandonner et les redéfinir dès qu'on est face à deux contextes théoriques différents, pourquoi Michel Bitbol se place-t-il dans une perspective pragmatico-transcendantale et non simplement pragmatique ? En effet, pour lui, le pragmatisme transcendantal est un lieu privilégié d'où la vue s'étend au loin pour mieux voir justement la relativité et la pragmatisation des jeux de langage scientifiques les plus divers. Ses considérations critiques et transcendantales, appliquées à la structure prédictive de la mécanique quantique, l'ont amené à la conception de 'convergence réflexive' au regard de l'histoire de la physique. Contrairement au projet du réalisme convergent qui voit l'histoire de la physique comme une succession de théories dans une convergence asymptotique vers le réel, dans sa perspective transcendantale de la convergence réflexive, on a une « convergence vers les formes plus universelles de l'œuvre d'orientation de l'être agissant dans le monde » (1998 :72). C'est pour cela qu'on ne peut pas assimiler son approche au pragmatisme strict. D'un côté, il est un critique radical des approches réalistes qui tendent à décrire, complètement ou incomplètement, d'une façon spatio-temporelle ou simplement symbolique, une réalité sous-jacente aux phénomènes. Mais, de l'autre côté, l'alternative inverse offerte par l'empirisme instrumentaliste ou purement pragmatiste est assez timide pour nos besoins intellectuels. Dans la troisième voie, soutenue par Bitbol, une théorie peut être beaucoup moins qu'une description de la réalité, sans être réductible à un sommaire unifié des recettes prédictives efficaces :

> Selon cette troisième position, on peut fournir à une théorie des justifications beaucoup plus fortes que la seule adéquation empirique *a posteriori,* sans invoquer le plus léger degré d'isomorphisme entre cette théorie et les choses élusives en dehors d'elle. Une telle attitude intermédiaire qui est au regard de la métaphysique aussi agnostique que l'empirisme, mais qui partage avec le

> réalisme l'engagement à considérer la structure des théories comme hautement significative, a été appelée depuis Kant transcendantalisme.[228]

Néanmoins pour poursuivre l'approche transcendantale, face aux deux théories physiques révolutionnaires du vingtième siècle, la théorie de la relativité et la mécanique quantique, quelques modifications fondamentales doivent être apportées à la stratégie originelle de Kant. Pour Michel Bitbol (1998a : 65), la marque la plus significative de la démarche transcendantale c'est notamment la notion de limitation, comme nous l'avons remarqué dans la deuxième partie de la thèse, plutôt que la notion d'absolu qui lui est fréquemment attribuée par ses critiques. Ainsi, défendre une position transcendantale en mécanique quantique c'est, pour lui, mettre en évidence les règles de limitation qui portent sur l'activité expérimentale et sur le formalisme prédictif de ses résultats.

Ainsi deux clauses restrictives peuvent être dégagées du formalisme des vecteurs d'états dans l'espace d'Hilbert : le principe de contextualité de Bohr et l'unité formelle de l'outil prédictif. La première affirme l'impossibilité de prédiquer quelque propriété que ce soit d'un phénomène en faisant abstraction des conditions instrumentales ou, en d'autres termes, « l'impossibilité de dé-contextualiser les phénomènes sur lesquels portent la prédiction probabiliste ». Ce principe a comme conséquence l'impossibilité d'obtenir une unité représentationnelle des phénomènes quantiques. La deuxième clause impose une limite à des informations disponibles pour prédire un phénomène. Elles sont toutes « *fixées de façon univoque par la préparation* de l'expérience ». (Bitbol, 1998a : 67).

Dans son article « *Some steps towards a transcendental deduction of quantum mechanics »,* Michel Bitbol (1998b) prétend montrer que ces deux contraintes sont les réquisitions minimales pour une déduction transcendantale généralisée de la mécanique quantique. Sa déduction transcendantale ne prétend pas suivre les mêmes pas de Kant dans le passage des analogies de l'expérience aux principes métaphysiques de la mécanique en introduisant un concept empirique, comme c'était le cas du concept de

---

[228] "According to this third position, one may provide a theory with much stronger justifications than mere *a posteriori* empirical adequacy, without invoking the slightest degree of isomorphism between this theory and the elusive things *out there*. Such an intermediate attitude, which is metaphysically as agnostic

matière. Pour rendre compte de la situation de la mécanique quantique, il ne s'agit pas d'introduire de nouveaux éléments empiriques de façon, en supposant une même structure des principes *a priori*, à essayer de dériver les nouvelles lois. Quelque chose de beaucoup plus radical doit se passer. Il propose alors de réaliser un changement plus profond au niveau de la déduction transcendantale des principes *a priori*, de façon à constituer une théorie non représentationniste de la connaissance. Ce changement se tourne vers une pragmatisation de la fonction transcendantale, qui implique une transformation de la notion même de l'expérience. Le point de départ d'une déduction généralisée ne pourrait plus être une notion d'expérience en tant que représentation des objets qui se présentent spatio-temporellement en dehors de nous, même si de façon contextuelle nous présupposons cette notion dans l'usage bohrien des concepts classiques. Ainsi dans une déduction généralisée qui prend comme « fait de la science », la situation donnée par la théorie quantique, le point de départ doit être orienté vers les stratégies d'action et d'anticipation de notre activité expérimentale.

L'unité de la synthèse présupposée par la déduction transcendantale n'est plus l'unité de la conscience subjective, que Kant appelle l'aperception transcendantale. Il s'agit maintenant d'une unité pragmatique intersubjective qui nous permet de communiquer les résultats expérimentaux dans un langage familier d'organisation objectal, dans un contexte de préparation expérimentale spécifique et univoque, qui de son côté correspond à l'outil mathématique prédictif-probabiliste.

Dans le cadre du pragmatisme transcendantal, l'approche de Michel Bitbol qui, sur le plan philosophique, pousse encore plus loin l'interprétation de Bohr, introduit une critique de la connaissance à l'intérieur même du pragmatisme transcendantal de la communication proposé par K-O. Apel et H. Habermas. Elle porte notamment sur le refus de supposer en tant que principe *a priori* constitutif un substrat ontologique à partir duquel nous pouvons communiquer avec sens nos expériences. Le réalisme des entités, même dans la version voilée donnée par B. d'Espagnat[229], n'est même plus une idée qui doit être présupposée comme condition générale de l'expérience possible.

---

as empiricism, but which shares with realism a commitment to considering the structure of theories as highly significant , has been named *transcendentalism* after Kant". (Bitbol, 1998b: 253)

[229] Pour une discussion critique de l'approche pragmatico-transcendantale de Michel Bitbol vis-à-vis du réel voilé proposé par B. d'Espagnat : Cf. Espagnat (2002).

CONCLUSION

Conclusion

Après avoir passé en revue toutes ces approches transcendantales à l'égard de la mécanique quantique nous arrivons à la convergence de deux traditions philosophiques, apparemment irréconciliables, la transcendantale et la pragmatique. Ce qui a permis cette convergence dans le cadre de la mécanique quantique est sans doute l'interprétation complémentaire de Bohr. L'identification des paradoxes de la mécanique quantique au problème de l'usage des concepts du langage ordinaire a fait émerger une nouvelle dimension transcendantale à l'intérieur même de la pratique scientifique. Cette nouvelle dimension dépasse les limites étroites de l'épistémologie kantienne, centrée surtout sur l'auto conscience du sujet transcendantal, qui constitue l'expérience comme un ensemble d'objets dotés de propriétés non contextuelles. La légitimation et la validité d'une théorie scientifique, telle que la mécanique quantique, doit considérer au-delà du dualisme entre les conditions empiriques externes et les conditions formelles de subjectivité unifiées dans une conscience transcendantale, comme on en avait chez Kant, la dimension nécessairement intersubjective propre à l'usage du langage dans des situations expérimentales contextuellement dépendantes.

L'analyse du problème de la constitution de la matière chez Kant, à la lumière de l'interprétation de H. Cohen, nous a montré que le vrai conflit des antinomies se pose non parce que la connaissance ne peut pas se dérouler dans le domaine de l'inobservable, mais lorsque les objets de la connaissance scientifique sont constitués comme s'ils étaient des choses en soi, indépendamment des conditions de l'intuition sensible. Cette prémisse majeure de la philosophie transcendantale reste valide dans le contexte de la physique classique aussi bien que dans celui de la mécanique quantique. Néanmoins, ce qui change radicalement lorsqu'on passe du « fait de la science classique » au « fait de la théorie quantique » c'est la façon dont l'expérience est constituée. Ainsi une nouvelle antinomie est créée non pas au niveau de la raison pure (dialectique transcendantale) mais au niveau de l'entendement (analytique transcendantale) si l'on prend à la lettre le principe suprême de tous les jugements synthétiques *a priori* : « les conditions de la *possibilité de l'expérience* en général sont en même temps conditions de la *possibilité des objets de l'expérience* ». Ces objets sont

alors conçus comme des entités ayant une existence matérielle, dotés de certains attributs, ceux-ci appelés également propriétés. Ces propriétés sont identifiés à des grandeurs physiques stockant des informations d'état de l'objet. L'objet possède une identité, qui lui permet d'être distingué d'autres objets, indépendamment de son état et du contexte expérimental. La mécanique quantique a démontré que cette idée d'objet qu'on pensait être la condition transcendantale la plus universelle de l'objectivité scientifique doit être limitée au registre classique de la connaissance. Ainsi l'idée manifestée par Kant, dans la dynamique des *Premiers principes de la science de la nature*, sur la constitution élémentaire de la matière, nonobstant sa nature inobservable, se présente comme si elle était un prolongement spatio-temporel de l'intuition sensible. Or nous avons bien vu que, tant l'idée de l'atome comme composé de petites particules que celle d'une matière infiniment divisible - même si ces deux conceptions ne sont pas métaphysiquement conçues - s'avère très problématique vis-à-vis de la mécanique quantique.

Alors si le principe suprême de tous les jugements synthétiques *a priori* n'est pas universellement valable et doit être modifié pour rendre compte de la théorie quantique, que peut-on attendre de l'ensemble des principes de l'entendement pur ? Les réponses à ce sujet ont été généralement restreintes à l'analyse de la validité des principes dynamiques de la permanence de la substance et de la causalité. Paradoxalement, le principe mathématique des anticipations de la perception, qui, selon l'interprétation cohenienne est au cœur de la méthode transcendantale, et qui exprime la continuité d'une anticipation déterministe des phénomènes n'a pas été mis en cause par la majorité des philosophes et des scientifiques qui ont écrit sur cette question. Nous sommes arrivés à la conclusion dans la deuxième partie de ce travail que l'oubli de ce principe avait conduit à une série de malentendus sur la place du principe de causalité. La confusion qui s'est établie au cœur du débat philosophique entre les interprètes de la mécanique quantique ne porte pas nécessairement sur l'identification tout court entre le principe de causalité et l'évolution déterministe de l'équation d'onde. On peut faire ce qu'on veut avec nos définitions. Le problème majeur est de croire que cette identification est en fait la traduction à la lettre du texte kantien sur le principe de la succession dans le temps suivant la loi de causalité. Le principe d'évolution temporelle

d'une équation différentielle est bien, chez Kant, la base non pas du principe de causalité mais du principe des anticipations de la perception.

Une des solutions au problème de la causalité en mécanique quantique a été celle donnée par Bohr. En appliquant son principe de complémentarité, il a établi une exclusion mutuelle entre l'intuition spatio-temporelle et le principe de causalité. Cette solution en effet comme nous l'avons montré est équivoque et entretient la confusion relative à la validité de la deuxième analogie de l'expérience. Bien que G. Hermann ne soit pas allée jusqu'au bout dans son travail de dissocier le principe de causalité de son critère déterministe d'application, elle a bien montré que la causalité, dans le sens de la deuxième antinomie n'a de validité que dans le cadre d'une description spatio-temporelle. Etant donné que le contexte expérimental du laboratoire est toujours spatio-temporel, toute description d'une expérience implique nécessairement le principe de causalité. Dans la limite des phénomènes quantiques, les deux sortes de descriptions complémentaires, par exemple, celle en termes de particule et celle en termes d'onde, présupposent à la fois l'intuition sensible et le principe de causalité. L'analyse de Hermann nous a conduit à conclure que la notion de description est dénuée de sens hors du contexte expérimental et par conséquent le principe de causalité n'a pas de sens hors du cadre de l'intuition spatio-temporelle. L'idée largement diffusée selon laquelle la mécanique quantique avait invalidé le principe transcendantal de causalité ne résiste pas à un examen plus détaillé du texte kantien. Ce qu'a montré G. Hermann c'est que ce principe a une portée plus limitée qu'on ne le croyait auparavant.

L'analyse logiquement sophistiquée de Peter Mittelstaedt, à son tour, a bien révélé que l'identification du système physique à un objet complètement bien déterminé par l'ensemble de ses propriétés n'est pas cohérente avec le formalisme de la théorie quantique. Il a proposé alors, pour assurer l'application du principe de causalité et du principe de la permanence de substance, le clivage entre propriétés objectives et propriétés non objectives, au cas de mesures bien définies, et le concept d'objet *unsharp*, au cas de mesures floues ou indéterminées. Le problème de la solution de Mittelstaedt ne réside pas dans la cohérence de sa proposition vis-à-vis de la mécanique quantique, sur ce point son interprétation s'avère extrêmement originelle et élégante. La difficulté majeure se trouve dans la cohérence même de la méthode transcendantale. Lorsqu'il a dissocié les deux analogies de l'expérience du cadre spatio-temporel de

l'intuition sensible, en identifiant le principe de substance au vecteur d'état défini par l'ensemble de ses propriétés objectives et le principe de causalité à l'évolution temporelle de ce vecteur d'état, la cohérence de la méthode kantienne assurée par le schématisme ne pourra plus être maintenue. Nous devenons chaque fois plus convaincus que pour garder la force même de la réflexion transcendantale il faut aller au-delà de Kant. La seule démarche transcendantale à poursuivre ne pourra être autrement qu' « avec Kant et contre Kant ».

Cassirer est certes un véritable tournant dans la tradition philosophique kantienne. C'est lui qui a poussé à fond le projet de réforme de la philosophie transcendantale de façon à rendre compte de l'état actuel de la science. Il nous a montré qu'il n'y a pas de contradiction entre l'approche transcendantale et la condition nécessairement historique et conditionnée de la connaissance. On a découvert chez lui le concept d'*a priori* fonctionnel et symbolique qui doit remplacer l'*a priori* substantiel, qui n'a de sens que dans le cadre d'une théorie classique, où les objets sont constitués en tant qu'individus porteurs de propriétés non relationnelles. Il a recouru à Helmholtz pour montrer que le principe de causalité a une portée plus ample que celle qu'on lui attribue en se basant sur la deuxième analogie de l'expérience. La causalité est ainsi rétablie non pas dans le cadre étroit de l'analytique transcendantale, mais sur la perspective plus ample des jugements réfléchissants de la troisième *Critique* et des principes régulateurs de la Dialectique transcendantale.

Le projet ambitieux de Von Weizsäcker, de rétablir l'unité de la nature à partir de l'unité de la pensée, nous offre des arguments plus puissants pour affirmer avec G. Buchdahl que l'actualisation du kantisme doit se baser plutôt sur une revalorisation des principes régulateurs de la raison. Pour éviter la confusion dénoncée par Habermas entre la démarche d'auto-objectivation et celle d'auto-réflexion, il nous semble que l'unité que Von Weizsäcker envisage, a partir du principe de symétrie, peut être meilleure assimilée à une légalité, définie par le système théorique, qui résulte de l'emploi hypothétique de la raison dans sa fonction régulatrice, qui projette l'unité du système à la nature. L'approche de Von Weizsäcker fait ressortir que la frontière entre la raison théorique et la raison pratique n'est pas si rigide. La mécanique quantique nous offre ainsi l'occasion de déplacer ce dualisme caractéristique du kantisme strict, dans la mesure où la liberté de choix de l'observateur définit le type de description théorique à

être employé dans la pratique expérimentale du laboratoire. Von Weizsäcker partage ainsi avec Bohr que la physique classique est une pré-condition *a priori* de la théorie quantique et, en tant que telle, assure une place insurmontable à l'intuition spatio-temporelle et au principe de causalité dans des contextes complémentaires mutuellement exclusifs. Ainsi il ne s'agit pas de remplacer l'intuition spatio-temporelle par une autre sorte d'intuition non sensible, mais de bien limiter son rôle.

Le travail de Jean Petitot, à son tour, a été sans doute un pas important pour dériver les nouveaux transcendantaux mathématiques de l'objectivité régionale quantique. Il a bien souligné que la fonction majeure de ces principes n'est pas du tout descriptive d'une objectivité qu'on suppose être donnée, mais prescriptive. Cela veut dire que l'objectivité physique n'est pas quelque chose à être décrit mais à être vraiment constitué par une raison mathématique. Le concept de groupe de symétrie est l'un de ces métaconcepts qui a une fonction transcendantale impaire de constituer les caractéristiques basiques de la légalité physique. Ses caractéristiques, essentiellement symboliques, remettent en cause l'idée que l'objet du formalisme peut être figuré dans un espace tridimensionnel. L'effort de Petitot a aussi l'originalité de déplacer le champ de la bataille sur la nouvelle constitution de l'objectivité quantique du terrain des analogies de l'expérience à celui des principes mathématiques de l'entendement pur. Il nous fait remarquer que le concept d'amplitude de probabilité introduit des modifications significatives au niveau du principe des anticipations de la perception, ce qui entraîne qu'une prédiction du type déterministe ne soit plus universellement valable. Néanmoins, ce qui manque dans l'approche de Petitot, c'est justement l'articulation entre la raison mathématique et la raison expérimentale, qui nous fait supposer que d'autres dimensions de l'*a priori* doivent être ajoutées pour composer l'objectivité quantique.

Nous nous tournons alors vers l'interprétation de Bohr et vers l'approche pragmatico-transcendantale de Michel Bitbol pour affirmer que la dimension performative de l'objectivité quantique ne peut plus être négligée. Ce n'est plus le cas de penser que cette objectivité est causée par une réalité inobservée, même s'il s'agit d'une réalité inconnaissable ou voilée. Il est question de prendre sérieusement le caractère nécessairement intersubjectif de l'objectivité qui ne se laisse interpréter que dans la perpective pragmatique. Le principe suprême de tous les jugements synthétiques

a priori est ainsi réécrit : « les conditions de la *possibilité de l'expérience* en général sont en même temps conditions de la *possibilité de la communication non ambiguë des résultats de l'expérience* ». L'objectivité de l'expérience est donc comprise dans le sens où elle peut être partagée de manière intersubjective. La mécanique quantique est le cas le plus exemplaire du fait performatif, souligné par les philosophies d'Austin à Habermas et K. O Apel, selon lequel les affirmations qui servent à communiquer des expériences sont elles-mêmes des actions. L'interprétation de Michel Bitbol de la théorie quantique nous a amené à considérer que la rationalité mathématique du formalisme ne peut pas être désengagée de notre situation en tant qu'êtres agents dans le monde.

Nous avons maintenant un cadre plus élargi des diverses dimensions de l'*a priori*. La perspective pragmatico-transcendantale nous a fait considérer au moins trois dimensions: les *a priori* en tant que principes constitutifs de l'objectivité quantique (dimension mathématique et dynamique) ; les *a priori* en tant que principes régulateurs de la théorie quantique (dimension métaphysique) ; les *a priori* en tant que principes performatifs de l'entreprise expérimentale (dimension communicative). Ces trois dimensions ne sont pas si indépendantes, elles s'intègrent pour constituer le champ de validation de notre pratique scientifique. L'*a priori* constitutif de l'expérience est en mécanique quantique attaché de façon inexorable à l'*a priori* de la communication qui suppose comme base le langage ordinaire où les concepts doivent être articulés dans un discours possible. La raison quantique a donc perdu sa pureté et est devenue une raison pragmatique.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Anderson, E. (1994). 'Kant, Natural Kind Terms, and Scientific Essentialism', *History of Philosophy Quarterly,* **11**, n° 4, 355-373.

Apel, K-O. (1970). 'From Kant to Peirce: the semiotic transformation of transcendental logic', in L. W. Beck (ed.), *Proceedings of the Third International Kant Congress 1970,* Dordrecht: Reidel, 90-104.

Apel, K-O. (1985) 'El concepto hermenéutico-transcendental del lenguaje', in *Transformacion de la filosofia, tomo II El* ***a priori*** *de la comunidad de comunicación*. Trads. A. Cortina, J. Chamorro et J. Conill, Madrid: Taurus. (Traduit de *Transformation der Philosophie. 2, Das Apriori der Kommunikationsgemeinschaft*. Frankfurt am Main : Suhrkamp, 1973).

Apel, K-O. (1989). 'Linguistic meaning and intentionality: the compatibility of the 'linguistic turn' and the 'pragmatic turn' of meaning-theory within the framework of a transcendental semiotics', in G. Deledalle (ed.), *Semiotics and Pragmatics: Proceedings of the Perpignan Symposium*. Amsterdam/Phyladelphia: John Benjamins Puvlishing Company, 19-70.

Apel, K-O. (1991). *Teoria de la verdad y ética del discurso.* Trad. Norberto Smilg. Barcelona: Ediciones Paidos.

Apel, K-O. (1997). *El camino del pensamiento de Charles S. Peirce.* Trad. I. O. Serrano et G. del Puerto y Gil. Madrid: Visor. (Traduit de *Der Denkweg von Charles Sanders Peirce: eine Einführung in den amerikanischen Pragmatismus,* Frankfurt am Main: Suhrkamp, 1975).

Aristote (1990). *Les Topiques,* trad. J. Tricot, Paris, Vrin.

Aubenque, P. (1990). 'Le débat de 1929 entre Cassirer et Heidegger', in J. Seindengart (ed), *Ernst Cassirer : de Marbourg à New York – l'itinéraire philosophique*. Paris : Les éditions du CERF, 81- 96.

Austin, J. (1970). *Quand dire, c'est faire*. Trad. G. Lane. Paris: Ed. du Seuil. (Traduit de *How to do things with words*. Oxford: Clarendon Press, 1962).

Auyang, S. Y. (1995). *How is quantum field theory possible?*. Oxford: Oxford University Press.

Ayer, A. J. (ed.) (1959). *Logical positivism.* Glencoe: The Free Press.

Bastin, T. (ed.), (1971). *Quantum Theory and Beyond*, Cambridge University Press.

Baum, M. (1979). 'Transcendental Proofs in Kant's Critique', in P. Bieri, R-P. Horstmann et Krüger (ed.), *Transcendental arguments and science.* Dordrecht: Riedel.

Berkeley, G. (1962). 'A treatise concerning the principles of human knowledge' in: G.J. Warnock (ed.). *The Principles of Human Knowledge and Three Dialogues between Hylas and Philonus*. Londres / Glasgow: Collins / Fontana Press. ('*A treatise concerning the principles of human knowledge*' a été publié originalement en 1710).

Bell, J. S. (1966). 'On the problem of hidden variables in quantum mechanics', *Review of Modern Physics*, **38**, 447-452.

Bell, J. S. (1987). *Speakable and unspeakable in quantum theory*. Cambridge: Cambridge University Press.

Bene, G. (1992). 'Quantum reference systems: a new framework for quantum mechanics', *Physica* **A 242,** 529-560.

Benoit, J. (1996). *Kant et les limites de la synthèse.* Paris: PUF.

Bergstein, T. (1972). *Quantum Theory and ordinary language.* Londres: Macmillan.

Bieri, P., Horstmann, R-P. & Krüger (eds.), (1979). *Transcendental arguments and science.* Dordrecht: D. Riedel Publishing Company.

Bitbol, M. (1996a). *Mécanique quantique : une introduction philosophique,* Paris : Flammarion.

Bitbol, M. (1996b). *Schrödinger's philosophy of quantum* mechanics, Boston Studies in the philosophy of science. Dordrecht/Boston/London: Kluwer.

Bitbol, M. (1998a). *L'aveuglante proximité du réel (anti-réalisme et quasi-réalisme en physique).* Paris: Flammarion.

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

Bitbol, M. (2000a). *Physique et philosophie de l'esprit.* Paris: Flammarion.

Bitbol, M. (2000b). 'Relations, Synthèses, Arrière-Plans ; sur la philosophie transcendantale et la physique moderne', *Archives de Philosophie,* **63**, 595-620.

Bitbol, M. (2000c). 'Arguments transcendantaux en physique moderne', in Chauvier, S., Capeillères, F. (éd.), *La querelle des arguments transcendantaux, Revue philosophique de l'Université de Caen,* **35**, 81-101.

Böhme, G. (1981). 'Towards a reconstruction of Kant's epistemology and theory of science'. *The philosophical forum,* **XIII** (1), 75-102.

Bohm, D. (1952). 'A suggested interpretation of the quantum theory in terms of 'hidden' variables, I and II," *Physical Review*, **85**, 166-193.

Bohr, N. (1923). *Les spectres et la structure de l'atome*. Trad. A. Corvisy. Paris : Hermann. (Traduction à partir du recueil *Drei Aufsätze über Spektren und Atombau.* Brunswick : Vieweg, 1922)

Bohr, N. (1924). 'On the application of the quantum theory to atomic structure : Part I, The fundamental postulates'. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society.* (Supplement), 1-42. (réimprimé in *BCW3:* 457-499).

Bohr, N. (1928). 'The quantum postulate and the recent development of atomic theory', *Nature (suppl.)*, **121**, 580-590 (réimprimé in *BCW6*, 147-158; version française 'Le postulat quantique et le dernier développement de la théorie atomique (1927)', in Bohr, 1932: 49-85).

Bohr, N. (1929a). 'Wirkungsquantum und Naturbesschreibung', *Naturwiss*, **17**, 483-486 (réimprimé in *BCW6*, 203-206; version française 'Le quantum d'action et la description des phénomènes (1929)', in Bohr, 1932: 87-95).

Bohr, N. (1929b). 'Atomteorien of Grundprincipperne for Naturbeskrivelsen', *Fysisk Tidsskrift,* **27,** 103-114 (Traduction française 'La théorie atomique et les principes fondamentaux de la description des phénomènes' in Bohr, 1932: 97-111.).

Bohr, N. (1932). *La théorie atomique et la description des phénomènes,* Trad. A. Legros et L. Rosenfeld. Paris : Gauthier-Villars. (réimpression par Sceaux : J. Gabay, 1993. Les trois premiers articles traduits de l'édition danoise *Atomteori og Naturbeskrivelse,* Copenhagen: Bianco Lunos Boogtrykkeri, 1929 et le quatrième article de la revue *Fysisk Tidsskrift,* **27,** 1929, 103-114).

Bohr, N. (1933). 'Light and Life', *Nature*, **131**, 421-423, 457-459. (Traduction française in N.Bohr, 1961; 2ème édition revue, 1991).

Bohr, N. (1935) 'Can the quantum-mechanical description of physical reality be considered completed ?', *Physical Review*, **48**, 696-702. [réimprimé in *BCW 7,* 291-298]

Bohr, N. (1937a). 'Causality and Complementary', *Philosophy of Science,* **4**, n. 3, 289-298. [réimprimé in *BCW 10,* 39-48].

Bohr, N. (1937b). 'Biology and atomic physics', *Nuovo Cimento,* **15**, 429-438. (Traduction française in N.Bohr, 1991 : 165-179).

Bohr, N. (1939a). 'Le problème causal en physique atomique', in Institut International de Coopération Intellectuelle (ed.), *Les nouvelles théories de la physique.* Paris : Institut International de Coopération Intellectuelle, 11-48. [édition en anglais in *BCW 7*, 299-322].

Bohr, N. (1939b). 'Natural philosophy and human culture', *Nature,* **143**, 268-272. (Traduction française in N.Bohr, 1991 : 181-194).

Bohr, N. (1947). *Newton's Principles and Modern Atomic Mechanics*, in Royal Society (ed.), *Newton Tercentenary Celebrations.* Cambridge: University Press, 56-61. [réimprimé in *BCW 11*].

Bohr, N. (1948) 'On the notions of causality and complementarity', *Dialectica,* **2**, n° 3/4, 312-319. [réimprimé in N. Bohr, 1996, *BCW 7*, 325-337].

Bohr, N. (1949). ' Discussion with Einstein on epistemological problem of atomic physics', in P. A. Schilpp (éd.), *Albert Einstein Philosopher-Scientist.* Evaston, III, Library of Living Philosophers. (Traduction française in N.Bohr, 1991 : 195-248).

Bohr, N. (1955). 'The unity of knowledge', in *The Unity of Knowledge.* New York, Doubleday and Co. (Traduction française in N.Bohr, 1991 :249-273).

Bohr, N. (1958). 'Quantum physics and philosophy: causality and complementarity', in R. Klibansky, *Philosophy in the Mid-Century'.* Florence: La Nuova Italia Editrice, 308-314. [réimprimé in Bohr (1963: 1-7) et aussi in *BCW7:* 388-314).

Bohr, N. (1963). *Essays 1958-1962 on Atomic Physics and Human Knowledge*. London: Wiley. (réimprimé comment *The Philosophical Writings of Niels Bohr, vol III.* Woodbridge: Ox Bow Press, 1987).

Bohr, N. (1985). *Collected Works 6: Foundations of quantum physics I (1926 – 1932).* J. Kalckar (ed.), Amsterdam: North-Holland. [*BCW6*]

Bohr, N. (1991). *Physique atomique et connaissance humaine,* trad. Ed. Bauer et R. Omnès, revue par C. Chevalley. Paris: Gallimard. (Traduction originelle Paris: Gauthier-Villars, 1961 de *Atomic physics and human knowledge.* New York: J. Wiley & Sons, 1958.).

Bohr, N. (1996). *Collected Works 7: Foundations of quantum physics II (1933 – 1958).* J. Kalckar (ed.), Amsterdam: North-Holland / Elsevier. [*BCW7*]

Bohr, N. (1999). *Collected Works 10: Complementarity beyond physics (1928 – 1962).* David Favrholdt (ed.), Amsterdam: North-Holland / Elsevier. [*BCW10*]

Bonnet, C. (2002). 'La théorie friesienne de la justification'. *Revue de métaphysique et de morale*, n°3, p. 337-351.

Bonnet, C. (2002). 'Kant et les limites de la science'. In: Pierre Wagner (ed), *Les philosophes et la science*, Paris: Gallimard, 349-402.

Born, M. (1926). 'Zur Quantenmechanik der Stoβvorgänge'. *Zeitschrift für Physik,* **37**, 863-867. (Traduction anglaise 'On the quantum mechanics of collisions', in Wheeler & Zurek (ed.). *Quantum Theory and Measurement*. Princeton: Princeton Univ. Press, 1983, 52-55.)

Born, M. (1927). 'Quantenmechanik und Statistik', *Naturwissenschaften,* **15,** 238-242.

Born, M. (1935). *Atomic Physics,* trad. J. Dougall, New York: Dover Publications, 8ème edition, 1989.

Born, M. (1964). 'The statistical interpretation of quantum mechanics – Nobel lecture, December 11, 1954' in *Nobel Lectures. Physics 1942-1962.* Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 256-267.

Braithwaite, R. B. (1953). *Scientific Explanation.* Cambridge : University Press.

Brittan Jr., G. G. (1994). 'Kant and the quantum theory', in P. Parrini (ed.*), Kant and Contemporary Epistemology.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Brock, S. (2003) *Niels Bohr's Philosophy of Quantum Physics*, Berlin: Logos Verlag.

Brown, H. R., and Brading, K. A. (2002): 'General Covariance from the Perspective of Noether's Theorems', *Diálogos*,**79**, 59-86.

Bub, J. (1973). 'On the completeness of quantum mechanics', in C. Hooker (ed.), *Contemporary Research in the Foundations and Philosophy of Quantum Theory.* Dordrecht: Reidel.

Bub, J. (1997). *Interpreting the quantum world.* Cambridge: Cambridge University Press.

Bub, J. (2000). 'Quantum mechanics as a principle theory' *Studies in History and Philosophy of Modern Physics,* **31B,** 75-94.

Buchdahl, G. (1965). 'Causality, Causal Laws and Scientific Theory', *Brit. J. Phil. Sc.,* XVI, 187-208.

Buchdahl, G. (1992). *Kant and the Dynamics of Reason.* Oxford/Cambridge: Blackwell, 1992.

Busch, Lahti & Mittetlstaedt (1991). *The quantum theory of measurement.* Berlin/Heildelberg: Springer-Verlag.

Busch, P. (1991). 'Macroscopic quantum systems and the objectivation problem' in P. Lahti et P. Mittelstaedt (eds), *Symposium on the Foundations of Modern Physics 1990.* Singapore: World Scientific, 62-76.

Busch, P. (1998). 'Can 'unsharp objectivation' solve the quantum measurement problem?', *International Journal of theoretical physics,* **37**, 241-247.

Butts, R. (1986). *Kant's philosophy of physical science*: Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft, 1786-1986. Dordrecht: Reidel.

Carnap, R. (1922). 'Der Raum: ein Beitrag zur Wissenschaftslehre', *Kant-Studien,* 56.

Carnap, R. (1928). *Der logische Aufbau der Welt.* Berlin: Weltkreis-Verlag. (réimprimé Hamburg: Felix Meiner Verlag, 1998; traduction anglaise de Rolf George, *The logical Structure of the World,* London: Routledge-Kegan Paul, 1967; traduction française de Thierry Rivain, *La construction logique du monde*, Paris : J. Vrin, 2002).

Carnap, R. (1931). 'Die Physikalische Sprache als Universalsprache der Wissenschaft', *Erkenntnis,* **II**, 432-465. (traduction anglaise par M. Black, sous le titre *The Unity of Science*. London : Kegan Paul, 1934, réimprimé Bristol : Thoemmes Press, 1995).

Carnap, R. (1932/33). 'Psychologie in physikalischer Sprache', *Erkenntnis,* **III**, 107-142. (traduction anglaise par G. Schick sous le titre 'Psychology in Physical Language', in A. Y. Ayer (ed.), *Logical positivism.* New York: The Free Press, 1959, 165-198).

Carnap, R. (1936/1937). 'Testability and Meaning', *Philosophy of Science,* **3**, 419-471, et **4**, 1-40. (reimprimé in H. Feigl and M. Brodbeck (eds), *Readings in the Philosophy of Science,* New York: Appleton-Century-Crofts, 1953, 47-92).

Carnap, R. (1938). 'Logical Foundations of the Unity of Science', in O. Neurath, R. Carnap and Ch. Morris (eds.), *International Encyclopedia of Unified Science.* Chicago: The University of Chicago Press, **I**, n. 1, 42-62.

Carnap, R. (1956). 'The methodological character of theoretical concepts', in H. Feigl et M. Scriven (eds.), *Minnesota Studies in Philosophy of Science* **I***: The foundations of science and the concepts of psychology and psychoanalysis.* Minneapolis: University of Minnesota Press, 38-76.

Carnap, R. (1973a). *Les fondements philosophiques de la physique*. Traduction de J-M Luccioni et A. Soulez. Paris: Armand Colin (Traduction de *Philosophical Foundations of Physics*: *an introduction to the philosophy of science.* New York: Basic Books, 1966.).

Carnap, Hahn and Neurath (1973b). 'Wissenschaltliche Weltauffassung: Der Wiener Kreis, The Scientific Conception of the World: The Vienne Circle', in: O. Neurath, *Empiricism and Sociology*, edité par M. Neurath et R. Cohen. Dordrecht: Reidel, 297-318.

Carnap, R. (1997). *Signification et nécessité : une recherche en sémantique et en logique modale.* Trad. François Rivenc et Philippe de Rouilhan, Paris : Gallimard. (Traduction de *Meaning and Necessity : a study in semantics and modal logic.* Chicago : University of Chicago Press,1947).

Cassidy, D. (1992). *Uncertainty; the life and science of Werner Heisenberg.* New York: Freeman and Company.

Cassirer, E. (1944). 'The concept of group and the theory of perception', *Philosophy and phenomenological research,* **5** (1), 1-35. (publié originalemment en français : 'Le concept de groupe et la théorie de la perception', *Journal de Psychologie normale et pathologique,* **35**, 1938, p. 368-414.

Cassirer, E. (1942). 'The influence of language upon the development of scientific thought', *The Journal of Philosophy,* **XXXIX**, n° 12, June 4, 309-327. (traduction française in *Journal de Psychologie Normale et Pathologique,* vol. XXXIX, 1946, 129-152.)

Cassirer, E. (1956). *Determinism and indeterminism in modern physics: historical and systematic studies of the problem of causality,* trad. O. T. Benfey. New Have: Yale University Press. (Traduit de *Determininismus und Indeterminimus in der modernen Physik,* Göteborg, 1937).

Cassirer, E. (1972a). 'Kant et le problème de la métaphysique : remarques sur l'interprétation de Kant proposée par M. Heidegger'. Trad. P. Quillet. In : Cassirer & Heidegger (1972). (Traduit de 'Kant und das Problem der Metaphysik. Bemerkungen zu Martin Heideggers KantInterpretation', *Kantstudien*, **36**, 1-26, 1931)

Cassirer, E. (1972b). *La philosophie des formes symboliques, vol 3 : La phénoménologie de la connaissance.* Trad. C. Fronty. Paris : Les éditions de Minuit. (Traduit de *Die Philosophie des symbolischen Formen, III, Phänomenologie der Erkenntnis*, 1929).

Cassirer, E. (1977). *Substance et fonction: éléments pour une théorie du concept.* Trad. Pierre Caussat. Paris: Ed. de Minuit. (Traduit de *Subtanzbegriff und Funktionsbegriff. Untersuchengen über die Grundfragen der Erkenntniskritik,* Berlin, 1910).

Cassirer, E. (1995). *Le problème de la connaissance dans la philosophie et la science des temps modernes **IV :** De la mort de Hegel à l'époque présente.* Trad. J. Carro et J. Gaubert. Paris : Les éditions du Cerf. (Traduit de *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit, IV*, traduction anglaise de 1950, version originelle allemande de 1958*)*

Cassirer, E. (2000). *La théorie de la relativité d'Einstein : éléments pour une théorie de la connaissance.* Trad. Jean Seidengart. Paris : Les éditons du Cerf. (Traduit de *Zur Einsteinchen Relativitätstheorie*. *Erkenntnistheoretische Betrachtungen,* Berlin, 1921)

Cassirer & Heidegger (1972). *Débat sur le kantisme et la philosophie : Davos, mars 1929 et autres textes de 1929-1931.* Trad. P. Aubenque, J. M. Fataud et P. Quillet. Paris : Beauchesne.

Cassirer, E., Cohen, H. & Natorp, P. (1998). *L'Ecole de Marburg.* Trad. Marc de Launay et Carole Prompsy. Paris : Ed. du Cerf.

Chevalley, C. (1985). 'Complémentarité et langage dans l'interprétation de Copenhague', *Revue d'Histoire des Sciences*, **XXXVIII**, 3/4, 251-292.

Chevalley, C. (1989). 'De Bohr et Von Neumann à Kant, l'école allemande de logique quantique', *L'âge de la science : lectures philosophiques*, n° 2, Paris : Editions Odile Jacob.

Chevalley, C. (1989). 'Histoire et philosophie de la mécanique quantique', *Revue de synthèse,* 469-481.

Chevalley, C. (1991a). 'Introduction', in N. Bohr, *Physique atomique et connaissance humaine.* Paris : Gallimard, 17-140.

Chevalley, C. (1991b). 'Glossaire', in N. Bohr, *Physique atomique et connaissance humaine.* Paris : Gallimard, 345-567.

Chevalley, C. (1992). 'Physique quantique et philosophie', *Le Débat*, **72**, 65-76.

Chevalley, C. (1993). 'Les concepts on Bohr's atomic theory', *Bulletin de la Société française de Philosophie,* avril-juin, 1993.

Chevalley, C. (1994). 'Niels Bohr words and the Atlantis Kantianism', in Faye & Folse (eds.), *Niels Bohr and Contemporary Philosophy.* Dordrecht: Kluwer, 33-55.

Chevalley, C. (1995). 'Philosophy and the birth of quantum theory', in K. Gavrogly et al. (eds.), *Physics, philosophy and the scientific community.* Dordrecht: Kluwer.

Chevalley, C. (1995). 'On objectivity as intersubjective agreement', in L. Krüger et B. Falkenburg (eds.), *Physik, Philosophie und die Einheit der Wissenschaften. Für Erhard Scheibe.* Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 332-346.

Chevalley, C. (1998). 'Introduction', in Heisenberg, *Philosophie. Le Manuscrit de 1942.* Paris : Le Seuil.

Chevalley, C. (1999). 'Why do we find Bohr obscure ?' in Greenberger, Reiter & Zeilinger (eds.), *Epistemological and Experimental Perspectives on Quantum Physics.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 59-73.

Chevalley, C. (2000). 'Objectivité et intersubjectivité chez Bohr', *Epistémologiques*, vol I, numéro 1-2. São Paulo, 307-324.

Clark, A.J.(1985). 'Why Kant couldn't be an anti-realist'. *Analysis,***45** (1), p. 61-63.

Coffa, A. (1991). *The semantic tradition from Kant to Carnap.* Cambridge : University Press.

Cohen-Tannoudji, Diu & Laloë (1973). *Mécanique quantique,* vol. I. Paris: Hermann.

Cohen, H. (1902). *Logik der reinen Erkenntnis.* Berlin: Bruno Cassirer. (réedition Hildesheim: Georg Oms Verlag, Band 6, 4ème édition, 1997).

Cohen, H. (1999). *Le principe de la méthode infinitésimale et son histoire*. Trad. M. Launay. Paris : J. Vrin. (publié originellement à Berlin: F. Dümmler, 1883).

Cohen, H. (2000). *Commentaire de la « Critique de la raison pure » de Kant*. Trad. E. Dufour. Paris : Les Editions du Cerf. (Traduit de *Herman Cohen Werke 4: Kommentar zu Immanuel Kants Kritik der reinen Vernunft* Hildesheim: Georg Oms Verlag, Band 4, 5ème édition, 1989. Publié originellement en Berlin: Dürr, 1907; 2éme édition, Leipzig: Felix Meiner, 1917).

Cohen, H. (2001). *La théorie kantienne de l'expérience*. Trad. E. Dufour et J. Servois. Paris : Les Editions du Cerf. (Traduit de *Kants Theorie der Erfahrung,* Berlin : F. Dümmler, 1871 ; 2ème edition, Berlin: F. Dümmler, 1885 ; 3ème edition, Berlin: B. Cassirer, 1918; reproduction Hildesheim: Georg Oms Verlag, 1987.)

Collingwood, R. G. (1940). *An essay on Metaphysics.* Oxford: At The Clarendon Press.

Colodny, R. G. (ed.), *Paradigms and Paradoxes*, Pittsburg, University of Pittisburg Press, 1972.

De Broglie, L. *Le principe de correspondance et les interactions entre la matière et le rayonnement*. Paris : Hermann & Cie, 1938.

Dirac, P. (1958). *The principles of quantum mechanics.* New York: Oxford University Press.

Dieks, D. et Vermaas, P. (eds.), (1998). *The Modal Interpretation of Quantum Mechanics*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Dilthey, W. (1947). *Le monde de l'esprit.* Trad. M. Rémy. Paris: Aubier. (Traduit de *Die geistige Welt, Einleitung in Philosophie des Lebens,* in *Gesammelte Schriften (*5–6). Stuttgart: B. G. Teubner, 1924)

Duff, M. (2002). 'Comment on time-variation of fundamental constants'. E-print : arXiv : hep-th/0208093.

Duff, M., Okun, L. & Veneziano, G. (2002), 'Trialogue on the number of fundamental constants', JHEP 23, 1-30.

Duhem, P.(1981). *La théorie physique : son objet, sa structure*. Paris : Vrin. (Edition original de1906).

Dufour, E. (2000). 'L'interprétation cohénienne de la "Critique de la raison pure'. In : H. Cohen, *Commentaire de la « Critique de la raison pure » de Kant.* Paris : Cerf, 2000.

Dufour, E. (2001). *Hermann Cohen. Introduction au néo-kantisme de Marburg.* Paris : P.U. F.

Einstein, Podolsky & Rosen (1935). 'Can the quantum mechanical description of physical reality be considered completed ?', *Physical Review*, **47**, 777-780.

Eisler, R. (1994). *Kant-Lexikon*. Paris: Gallimard.

Espagnat, B. d' (1994). *Le réel voilé, analyse des concepts quantiques.* Paris : Fayard.

Espagnat, B. d' (2002). *Traité de physique et de philosophie*. Paris : Fayard.

Everett, H. (1957). ''Relative State' Formulation of Quantum Mechanics', *Reviews of Modern Physics* **29**, 454-462. (réimprimé in Wheeler and Zurek (eds.), *Quantum Theory and Measurement,* Princeton: Princeton University Press, 1983, 315-323.).

Fadner, W. L.(1985). 'Theoretical Support for the Generalized Correspondence Principle', *American Journal of Physics,* **53**, 829-38.

Falkenburg, B. (1988). 'The unifying role of symmetry principles in particle physics', *Ratio (New Series),* **I**, n. 2, 113-134.

Falkenburg, B. (1998). 'Bohr's Principles of Unifying Quantum Disunities', *Philosophia-Naturalis*, **35**, 95-120.

Falkenburg, B. (2000). 'Kants Naturbegriff und die Begründung der modernen der Physik', *Philosophia naturalis,* **37**, 409-438.

Falkenburg, B. (2000). *Kants Kosmologie*. Frankfurt am Main: Klostermann.

Falkenburg, B. (2004). 'Kant's architectonic principles for a metaphysics of nature'. In: C. Ferrini (ed.), *Eredità Kantiane (1804-2004): questioni emergenti e problemi irrisolti*, Napoli : Bibliopolis, 127-153.

Favrholdt, D. (1976). 'Niels Bohr and Danish Philosophy', *Danish yearbook of philosophy*, **13,** 206-220.

Faye, J. (1991). *Niels Bohr : his heritage and legacy, an anti-realist view of quantum mechanics,* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Faye, J. & Folse, H. (eds.) (1994). *Niels Bohr and Contemporany Philosophy*. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.

Ferrari, M. (2001). *Retours à Kant, introduction au néo-kantisme*, trad. Thierry Loisel, Paris : Les éditions du CERF. (Traduit de *Introduzione al neocriticismo,* Rome-Bari : Laterza, 1997).

Feyerabend, P. K. (1957). 'On the quantum-theory of measurement', in S. Körner, *Observation and Interpretation.* London: Butterworths Scientific Publications, 121-130. (réimprimé in *Philosophical papers: vol. 1- realism, rationalism and scientific method*. Cambridge/London/New York: Cambridge University Press, 1981, p.207-218).

Feyerabend, P. K. (1962). 'Problems of microphysics', in R. G. Colodny (ed.), *Frontiers of Science and Philosophy.* Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 229-230.

Feyerabend, P. K. (1969). 'On a recent critique of complementarity', Part II, *Philosophy of Science,* **36**, 82-105.

Feyerabend, P. K. (1979). *Contre la méthode : esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance.* Trad. B. Jurdan. Paris : Seuil. (Traduit de *Agaisnt method.* Londres : New Left Books, 1975).

Feyerabend, P. K. (1981). *Philosophical papers: vol. 1- realism, rationalism and scientific method*. Cambridge/London/New York: Cambridge University Press.

Fine, A. (1986). *The Shaky Game: Einstein realism and the quantum theory*. Chicago: Chicago University Press.

French, S.& H. Kamminga (eds.) (1993). *Correspondence, Invariance and Heuristics: essays in honour of Heiz Post.* Dordrecht: Kluwer.

Friedman, M & Putnam, H. (1978). 'Quantum logic, conditional probability and interference', *Dialectica*, **32**, 305-315.

Friedman, M. (1983a). *Foundations of Space-Time Theories.* Princeton : Princeton University Press.

Friedman, M. (1983b). 'Critical notice : Moritz Schlick Philosophical Papers', *Philosophy Science,* **50**, 498-514.

Friedman, M. (1991a). 'The Re-Appraisal of Logical Empiricism', *Journal of Philosophy,***88**, 505-19.

Friedman, M. (1991b). 'Regulative and Constitutive', *The Southern Journal of Philosophy,* **30 (suppl.)***: System and Teleology in Kant's Critique of Judgment,* 73-102.

Friedman, M. (1992). *Kant and the exact sciences.* Cambridge / London: Harvard University Press.

Friedman, M. (1994). ' Geometry, Convention, and the Relativized *a priori'*, in W. Salmon and G. Wolters, *Logic, language and the structure of scientific theories : proceedings of the Carnap-Reichenbach centennial.* Pittsburghh : University of Pittsburghh Press; Konstanz : Universitätsverlag Konstanz, 21-34.

Friedman, M. (2000). *A parting of the ways: Carnap, Cassirer and Heidegger.* Chicago: Open Court.

Friedman, M. (2001). *Dynamics of Reason: The 1999 Kant Lectures at Stanford University.* Stanford: C S L I Publications.

Folse, H. J.(1978). 'Kantian aspects of complementarity', *Kant-Studien,* **69**, 58-66.

Folse, H. J. (1985). *The Philosophy of Niels Bohr : The framework of complementarity*, Amsterdam: North-Holland.

Fullinwider, S. P. (1990). 'Hermann von Helmholtz : the problem of kantian influence', *Studies in history and philosophy of science,* **21** (1), 41-55.

Gavrogly, K. et al. (eds.), (1995). *Physics, philosophy and the scientific community*, Klüwer Pub., Dordrecht.

Gawronsky, D. (1949). 'Cassirer's Contribution to the Epistemology of Physics', in P. A. Schilpp (ed.), *The philosophy of Ernst Cassirer.* Evanstons: The Library of Living Philosophers, 215- 238.

Griffiths, R. B. (1984). 'Consistent histories and the interpretation of quantum mechanics', *J. Stat Phys.,* **36**, 219-272.

Griffiths, R. B. (1987). 'Correlations in separated quantum systems : a consistent history analysis of the EPR problem', *Am. J. Phys.,* **55**, 11-17.

Griffiths, R. B. (2002). *Consistent Quantum Theory*. Cambridge: Cambridge University Press.

Habermas, J. (1976). *Connaissance et Intérêt.* Trad. G. Clemençon et J-M. Brohm. Paris : Gallimard. [Traduit de *Erkenntnis und Interesse,* Frankfurt am Main : Suhrkamp Verlag, 1968 et 1973 (Postface)].

Habermas, J. (1986). *Morale et communication: conscience morale et activité communicationnelle.* Trad. C. Bouchindhomme. Paris : Cerf. (Traduit de *Moralbewusstsein und kommunikatives Handeln).*

Habermas, J. (1993). *La pensée postmétaphysique.* Trad. Rainer Rochlitz. Paris : Armand Colin. (Traduit de *Nachmetaphysisches Denken. Philosophische Aufsätze*, Frankfurt am Main : Suhrkamp Verlag, 1988).

Habermas, J. (1998). *On the pragmatics of communication*. Ed. by Maeve Cooke. Cambridge (Mass.): MIT Press.

Hanna, R. (1998). 'A Kantian Critique of Scientific Essentialism', *Philosophy and Phenomenological Research,* **LVIII**, n° 3, 497-528.

Hanna, R. (2001). *Kant and the foundations of analytic philosophy.* Oxford : Clarendon Press; New York: Oxford University Press.

Hanson, N.R. (1958). *Patterns of Discovery.* Cambridge: Cambridge University Press. (traduction française de N. Emboussi, *Modèles de la Découverte*. Chennevières-sur-Marne : Dianoïa, 2001).

Hanson, N.R. (1959). 'Copenhagen Inerpretation of Quantum Theory'. *American Journal of Physics,* **27** (1), 1-15.

Hanson, N.R. (1963). *The concept of Positron : a Philosophical Analysis.* Cambridge: Cambridge University Press.

Harper, W. (1981)'Kant's empirical realism and the second analogy of experience', *Synthese,* **47**, 465-480.

Harries, K. (1968). 'Two conflicting interpretations of language in Wittgenstein's Investigations', *Kant-studien,* **59,** 397-409.

Hartman, R. S. (1949). 'Cassirer's Philosophy of Symbolic Forms' in P. A. Schilpp (ed.), *The philosophy of Ernst Cassirer.* Evanstons: The Library of Living Philosophers, 289- 333.

Heelan, P. (1965). *Quantum Mechanics and Objectivity.* The Hague: Martinus Nijhoff.

Heidegger, M. (1953). *Kant et le problème de la métaphysique.* Trad. A. Waelhens et W. Biemel. Paris: Gallimard (Traduction de *Kant und das Problem der Metaphysik,* Bonn: Fr. Cohen, 1929).

Heidegger, M. (1971). *Qu'est-ce qu'une chose.* Trad. J. Reboul et J. Taminiaux. Paris: Gallimard (Traduction de *Die Frage nach dem Ding,* Tübingen: Max Niemeyer Verlag, 1962).

Heidegger, M. (1982). *Interprétation phénoménologique de la « Critique de la raison pure* » de Kant. Trad. E. Martineau. Paris: Gallimard (Traduction de *Phänomenologische Interpretation von Kants Kritik der reinen Vernunft,* Francfort-sur-Main, 1977).

Heidelberger, M. (1993). 'Force, Law and Experiment : the Evolution of Helmholtz's Philosophy of Science', in David Cahan (ed.), *Hermann von Helmholts and the foundations of ninetenth – Century science.* Berkeley/Los Angeles/ London : University of California Press, 461-497.

Heimann, P. M. (1974). 'Helmholtz and Kant : The metaphysical foundations of *Über die Erhaltung der Kraft', Studies in history and philosophy of science,* **5** (3), 205-238.

Heisenberg, W. (1932). *Les principes physiques de la Théorie des Quanta.* Trad. MM. B. Champion et E. Hochard. Paris : Gauthier-Villars et Cie (réimprimé par Jacques Gabay, 1990 ; traduit de *Physikalische Prinzipen der Quantentheorie,* Leipzig : S. Hirzel, 1930; traduction anglaise de C. Eckart et F. C. Hoyt, *The physical principles of the quantum theory,* Chicago, : The University of Chicago Press, 1930.)

Heisenberg, W. (1961). *Physique et Philosophie, la science moderne en révolution*. Traduction de J. Hadamard Paris : A. Michel. (Traduction originale américaine *Physics and Philosophy, the revolution in modern science.* New York: Harper and Brothers, 1958).

Heisenberg, W. (1972). *La partie et le tout.* Trad. Paul Kessler. Paris : Albin Michel. (Edition allemande : *Der Teil und das Ganze,* Munich : R. Piper et Co. Verlag, 1969 ; édition américaine : *Physics and Beyond*, New York: Harper and Row, 1971).

Heisenberg, W. (1974). 'The notion of a "Closed Theory" in Modern Science', in W. Heisenberg, *Across the frontiers.* Trad. de Peter Heath. New York: Harper & Row, 39-46. (Traduit de W. Heisenberg, *Schritte über Grenzen, Gesammelte Reden und Aufsätze.* Munich: R. Piper, 1971, 87-94; l'article a été publié originellement sous le titre 'Der

Begriff 'Abgeschlossene Theorie in der modernen Naturwissenschaft', *Dialectica*, **2**, 1948, 331-336; *BCW*, CI: 335-340).

Heisenberg (1976). 'The nature of elementary particles', *Physics Today,* 29, n° 3, 32-39. (réimprimé in *HCW, B, 917-927.*)

Heisenberg, W. (1983). 'The physical content of quantum kinematics and mechanics' in Wheeler & Zurek (ed.). *Quantum Theory and Measurement*. Princeton: Princeton Univ. Press, 62-84. (Traduit de 'Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik and Mechanik', *Zeitschrift für Physik,* **43,** 1927, 172-198).

Heisenberg, W. (1984). *Gesammelte Werke / Collected Works: Series B – Scientific Review Papers, Talks and Books.* Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Heisenberg, W. (1985/1989/1993). *Gesammelte Werke / Collected Works: Series A (I – III)– Original Scientific Papers.* Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Heisenberg, W. (1984/1985/1986/1989). *Gesammelte Werke / Collected Works: Series C (I –V) – Philosophical and Popular Writings.* München/Zürick: Piper

Heisenberg, W. (1998). *Philosophie. Le Manuscrit de 1942.* Trad. C. Chevalley. Paris : Le Seuil.

Helmholtz, H. (1869). *Mémoire sur la conservation de la force.* Traduction par Louis Pérard. Paris : Victor Masson et Fils. (traduit de *Über die Erhaltung der Kraft,* Berlin : G. Reiner, 1847).

Helmholtz, H. (1867/1989a). *Optique physiologique,* Tome I. Trad. par E. Javal et N. Th. Klein. Paris : Victor Masson et Fils, rééd. Sceaux: Ed. J. Gabay,. (*Handbuch der physiologischen Optik,* Zweiter Band, 1860).

Helmholtz, H. (1867/1989b). *Optique physiologique,* Tome II. Trad. par E. Javal et N. Th. Klein, Paris : Victor Masson et Fils, rééd. Sceaux: Ed. J. Gabay. (traduit de *Handbuch der physiologischen Optik,* Dritter Band, 1867).

Helmholtz, H. (1977). 'The facts in the Perception, with notes and comments by M. Schlick', in R. S. Cohen and Y. Elkana (eds.) *Helmholtz Epistemological Writings.* Trad. M. F. Lowe. Dordrecht / Boston: Reidel, 115-185. (Traduit de 'Die Tatsachen in der Wahrnehmung' in *Schriften zur Erkenntnistheorie,* Berlin, 1921).

Hempel, C. G. (1942). 'The function of general laws in history', *J. Phil.,* **XXXIX**, 35-48.

Hempel, C. G. (1958). 'The Theoretician's Dilemma: A Study in the Logic of Theory Construction', in H. Feigl, M. Scriven and G. Maxwell (eds.), *Minnesota Studies in Philosophy of Science,* vol. II. Minneapolis : University of Minnesota Press. (réimprimé in Hempel, C. *Aspects of Scientific Explanation and other essays in philosophy of science*. New York : The Free Press, 1965, 173-226.)

Hempel, C. G. (1963). 'Implications of Carnap's Work for the Philosophy of Science', in P. A. Schilpp (ed.), *The philosophy of Rudolf Carnap.* La Salle: Open Court, 685-709.

Hempel, C. G. (1965). *Aspects of scientific explanation.* New York: The Free Press.

Henry, G. (1973). 'The significance of behaviour study for the critique of reason', *Ratio*, **15**, 206-220.

Henry, G. (1976). 'Leonard Nelson (1882-1927)'. *Archives de Philosophie,* **39** (3), 353-365.

Henry-Hermann, G. (1948). 'Die Kausalität in der Physik', *Studium Generale,* **I** (6), 375-383.

Henry-Hermann, G. (1991). 'Conquering Chance : Critical Reflections on Leonard Nelson's Establisment of Ethics as a Science'. Trad : ¨Peter Winch. *Philosophical Investigations,* **14**

(1), 1-80. (Traduction de 'Die Uberwindung des Zufalls : Kritische Betrachtung zu Leonard Nelsons Begründung der Ethik als Wissenschaft', in : Minna Specht et Willi Eichler (eds.), *Leonard Nelson zum Gedächtnis,* Frankfort/Göttingen : Öffentliches Leben, 1953, 228-234.)

Hermann, G. (1996). *Les fondements philosophiques de la mécanique quantique.* Trad. A. Shnell, introduction et postface par Lena Soler. Paris : Vrin. (Traduit de 'Die naturphilosophischen Grundlagen der Quantentheorie', *Abhandlungen der Fries'schen Schule, Neue Folge,* cahier 2, 1935, 69-152.)

Hermann, G. (1999). 'The foundations of quantum mechanics in the philosophy of nature', Harvard Review of Philosphy, **7**, 35-44.

Hilgevoord, J. & Uffink, J. (1985). 'Uncertainty principle and uncertainty relations'. *Foundations of Physics,* **15,** 925-944.

Hintikka, J. & Kulas, J. (1983). *The game of language.* Dordrecht: D. Reidel.

Hintikka, J. (1996). *Kant et la philosophie des mathématiques.* Paris: Presses Universitaires de France.

Honner, J. (1982). ' The transcendental philosophy of Niels Bohr', *Studies in the History and Philosophy of Sciences,* **13**, 1-30.

Honner, J. (1987). *The description of nature: Niels Bohr and the philosophy of quantum physics.* Oxford: Clarendon Press.

Honner, J. (1994). 'Description and deconstruction, N. Bohr and modern philosophy', in J. Faye and H. Folse (eds.), *Niels Bohr and contemporary philosophy.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Hooker, C. A. (1972). 'The nature of quantum mechanical reality', in R. G. Colodny (ed.), *Paradigms and Paradoxes.* Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 135-172.

Howard, D. (1994). 'Einstein, Kant, and the Origins of Logical Empirism', in W. Salmon et G. Wolters (eds.), *Logic, Language and the Structure of Scientific Theories,* University of Pittsburgh Press/Universitätsverlag Kontanz, 45-105.

Howard, D. (2004). 'Who invented the Copenhagen Interpretation? A study in mythology". *Philosophy of science*, **71.**

Hughes, R. I. G. (1989). *The Structure and Interpretation of Quantum Mechanics.* Cambridge: Harvard University Press.

Husserl, E. (1963) *Recherches logiques 3: Eléments d'une élucidation phénoménologique de la connaissance; Recherche VI.* Traduction H. Elie, A. Kelkel et R. Schérer. Paris: PUF. (A partir de deuxième édition partiellement révisée de *Logische Untersuchungen,* Halle/Salle : Max Niemeyer, 1921 ; première édition de 1901).

Jammer, M. (1974). *The philosophy of quantum mechanics.* New York: J. Wiley.

Jammer, M. (1989). *The conceptual development of quantum physics.* Los Angeles : Thomas publishers.

Kalckar, J. (1985). 'General introduction to volumes 6 and 7', in Jorgen Kalckar (ed.), *Niels Bohr Collected Works*, Amsterdam: Elsevier, Vol. 6.

Kamlah, A. (1985). 'The Neo-Kantian Origin of Hans Reichenbach's Principle of Induction' in N. Rescher (ed.), *The Heritage of Logical Positivism.* New York/London: University Press of America.

Kant, E. (1970). *Logique.* Trad. L. Guillermit. Paris : Vrin. (Traduit de 'Logik (1800)', in *Kants Werke* : *Akademie-Textausgabe*, IX, Berlin : Walter de Gruyter & Co, 1968, p. 11-150).

Kant, E. (1980a). 'Nouvelle Explication des Premiers Principes de la Connaissance Métaphysique'. Trad. Jean Ferrari, in *Œuvres philosophiques*. Paris : Gallimard, Bibliothèque de la Pléiade, tome I, 109-263. (*Principiorum primorum cognitionis metaphysicae nova dilucidatio*, AK I, Berlin, 1902, 385-416.)

Kant, E. (1980b). 'Recherche sur l'évidence des principes de la théologie naturelle et de la morale'. Trad. Jean Ferrari, in *Œuvres philosophiques*. Paris : Gallimard, Bibliothèque de la Pléiade, tome I, 203-249. (*Untersuchung über die Deulichkeit der Grundsätze der natürlichen Theologie und der Moral*, AK II, Berlin, 1905, 273-301.)

Kant, E. (1980c). 'L'unique fondement possible d'une démonstration de l'existence de Dieu'. Trad. S. Zac, in *Œuvres philosophiques*. Paris : Gallimard, Bibliothèque de la Pléiade, tome I, 303-435. (*Der einzig mögliche Beweisgrund zu einer Demonstration des Daseins Gottes.* AK II, Berlin, 1905, 63-164.)

Kant, E. (1980d). 'Critique de la raison pure'. Trad. A. Delamarre et F. Marty à partir de la traduction de Jules Barni, in *Œuvres philosophiques*. Paris : Gallimard, Bibliothèque de la Pléiade, tome I, 705-1757. (*Kritik der reinen Vernunft,* 1er ed. (A), 1781, AK IV, Berlin, 1903, p. 1-252; 2ème ed. (B), AK III, Berlin, 1904, p. 1-552.)

Kant, E. (1985a). 'Prolégomènes à toute métaphysique future qui pourra se présenter comme science'. Trad. Jacques Rivelaygue, in *Kant : Œuvres philosophiques*. Paris : Gallimard, Bibliothèque de la Pléiade, tome II, 15-172. (Traduit de 'Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik, die als Wissenschaft wird auftreten können (1783)', in *Kants Werke* : *Akademie-Textausgabe*, IV, Berlin : Walter de Gruyter & Co, 1968, p. 253-384).

Kant, E. (1985b). 'Premiers principes métaphysique de la science de la nature'. Trad. F. de Gandt, in *Kant : Œuvres philosophiques*. Paris : Gallimard, Bibliothèque de la Pléiade, tome II, 347-493. Traduit de 'Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft (1786)', in *Kants Werke* : *Akademie-Textausgabe*, IV, Berlin : Walter de Gruyter & Co, 1968, p. 465-565).

Kant, E. (1985c). *Première introduction à la critique de la faculté de juger.* Trad. A. J-L. Delamarre in *Kant : Œuvres philosophiques*. Paris : Gallimard, Bibliothèque de la Pléiade, tome II, 845-912. (*Erste Einleitung in die Kritik der Urteilskraft,* AK XX, Berlin, 1942, p. 193-251).

Kant, E. (1985d). *Critique de la faculté de juger.* Trad. J-R. Ladmiral, M. B. de Launay et J-M. Vaysse. in *Kant : Œuvres philosophiques*. Paris : Gallimard, Bibliothèque de la Pléiade, tome II, 913-1299. (*Kritik der Urteilskraft;* 2ème ed., 1793, AK V, Berlin, 1908, p. 165-485).

Kant, E. (1995). *Critique de la faculté de juger.* Trad. Alain Renaut. Paris : Aubier. (*Erste Einleitung in die Kritik der Urteilskraft,* AK XX, Berlin, 1942, p. 193-251 et *Kritik der Urteilskraft;* 2ème ed., 1793, AK V, Berlin, 1908, p. 165-485).

Kant, E. (1997). *Critique de la raison pure.* Trad. Alain Renaut. Paris : Aubier. (*Kritik der reinen Vernunft,* 1er ed. (A), 1781, AK IV, Berlin, 1903, p. 1-252; 2ème ed. (B), AK III, Berlin, 1904, p. 1-552.)

Kant, E. (1999). *Réponse à Eberhard*. Trad. J. Benoist. Paris : Vrin. (Traduit de 'Über eine Entdeckung, nach der alle neue Kritik der reinen Vernunft durch eine ältere entbehrlich gemach werden soll (1790)', in *Kants Werke* : *Akademie-Textausgabe*, VIII, Berlin : Walter de Gruyter & Co, 1968, p. 185-252 ;).

Kaufmann, F. (1949). 'Cassirer's Theory of Scientific Knowledge' in P. A. Schilpp (ed.), *The philosophy of Ernst Cassirer.* Evanstons: The Library of Living Philosophers, p.183-213.

Kerszberg, P. (1999). *Kant et la nature.* Paris : Les Belles Lettres.

Kitcher, P. (1983). 'Kant's philosophy of science'. *Midwest Studies in Philosophy,* **VIII**, *Contemporary Perspectives on the History of Philosophy*, P. French, T. Uehling, and H. Wettstein (eds.), Minneapolis: University of Minnesota Press, 387-408.

Kline, M. (1990). 'The paradoxes of the infinite'.*Mathematics in Western culture*. London: Peguin books, 443-458. (Première édition en 1953).

Kochen, S. (1985). 'A new interpretation of quantum mechanics', in P. Lahti et P. Mittelstaedt (eds.), *Symposium on the Foundations of Modern Physics 1985.* Singapore: World Scientific, 151-169.

Krajewski, W. (1977). *Correspondence Principle and Growth of Science.* Dordrecht : Reidel.

Kripke, S. (1980). *Naming and necessity*. Cambridge: Harvard University Press.

Kripke, S. (1993). 'Identity and Necessity', in A. W. Moore (ed.), *Meaning and Reference*, Oxford: Oxford University Press, 162-191.

Kroon, F. & Nola, R. (1987). 'Kant, Kripke and Gold', *Kant-Studien,* **78**.

Krörner (1955). *Kant.* Bristol: Peguin Books.

Kuhn, T. (1962). *The structure of Scientific Revolutions.* Chicago: University of Chicago Press.

Kuhn, T. (1963) 'The function of dogma in scientific research'. In A. C. Crombie (ed.), *Scientific Change.* London: Heinemann, 347-369.

Laplace, P-S. (1921). *Essai Philosophique sur les Probabilités,* vol. I. Paris : Gauthier-Villars. (Publié originellement en 1814).

Laugier, S. (2002). 'Wittgenstein et la science : au-delà des mythologies', in Pierre Wagner (ed.), *Les philosophes et la science*. Paris : Gallimard, 498-577.

Leibniz, G. W. (1991). *La Monadologie* (Edition critique établie par Emile Boutroux). Paris: Librairie Générale Française.

Levy-Leblond, J-M. (1988). 'Quantum physics and Language', *Physica* B 151, 314-318.

Lewis, C. I. (1923). 'A pragmatic conception of the *a priori*', *The Journal of Philosophy*, **XX**, n° 7, 169-77. (Réimprimé in H. Feigl and W. Sellars (eds.), *Readings in Philosophical Analysis.* New York: Appleton-Century-Crofts, 1949, 286-294 et aussi in J. Goheen and J. Mothershead, Jr. (eds.), *Collected Papers of Clarence Irving Lewis.* Stanford: Stanford University Press, 1970, 231-239).

Lewis, C. I. (1926). 'The pragmatic element in knowledge', *University of California Publications in Philosophy,* **6**, no. 3. Berkeley: University of California Press, 205-227. (Réimprimé in J. Goheen and J. Mothershead, Jr. (eds.), *Collected Papers of Clarence Irving Lewis.* Stanford: Stanford University Press, 1970, 240-257.).

Lewis, C. I. (1929). *Mind and The World Order: an Outline of a Theory of Knowledge*. New York: Charles Scribner's Sons.

Locke, J. (1959). *An essay concerning human understanding.* New York: Dover Publications, v. I.

Longuesse, B. (2001). *Kant and the Capacity to Judge: Sensibility and Discursivity in the Transcendental Analytic of Critique of Pure Reason.* Princeton: University Press.

Mainzer, K. (1996). *Symmetries of Nature: a handbook for philosophy of nature and science*. Trad. B. H. Mohr and T. J. Clark. Berlin / New York: Walter de Gruyter. (Traduit de *Symmetrien der Natur,* Berlin: Walter de Gruyter, 1988).

Margenau, H. (1977). *The nature of physical reality ; a philosophy of modern physics.* Woodbridge: Ox Bow Press. (publication originelle: 1950).

Marty, F. (1980). *La naissance de la métaphysique chez Kant : un étude sur la notion kantienne d'analogie.* Paris : Beauchesne.

Maxwell, J. C. (1876). *Matter and Motion.* London: Society for Promoting Christian Knowledge.

Maxwell, G. (1962). 'The ontological status of theoretical entities', *Minnesota Studies in the Philosophy of Science, vol. III)*, Minneapolis: University of Minnesota Press.

Maxwell, G. (1970). 'Structural realism and the meaning of theoretical terms', in M. Radner and S. Winokur (eds.), *Analyses of theories and methods of physics and psychology (Minnesota Studies in the Philosophy of Science, vol. IV)*, Minneapolis: University of Minnesota Press, 181-192.

Mensky, M. B.(2000). Quantum measurements and decoherence : models and phenomenology. Dordrecht : Kluwer.

Messiah, A. (1995). *Mécanique quantique*, tome 1. Paris : Dunod. (Albert MESSIAH, *Quantum Mechanics,* trad G. Temmer, Amsterdam, North-Holland, 1963.)

Meyer-Abich, K. M. (1965). *Korrespondenz, Individualität und Komplementarität.* Wiesbaden : Franz Steiner Verlag.

Meyer, M. (1981) 'Why did Kant write two versions of the transcendental deduction of the categories'. *Synthese*, **47**(3),357-383.

Meyer, M. (1988). *Science et métaphysique chez Kant*. Paris : PUF.

Mittelstaedt, P. (1976). *Philosophical Problems of Modern Physics.* Trad. W. Reimer. Dordrecht: Reidel. (Traduit de *Philosophische Problem der modernen Physik,* Mannheim, 1963.)

Mittelstaedt, P. (1991). 'The objectification in the measuring process and the many worlds interpretation', in P. Lahti et P. Mittelstaedt (eds.), *Symposium on the Foundations of Modern Physics 1990.* Singapore: World Scientific, 261-279.

Mittelstaedt, P. (1993). 'Quantum Measurements I. The Measuring Process and the Interpretation of Quantum Mechanics'. *International Journal of theoretical physics,* **32** (10), 1763-1775.

Mittelstaedt, P. (1994). 'The constitution of objects in Kant's philosophy and in modern physics', in P. Parrini (ed.), *Kant and contemporary epistemology,* Dordrecht: Kluwer, 115-129.

Mittelstaedt, P. (1995). 'Constitution of Objects in Classical Mechanics and in Quantum Mechanics'. *International Journal of theoretical physics,* **34** (8), 1615-1626.

Mittelstaedt, P. (1998a). *The interpretation of quantum mechanics and the measurement process.* Cambridge: Camdridge University Press.

Mittelstaedt, P. (1998b). 'Unifying Quantum Mechanics and its Interpretation'. *Philosophia naturalis,* **35** (I), 127-151.

Mittelstaedt, P. (2000). 'Individualistic and Statistical Interpretation of Quantum Mechanics', in E. Agazzi & M. Pauri (eds.), *The reality of the inobservable.* Dordrecht: Kluwer, 317-327.

Mittelstaedt, P. (2003). 'Quantum Physics and Classical Physics – in the Light of Quantum Logic', in aeXiv: quant-ph/0211021, v2.

Moffat, J. W. (2002). 'Comment on the variation of fundamental constants'. E-print : arXiv : hep-th/0208109.

Münster, A. (2004). *L'ecole de Marbourg : le néo-kantisme de H. Cohen vers le socialisme éthique.* Paris : Kimé.

Murdoch, D. (1987). *Niels Bohr's philosophy of physics.* Cambridge: Cambridge University Press.

Murdoch, D. (1987). 'The Kantians elements in Bohr's philosophy' in *Niels Bohr's philosophy of physics.* Cambridge University Press.

Natorp, P. (1910). *Die logischen Grundlagen der exakten Wissenshaften*. Leipzig-Berlin: B. G. Teubner.

Nelson, L. (1982). *Certitudes de la raison.* Trad. M. et P. Garniron. Avant-Propos de G. Henry-Hermann. Paris: Beauchesne.

Neurath, O. (1931). 'Physikalismus', *Scientia*, **50**,. p.297-..(trad. anglaise "Physicalism" in J. J. Lindberg (ed.), *Analytic Philosophy: Beginnings to the Present.* Mountain View: Mayfield, 2001.

Neurath, O. (1931/ 32). 'Soziologie im Physikalismus', *Erkenntnis*, **II**, 393-491. (traduction anglaise par G. Schick, 'Sociology and Physicalism', in A. J. Ayer (ed.), *Logical positivism*. New York: The Free Press, 1959, 282-317).

Neurath, O. (1932/ 33). 'Protokollsätze', *Erkenntnis,* **III**, 204-214. (traduction anglaise par M. Magnus and R. Raico, 'Protocol Sentences', in A. J. Ayer (ed.), *Logical positivism.* New York: The Free Press, 1959, 199-208).

Newton, I. (1990). *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*. Tome II. Trad. Mme du Chatellet (1759). Paris : Editions Jacques Gabay.

Noether, E. (1918). 'Invariante Variationsprobleme', *Nachr. d. König. Gesellsch. d. Wiss. zu Göttingen*, 235-257. (Traduction anglaise de M.A. Tavel, in *Transport Theory and Statistical Mechanics* 1(3), 1971, 183-207; Pour la traduction française : Y. Kosmann-Schwarzbach, *Les Théorèmes de Noether, Invariance et lois de conservation au XXe siècle*, avec une traduction de l'article original *Invariante Variationsprobleme*, Éditions de l'École Polytechnique, 2004).

Omnès, R. (1994). *The interpretation of quantum mechanics.* Princenton: Princenton University Press.

Parrini, P. (ed.*),* (199 4). *Kant and Contemporary Epistemology*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Peirce, C. (1978). *Écrits sur le signe*. Trad. Gérard Deledalle. Paris: Le Seuil.

Peres, A. (2002). 'Variability of fundamental constants'. E-print : arXiv : quant-ph/0209114.

Petersen, A. (1963). 'The Philosophy of Niels Bohr', *Bulletin of Atomic Scientists*, **19**, 8-14.

Petersen, A. (1968). *Quantum Physics and the Philosophical Tradition*, Cambridge : MIT Press.

Petitot-Cocorda, J. (1985). *Morphogenèse du sens.* Paris : PUF.

Petitot, J. (1991). *La philosophie transcendantale et le problème de l'objectivité.* Paris : Osiris.

Petitot, J. . (1992a). *Physique du sens.* Paris : Editions du CNRS.

Petitot, J. (1992b). 'Actuality of Transcendental Aesthetics for Modern Physics', in L. Boi, D. Flament, J.-M. Salanskis (eds.) *1830-1930 : A Century of Geometry.* Berlin /Heidelberg/ New-York: Springer-Verlag, 273-304.

Petitot, J. (1994). 'Esthétique transcendantale et physique mathématique', in E. W. Orth et H. Holzhey (eds.), *Der Neukantianismus. Perspektiven und Probleme.* Würzburg: Königshausen & Neumann, 185-213.

Petitot, J. (1997). 'Objectivité faible et philosophie transcendantale', in M. Bitbol et S. Laugier (eds.), *Physique et réalité : un débat avec Bernard d'Espagnat.* Paris : Ed. Frontières. (Version amplifiée de l'article 'Philosophie transcendantale et objectivité physique', *Philosophiques*, **XXIV,** n. 2, 1997, p. 367-388).

Philonenko, A. (1969). *L'œuvre de Kant: la philosophie critique.* Tome I. Paris: J. Vrin.

Philonenko, A. (1982). 'Lecture du schématisme transcendantal'. In : *Etudes kantiennes.* Paris: J. Vrin, p.11-32.

Philonenko, A. (1986). *L'ecole de Marbourg : Cohen-Cassirer-Nartop.* Paris : Vrin.

Plaass, P. (1994). *Kant's theory of natural science*. Trad. Alfred E. and Maria G. Miller. Dordrecht: Kluwer. (L'édition original allemande *Kants Theorie der Naturwissenschaft* a été publiée en 1965.)

Planck, M. (1936). 'Causality in Nature', *The philosophy of physics.* Trad. W. H. Johnston. London: George Allen & Unwin Ltd, 39-77. (raduction française 'La causalité dans la nature' in Planck (1941: 231-258)

Planck, M. (1941). *Initiations à la physique*. Trad. J. P. Grenédan. Paris: Flammarion.

Planck, M. (1959). *The Theory of Heat Radiation.* Trad. M. Masius. New York : Dover Pupl. (L'édition original allemande, *Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung,* a été publiée en 1906.)

Poincaré, H. (1968). *La science et l'hypothèse* (1902). Paris, Flammarion.

Popper, K. (1967). 'Quantum mechanics without "the observer"', in M. Bunge (ed.). *Quantum Theory and Reality.* Berlin: Springer.

Popper, K. (1973). *La logique de la découverte scientifique.* Trad. N. Thyssen-Rutten et P. Devaux. Paris : Editions Payot, 1973. (Traduit de *The logic of scientific discovery.* London : Hutchinson, 1968 [première édition anglaise de 1959])

Popper, K. (1992). *Un univers de propensions: deux études sur la causalité et l'évolution*. Trad. A. Boyer. Combas: Editions de l'éclat. (Traduit de *A word of propensities,* Bristol: Thoemmes Press, 1990).

Popper, K. (1996). *La théorie quantique et le schisme en physique.* Trad. E. Dissakè. Paris: Hermann. (Traduit de *Quantum theory and the schism in physics.* London / NewYork: Routledge, 1982).

Post, H. R. (1971). 'Correspondence, Invariance and Heuristics', *Studies in History and Philosophy of Science,* **2**, 213-55.(réimprimé in S. French & H. Kamminga (eds.), *Correspondence, Invariance and Heuristics: essays in honour of Heiz Post.* Dordrecht: Kluwer, 1993, p. 1-43)

Posy, C. (1992). 'Kant's mathematical realism', in Carl J. Posy (ed), *Kant's Philosophy of Mathematics*, Dordrecht : Kluwer Academic Publischers, 293-313.

Proust, J. (1986). *Questions de forme: logique et proposition analytique de Kant à Carnap.* Paris: Artheme Fayard.

Putnam, H. (1962). 'What theories are not', in E. Nagel, P. Suppes and A. Tarski (eds.), *Methodology and Philosophy of Science.* Stanford: Stanford University Press, 240-251. (réimprimé in *Mathematics, matter and method, Philosophical Papers, vol. I,* Cambridge : Cambridge University Press, 1975, 215-227).

Putnam, H. (1965). 'A philosopher looks at quantum mechanics', in R. Colodny (ed.), *Beyond the Edge of Certainty : Essays in Contemporary Science and Philosophy.* Englewood Cliffs: Prentice-Hall. (réimprimé in H. Putnam, *Mathematics, matter and method, Philosophical Papers, vol. I.* Cambridge : Cambridge University Press, 1975, 130-158).

Putnam, H. (1968). 'Is logic empirical?' in R. Cohen and M. P. Wartofski (eds.), *Boston Studies in the Philosophy of Science* **5**. Dordrecht: D. Reidel. (réimprimé comme 'The logic of quantum mechanics', in H. Putnam, *Mathematics, Matter and Method*, *Philosophical papers*, vol. 1. Cambridge: Cambridge University Press, 1975).

Putnam, H. (1971). 'Is semantics possible?', *Metaphilosophy,* **I**, 187-201. (réimprimé in H. Kiefer & M. Munitz (eds.), *Languages, Belief and Metaphysics.* New York: State University of New York Press, 1970; aussi in *Mind, Language and Reality*, *Philosophical Papers*, vol. 2, Cambridge: Cambridge University Press, 1975, 139-152.).

Putnam, H. (1973a). 'Explanation and Reference', in G. Pearce & P. Maynard (eds.), *Conceptual Change.* Dordrecht: Reidel. (réimprimé in *Mind, Language and Reality*, *Philosophical Papers*, vol. 2, Cambridge: Cambridge University Press, 1975. 196-214.).

Putnam, H. (1973b). 'Meaning and Reference', *Journal of Philosophy,* **70**, 699-711. (réimprimé in S. Schwartz (ed.), *Naming, Necessity and Natural Kinds*. Ithaca: Cornell University Press, 1977, 119-132.)

Putnam, H. (1975). 'The Meaning of "Meaning"', in K. Gunderson (ed.), *Language, Mind and Knowledge*. *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol. VII. Minneapolis: University of Minnesota Press. (rémprimé in *Mind,Language and Reality*, *Philosophical Papers*, vol. 2. Cambridge: Cambridge University Press, 1975, 215-271.)

Putnam, H. (1981). 'Quantum mechanics and observer', *Erkenntnis*, **16**, 93-219. (réimprimé in H. Putnam, *Realism and reason, Philosophical papers*, vol. 3. Cambridge: Cambridge University Press, 1983, 248-270).

Putnam, H. (1983). 'Why there isn't a ready-made world', *Realism and reason, Philosophical papers*, vol. 3. Cambridge: Cambridge University Press, 205-228.

Putnam, H. (1984). *Raison,Vérité et Histoire.* Traduction française de A. Gerschenfeld. Paris: Les Editions de Minuit. (Traduit de *Reason, Truth and History,* Cambridge: Cambridge University Press. 1981)

Putnam, H. (1990). 'Is Water Necessarily H_2O ?', in *Realism with Human Face.* Cambridge : Harvard University Press, 54-79. (Traduction française de Claudine Tiercelin. Paris: Les Editions du Seuil, 1994, p. 179-215.)

Quine, W. V. (1951). 'Two Dogmas of Empiricism', Philosophical Review, **60**, 20-43. (Réimprimé in Quine, *From a logical point of view*. Cambridge: Harvard University Press, 1953 ; trad. française de P. Jacob in P. Jacob (ed.), De Viena à Cambridge, Paris: Gallimard, 1980).

Quine, W.V.O (1960) *Word and Object*, Cambridge, Mass.: MIT Press (traduction française de P. Gochet et J. Dopp, *Le mot et la chose*, Paris : Flammarion., 1999)

Radder, H. (1991). 'Heuristics and the Generalized Correspondence Principle'. *The British Journal for the Philosophy of Science*, **42**, 195-226.

Reichenbach, H. (1933). 'Kant und die Naturwissenschaft', *Die Naturwissenschaften,* **XXI**, n. 33, 601-606.

Reichenbach, H. (1936). 'Logistic Empiricism in Germany and the Present State of Its Problems', *The Journal of Philosophy*, **XXXIII** (6), 141-160.

Reichenbach, H. (1944). *Philosophic Foundations of Quantum Mechanics.* Berkeley/Los Angeles: University of California Press, 2ème édition,1946.

Reichenbach, H. (1959). 'The present state of the discussion on relativity', *Modern Philosophy of Science.* Trad. Maria Reichenbach. London : Routledge & Kegan Paul / New York : Humanities Press, 1-45.

Reichenbach, H. (1965). *The Theory of Relativity and A Priori Knowledge.* Trad. Maria Reichenbach. Berkeley/Los Angeles : University of California Press. (Traduit de *Relativitätstheorie und Erkenntnis Apriori*, Berlin : Springer, 1920).

Reichenbach, H. (1978). *Selected Writings, 1909-1953.* Ed. M. Reichenbach et R. Cohen. Dordrecht: Reidel, v. 1 et 2.

Renaut, A.(1997). *Kant aujourd'hui*. Paris: Aubier.

Richardson, A. W. (1998). 'The fundamentals of neo-Kantian epistemology', *in Carnap's construction of the world.* Cambridge: Cambridge University Press, 116-138.

Ripke-Kühn, L. (1920). 'Kant kontra Einstein', *Beiträge zur Philosophie des deutschen Idealismus,* Beiheft n° 7, Erfurt.

Roldàn, J. (1991). *Langage, mécanique quantique et réalité. Un essai sur la pensée de Niels Bohr,* Thèse de doctorat, Université de Paris I, Panthéon-Sorbonne.

Rorty, R. (ed.) (1992). *The linguistic turn : essays in philosophical method, with two retrospective essays*. Chicago / London : The University of Chicago Press.

Rosenfeld, L. (1963). 'Niels Bohr's contribution to epistemology', *Physics Today*, **16**, n°10, 47-54.

Rovelli C. (1996). 'Relational quantum mechanics', *International Journal of Theoretical Physics,* **35,** 1637-1678.

Rozeboom, W. W. (1960). 'The fallacy of the null-hypothesis significance test' (1960), *Psychological Bulletin*, **57**, 416-428.

Rozeboom, W. W. (1966). Foundations of the theory of prediction: Homewood, Ill : Dorsey Press.

Russell, B. (1918). 'The relation of sense-data to physics [1914]', *Mysticism and Logic and other essays.* London: Longmans, Green and Co., 145-179. (publié originellement en anglais et en français in *Scientia,* **16,** 1914 et réimprimé in *The collected papers of Bertrand Russell, vol. 8: The philosophy of logical atomism and other essays – 1914-19*. London : George Allen &Unwin, 5-26.).

Russell, R. J. (ed.) (1999). *Quantum cosmology and the laws of nature: scientific perspectives on divine action* Vatican: Vatican observatory publ. / Berkeley (Calif.) : the Center for theology and the natural sciences.

Sauer, W. (1989). 'On the Kantian Background of neopositivism', *Topoi*, **8**, n° 2, 111-119.

Schalow, F. (1996). 'Thinking at Cross Purposes with Kant : Reason, Finitude and Truth in the Cassirer-Heidegger Debate'. *Kant-Studien,* **87**(2), 198-217.

Schaper, E & Vossenkuhl, W. (ed.) (1989). *Reading Kant : new perspectives on transcendental arguments and critical philosophy*, Oxford, Basil Blackwell.

Scheibe, E. (1973). *The logical analysis of quantum mechanics*. trad. J.B. Sykes. Oxford: Pergamon Press.

Scheibe, E. (1976). 'Conditions of Progress and the Comparability of Theories', in R. S. Cohen et al. (eds.), *Essays in Memory of Imre Lakatos.* Dordrecht: Reidel, 547-567.

Scheibe, E. (1988). 'Kant's apriorism and some modern positions', in E. Scheibe (ed.), *The role of experience in science*. Berlin, 1-22. (republié in B. Falkenburg (ed.), *Between Rationalism and Empiricism: selected papers in the philosophy of physics,* 36-53).

Scheibe, E. (2001b). 'C. F. von Weizsäcker and the unity of physics'. Trad. H. J. Wilhelm. In: B. Falkenburg (ed.), *Between Rationalism and Empiricism: selected papers in the philosophy of physics,* 54-68 (Traduit de 'C. F. von Weizsäcker und die Einheit der Physik'. *Philos. Natur*. **30**, 1993, 126-45)

Schlick, M. (1974). *General Theory of Knowledge.* Trad. A. E. Blumberg. Wien: Spring-Verlag. (Cf.Pour la critique à Kant et au neokantisme)

Schlick, M. (1979a). "Philosophical reflections on the causal principe", *Philosophical Papers,* vol. 1. Trad. Peter Heath. Dordrecht: Reidel, 295-321. (traduit de 'Naturphilosophische Betrachtungen über das Kausalprinzip', *Die Naturwissenschaften,* **8** , 1920, 461-474.).

Schlick, M. (1979b). 'Critical or Empiricist Interpretation of Modern Physics?', *Philosophical Papers,* vol. 1. Trad. Peter Heath. Dordrecht: Reidel, 322-334. (traduit de 'Kritizistische oder empiristische Deutung der neuen Physik?', *Kant-Studien,* **26,** 1921, 96-111.).

Schlick, M. (1979c). 'Epistemology and Modern Physic', *Philosophical Papers,* vol. 2. Dordrecht: Reidel, 91-98. (traduit de 'Erkenntnistheorie und moderne Physik', *Scientia,* **45,** 1929, 307-316.).

Schlick, M. (1979d). 'Causality in Contemporary Physics" *Philosophical Papers,* vol. 2. Dordrecht: Reidel, 176-209. (traduit de 'Die Kausalität in der gegenwärtigen Physik', *Die Naturwissenschaften,* **19,** 1931, 145-162).

Schlick, M. (1979f). 'Quantum theory and the knowability of nature', *Philosophical Papers,* vol. 2. Dordrecht: Reidel, 482-490. (traduit de 'Quantentheorie und Erkennbarkeit der Natur', *Erkenntnis,* **6,** 1937, 317-326).

Schlick, M. (1979e), 'Causality in Everyday Life and in Recent Science', *Philosophical Papers,* vol. 2. Dordrecht: Reidel, 238-258. (*Lecture*, Berkeley: 1932).

Schneider, I. (1921). *Das Raum-Zeitproblem bei Kant und Einstein.* Berlin : Springer.

Schopenhhauer, A. (1966). *Le monde comme volonté et comme représentation.* Trad. A. Burdeau. Paris: P.U.F.

Schopenhhauer, A. (1983). *De la quadruple racine du principe de raison suffisante.* Trad. J. Gibelin. Paris: J. Vrain.

Schrag, C. (1967). 'Heidegger and Cassirer on Kant'. *Kant-studien,* **58,** 87-100.

Seidengart, J. (1985). 'Une interprétation néo-kantienne de la théorie des quanta est-elle possible ?', *Revue de synthèse,* IIIe S., N° 120, 395-418.

Seidengart, J. (éd.) (1990). *De Marbourg à New York.* Paris : Ed. du Cerf.

Sellars, W. (1962). *Science, Perception and Reality*. Londres: Routledge.

Sellars, W. (1997). *Empiricism and the philosophy of mind;* with an introduction by Richard Rorty and a study guide by Robert Brandom. Cambridge/London: Harvard University

Press. (publié originellement in H. Feigl and M. Scriven, *Minnesota Studies in the Philosophy of Science,* Minneapolis: University of Minnesota Press, 1956).

Sellien, E. (1919). 'Die erkenntnistheoretische Bedeutung der Relativitätstheorie', *Kantstudien,* Ergänzungsheft, n° 48.

Stenius, E. (1960). *Wittgenstein's "Tractatus": a critical exposition of its main lines of thought*. Oxford: B. Blackwell.

Stein, H. (1972). 'On the conceptual structure of quantum physics', in R. G. Colodny (ed.), *Paradigms et Paradoxes: the philosophical challenge of quantum domain.* Pittsburghh, University Press.

Stern, R. (2000). *Transcendental Arguments and Scepticism: Answering the Question of Justification*. Oxford University Press.

Stern, R. (ed.) (2000). *Transcendental Arguments: Problems and Prospects.* Oxford: Oxford University Press.

Stephens, I. K. (1949). 'Cassirer's Doctrine of the *a priori',* in P. A. Schilpp (ed.), *The philosophy of Ernst Cassirer.* Evanstons: The Library of Living Philosophers, 149-181.

Strohmeyer, I. (1987). 'Tragweite und Grenze der Transzendentalphilosophie zur Grundlegung der Quantenphysik', *Z. für allgemeine Wissenschaftstheorie,* **XVIII**/1-2, 239-275.

Strawson, P. F. (1966). *The Bounds of Sense: an essay on Kant's Critique of pure reason.* London: Methuen & Co. Ltd.

Teller, P. (1981) 'The projection postulate and Bohr's Interpretation of quantum mechanics', in P. Asquith & R. Giere (ed.) in *Proceedings of the 1980 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Volume 2. East Lansing, Michigan, p. 201-223.

Tuomela, R. (1973). *Theoretical Concepts.* Wien : Springer-Verlag.

Urban, W. M. (1949). 'Cassirer's philosophy of language', in P. A. Schilpp, (ed.) *The philosophy of Ernst Cassirer.* Evanstons: The Library of Living Philosophers, 289- 333.

Uzan, J-P. (2002). 'Les constantes varient-elles ?', Pour la science 297, , 72.

Uzan, J-P. (2003). 'The fundamental constants and their variation: observational and theoretical status', Rev. Mod. Phys. 75, , 403-455.

Van Cleve, J. (1981). 'Reflections on Kant's Second Antinomy', *Synthese*, **47**(3), 481-494.

Van Fraassen, B. (1972). 'A formal approach to the philosophy of science', in Colodny, R. (ed.), *Paradigms and Paradoxes: The Philosophical Challenge of the Quantum Domain*, Pittsburghh: University of Pittsburgh Press, 303-366.

Van Fraassen, B. (1980). *The scientific image*. New York: Oxford University Press.

Van Fraassen, B. (1991). *Quantum mechanics, an empiricist view.* New York: Oxford University Press.

Van Fraassen, B. (1994). *Lois et symétrie.* Trad. C. Chevalley. Paris: J. Vrin. (Traduit de *Laws and Symmetry.* Oxford University Press, 1989)

Veneziano, G. (1986). 'A stringy nature needs just two constants', *Europhys.Lett.,* **2**, 199.

Von Neumann, J. (1946). *Les fondements mathématiques de la mécanique quantique.* Trad. A. Proca Paris : Librairie Félix Alcan (réimpression par Ed. Jacques Gabay, 1988 ; original allemand *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik,* Berlin, Springer-Verlag, 1932).

Von Weizsacker, C. F. (1931). 'Ortsbestimmung eines Elektrons durch ein Mikroskop', *Zeitschrift für Physik*, tome 70, fascicules 1 et 2.

Von Weizsacker, C. F. (1956). *Le monde vu par la physique.* Trad. François Mosser, Paris : Flammarion. (Publication originale en allemand en 1942, traduction anglaise, *The world view of physics,* London, Routledge and Kegan Paul, 1952).

Von Weizsacker, C. F. (1971a). 'The Unity of Physics', in T. Bastin (ed.), *Quantum Theory and Beyond.* Cambridge: Cambridge University Press, 229-262.

Von Weizsacker, C. F. (1971b). 'Niels Bohr and Complementary : the place of classical language', in T. Bastin (ed.), *Quantum Theory and Beyond*, Cambridge: Cambridge University Press.

Von Weizsacker, C. F. (1979). 'The preconditions of experience and the unity of physics', in: P. Bieri, R-P. Horstmann et Krüger (eds.), *Transcendental arguments and science.* Dordrecht: Riedel.

Von Weizsacker, C. F. (1980). *The Unity of Nature.* New York: Farrar, Strauss, Giroux. (Traduit de *Die Einheit der Natur,* Munich, 1971).

Von Weizsacker et Görnitz (1990) 'Quantum Theory as a Theory of Human Knowledge', in : P. Lahti et P. Mittelstaedt (ed.), *Symposium on the foundations of modern physics 1990*, World Scientific, 461-472.

Von Weizsacker, C. F. (1994). 'Kant's Theory of Natural Science according to P. Plaass', in P. Plaass, *Kant's Theory of Natural Science.* Dordrechet : Kluwer, 167-187.

Vuillemin, J. (1954). *L'héritage kantien et la révolution copernicienne : Fichte, Cohen, Heidegger.* Paris : P.U.F.

Vuillemin, J. (1955). *Physique et métaphysique kantiennes.* Paris : P.U.F.

Vuillemin, J. (1988). 'Remarques critiques sur la doctrine kantienne de la causalité'. In : H. Oberer et G. Steel (eds.), *Kant. Analysen – Probleme - Kritik*. Königshausen & Neumann, p. 99-101. (réimprimé in J. Vuillemin, *L'intuitionnisme kantien,* Paris : Vrin, 1994, p. 105-115).

Vuillemin, J. (1989). 'Note sur l'école allemande de mécanique quantique', *L'âge de la science : lectures philosophiques*, n° 2. Paris : Editions Odile Jacob.

Watkins, E (ed.) (2001). *Kant and the Sciences.* New York: Oxford University Press.

Webb, J. K. et al. (1999). 'Search for Time Variation of the Fine Structure Constant'. *Phys. Rev. Lett*., **82**, 884-887.

Weyl, H. (1952). *Symmetry.* Princeton: Princeton University Press. (Traduction française de G. Th. Guilbaud sous le titre *Symetrie et mathématique moderne.* Paris: Flammarion, 1964)

Wien, W. (1896). *Ann. d. Physik,* **58,** 662.

Williams, M. (1990). 'Wittgenstein , Kant, and the "Metaphysics of Experience"', *Kant-studien,* **81**(1), 69-88.

Wittgenstein, L. (1984). *Remarques mêlées,* trad. Gérard Granel, Paris : Editions TER,.(*Vermischte Bemerkungen,* Oxford : Badil Blackwell)

Wittgenstein, L. (1993). *Tractatus Logico-philosophicus.* Trad. F. Granger. Paris : Gallimard.

Wittgenstein, L. (1961). *Tractatus logico-philosophicus* suivi de *Investigations philosophiques*; trad. de l'allemand par Pierre Klossowski. Paris : Gallimard.

Wittgenstein, L. (1984). *Remarques mêlées,* trad. Gérard Granel, Paris : Editions TER. (*Vermischte Bemerkungen,* Oxford : Badil Blackwell).

Zahar, E. (1983), 'Logic of Discovery or Psychology of Invention ? *British Journal for the Philosophy of Science,* **34**, 243-61.

Table de Matières

INTRODUCTION 13

PARTIE I: LE PROBLÈME DE LA CONSTITUTION DE LA MATIÈRE DU POINT DE VUE DE KANT 25

INTRODUCTION: POURQUOI KANT ? 27

CHAPITRE 1: LA QUESTION DE LA MÉTHODE DANS LA CRITIQUE DE LA RAISON PURE 35

1.1 LA CRITIQUE COMME MÉTHODE 35

1.2. LES RÈGLES MÉTHODOLOGIQUES DE LA SENSIBILITÉ 40

1.3. LES RÈGLES MÉTHODOLOGIQUES DE L'ENTENDEMENT 43

1.3.1. Les catégories 43

1.3.2. L'aperception originaire 44

1.3.3. Le schématisme 46

1.3.4 Système des principes de l'entendement pur 51

1.4. L'ESSENCE DE LA MÉTHODE TRANSCENDANTALE : LE PRINCIPE DE LA GRANDEUR INTENSIVE 54

1.4.1 La grandeur extensive 55

1.4.2. La grandeur intensive 58

1.4.3 Les analogies de l'expérience et le principe de la grandeur intensive 63

1.5. LA DIALECTIQUE COMME MÉTHODE 67

CHAPITRE 2: DE LA MÉTHODE À LA MÉTAPHYSIQUE DE LA NATURE 71

2.1 MÉTAPHYSIQUE ET MÉTHODE 71

2.2 DES PRINCIPES DE L'ENTENDEMENT AUX PRINCIPES PREMIERS DE LA SCIENCE 79

2.3 DES PRINCIPES MÉTAPHYSIQUES DE LA PHORONOMIE 83

2.4 DES PRINCIPES MÉTAPHYSIQUES DE LA DYNAMIQUE 90

2.5 DES PRINCIPES MÉTAPHYSIQUES DE LA MÉCANIQUE 98

2.6 DES PRINCIPES MÉTAPHYSIQUES DE LA PHÉNOMÉNOLOGIE 102

2.7 DE LA MÉTAPHYSIQUE DE LA NATURE À LA MÉTHODE TRANSCENDANTALE 103
CHAPITRE 3: KANT ET LE PROBLÈME DE LA CONSTITUTION DE LA MATIÈRE 105
3.1. L'ILLUSION DIALECTIQUE SUR LA NATURE DE LA MATIÈRE 105
3.1.1. La méthode dialectique 106
3.1.2. Les principes de la cosmologie rationnelle 113
3.1.3. La première antinomie 118
3.1.4. La deuxième antinomie 121
3.1.5. La solution critique des antinomies 125
3.2. LA DÉTERMINATION SCIENTIFIQUE SUR LA NATURE DE LA MATIÈRE 132
3.2.1. La confrontation entre dynamisme et mécanicisme 132
3.2.2. Le principe de la divisibilité infinie 138
3.3 ILLUSION DIALECTIQUE ET DÉTERMINATION SCIENTIFIQUE SUR LA NATURE DE LA MATIÈRE 147
CONCLUSION: SOLUTION DU PARADOXE ENTRE L'ANTINOMIE DIALECTIQUE ET LE THÉORÈME DYNAMIQUE SUR LA CONSTITUTION DE LA MATIÈRE 153
PARTIE II: VERS LA LIMITATION DES *A PRIORI* KANTIENS 159
INTRODUCTION: LA NOTION DE LIMITATION DANS LE CONTEXTE TRANSCENDANTAL 161
CHAPITRE 4 : L'INTERPRÉTATION COMPLÉMENTAIRE DE BOHR ET LA PLACE DES A PRIORI 173
4.1. INTRODUCTION : DE LA PLURALITÉ D'INTERPRÉTATIONS EN MÉCANIQUE QUANTIQUE 173
4.2. MÉCANIQUE QUANTIQUE ET LIMITES DU KANTISME 177
4.3. LA PREMIÈRE CONDITION DE LIMITATION : LE POSTULAT QUANTIQUE 179
4.4. LA DEUXIÈME CONDITION DE LIMITATION : LE PRINCIPE DE CORRESPONDANCE 188
4.5. LA TROISIÈME CONDITION DE LIMITATION : LA RÈGLE DE BORN ET L'INTERPRÉTATION PROBABILISTE DE LA FONCTION D'ONDE 195
4.6. LA QUATRIÈME CONDITION DE LIMITATION : LE PRINCIPE D'INCERTITUDE 198
4.7. LA CINQUIÈME CONDITION DE LIMITATION : LE PRINCIPE DE COMPLÉMENTARITÉ 209

4.8. QUELQUES REMARQUES SUR LES DIVERGENCES PARMI LES INTERPRÈTES DE COPENHAGUE 216
4. 9. CE QUI RESTE DE KANT 221
CHAPITRE 5 : GRETE HERMANN ET LA LOI DE CAUSALITÉ À REBOURS 225
5.1. INTRODUCTION 225
5.2. LA SÉPARATION ENTRE CAUSALITÉ ET DÉTERMINISME 228
5.3. LE CRITÈRE DE PRÉDICTION DE LA CAUSALITÉ MÉDIATE RÉTRODICTIVE 232
5.4. LA CAUSALITÉ RÉTRODICTIVE ET LE RÔLE DES IMAGES INTUITIVES: EN SCÈNE LES PRINCIPES DE CORRESPONDANCE ET DE COMPLÉMENTARITÉ 237
5.5. L'APPROCHE RELATIONNELLE DE LA THÉORIE QUANTIQUE 239
5.6. LA DISSYMÉTRIE ENTRE EXPLICATION ET PRÉDICTION 242
5.7. LES CONTROVERSES SUR LA COMPLÉTUDE ET LA NÉCESSITÉ DE L'EXPLICATION CAUSALE 244
5.8. CAUSALITÉ ET PRINCIPE DE RAISON SUFFISANTE 252
5.9. LE RÔLE DES ANALOGIES 261
5.10. LA DISJONCTION ENTRE ANALOGIE DE L'EXPÉRIENCE ET ANTICIPATION DE LA PERCEPTION 265
5.11. PHILOSOPHIE CRITIQUE ET INTERPRÉTATION COMPLÉMENTAIRE 272
CHAPITRE 6: P. MITTELSTAEDT : L'OBJECTIVATION EN MÉCANIQUE QUANTIQUE EN TANT QUE PROBLÈME TRANSCENDANTAL 277
6.1. INTRODUCTION 277
6.2. LE PROBLÈME DE L'OBJECTIVATION DANS LE CADRE DE L'INTERPRÉTATION DES OBJETS SHARP 281
6.2.1. Le clivage propriétés objectives / propriétés non-objectives 282
6.2.2. Quelques remarques sur l'emploi du terme propriété 285
6.2.3. La question de l'objectivité et de la non-objectivité des propriétés 290
6.2.4. Le principe de la permanence de la substance 297
6.2.5. Le principe de causalité 303
6.2.6. Le problème de l'objectivation dans le cas de mesures bien définies 307
6.3. LE PROBLÈME DE L'OBJECTIVATION DANS LE CADRE DE L'INTERPRÉTATION UNSHARP 313

6.4. KANT, MITTELSTAEDT ET LA QUESTION DE L'OBJET 315
CONCLUSION: LES INSUFFISANCES DU PROGRAMME DE LIMITATION 327
PARTIE III: VERS LA RELATIVISATION DES *A PRIORI* 331
INTRODUCTION: LE PROGRAMME DE RELATIVISATION DES A PRIORI 333
CHAPITRE 7: ERNST CASSIRER ET LA RÉVISION DE LA NOTION KANTIENNE DE CAUSALITÉ AU MOYEN DE LA NOTION DE FONCTION 337
7.1. CASSIRER FACE À L'A PRIORI FONCTIONNEL PROPOSÉ PAR LE JEUNE REICHENBACH 337
7.2. LE DÉPLACEMENT PROPOSÉ PAR CASSIRER 344
7.3. LE RÔLE DE LA CAUSALITÉ EN PHYSIQUE 348
7.4. LE TOURNANT HELMHOLTZIEN VERS LA CAUSALITÉ COMME IDÉAL RÉGULATEUR 353
7.5. CAUSALITÉ EMPIRIQUE ET CAUSALITÉ TRANSCENDANTALE : VERS UNE INTERPRÉTATION PLUS HOLISTE DE KANT 359
7.6. CAUSALITÉ TRANSCENDANTALE ET MÉCANIQUE QUANTIQUE 367
CHAPITRE 8: C. F. VON WEIZSÄCKER : RELATIVISATION DE L'A PRIORI ET UNITÉ DE LA NATURE 379
8.1. INTRODUCTION 379
8.2. LA CRITIQUE DE L'A PRIORI ABSOLU 381
8.3. L'A PRIORI RELATIONNEL 383
8.4. LE RENONCEMENT À L'OBJECTIVATION 386
8.5. CONNAISSANCE ET ACTION 388
8.6. LA CRITIQUE DU RELATIVISME HISTORIQUE 388
8.7. LA SYMÉTRIE COMME PRINCIPE UNIFICATEUR DE LA SCIENCE DE LA NATURE 390
8.8. L'UNITÉ DE LA NATURE 394
CHAPITRE 9: L'APPROCHE TRANSCENDANTALE DE JEAN PETITOT 399
9.1. INTRODUCTION 399
9.2. LA RÉGIONALISATION DE L'ESTHÉTIQUE TRANSCENDANTALE 400
9.3. LA NOUVELLE CONSTRUCTION DES CATÉGORIES 413
9.4. LE RÔLE CONSTITUTIF DE LA SYMÉTRIE EN PHYSIQUE 417

9.4 L'OBJECTIVITÉ QUANTIQUE 421
CHAPITRE 10: LE PRAGMATISME TRANSCENDANTAL EN MÉCANIQUE QUANTIQUE 427
10.1. INTRODUCTION : LE PROBLÈME DU LANGAGE ORDINAIRE EN MÉCANIQUE QUANTIQUE 427
10.2. LA SÉMANTIQUE ANALYTIQUE EN MÉCANIQUE QUANTIQUE 432
10.2.1. La dichotomie entre le langage observationnel et le langage théorique 432
10.2.2. Explication et prédiction dans le cadre du sémantisme de Carnap et Hempel 440
10.2.3. Les limites du sémantisme analytique 441
10.3. LE TOURNANT PRAGMATICO-LINGUISTIQUE DANS LA PHILOSOPHIE CONTEMPORAINE 448
10.4. L'A PRIORI PRAGMATICO-ANALYTIQUE DE C. I. LEWIS 452
10.5. LE PRAGMATISME TRANSCENDANTAL 457
10.6. L'INTERPRÉTATION DE BOHR SUR L'OPTIQUE PRAGMATICO-TRANSCENDANTALE 460
10.7. M. BITBOL ET LA JUSTIFICATION PRAGMATICO-TRANSCENDANTALE DE LA MÉCANIQUE QUANTIQUE 465
CONCLUSION 471
BIBLIOGRAPHIE 479