

2711.3196.4

i

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

UNE LECTURE TRANSCENDANTE DU PROBLÈME DE LA CAUSALITÉ  
EN MÉCANIQUE QUANTIQUE

PAR  
KARINE R. DAMARSING

DÉPARTEMENT DE PHILOSOPHIE  
FACULTÉ DES ARTS ET SCIENCES

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À LA FACULTÉ DES ÉTUDES SUPÉRIEURES  
EN VUE DE L'OBTEINCTION DU GRADE DE  
MAÎTRE ÈS ART (M.A.)  
EN PHILOSOPHIE

MAI 2004

© KARINE R. DAMARSING, 2004



B

29

U54

2004

V. 020

**Direction des bibliothèques**

**AVIS**

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

**NOTICE**

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal  
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

Une lecture transcendantale du problème de la causalité  
en mécanique quantique

présenté par :

Karine R. Damarsing

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Daniel Laurier, Ph.D.  
président-rapporteur

Yvon Gauthier, Ph.D.  
directeur de recherche

François Lepage, Ph.D.  
membre du jury

## RÉSUMÉ

Plusieurs ont reproché aux théories quantiques de violer le déterminisme en conférant aux *relations d'indétermination de Heisenberg* un statut obligé, faisant porter aux défenseurs de l'*Interprétation de Copenhague* l'odieux d'un tel manquement à la science. Cependant, on peut se demander si ce déterminisme, dont on attribue la formulation à Laplace, mérite bien ce statut de principe pour la science ou s'il ne constitue pas plutôt qu'une lecture possible d'un autre principe plus fondamental. Or en consultant le texte même de Laplace [Laplace (1814)], on constatera que, en effet, cet *idéal* n'est qu'une dérivation du principe de raison suffisante lui-même réduit au principe de causalité. Ce constat nous invite donc à retourner au concept même de causalité, afin d'y retrouver un sens plus général qui permettrait d'éteindre le reproche si souvent adressé aux théories quantiques.

Le problème de la causalité en physique n'est pas nouveau. Déjà Hume en questionnait le sens, ce qui poussera Kant à formuler sa *Critique de la raison pure*. Dans notre premier chapitre, nous verrons quelle solution Kant donne au problème de la causalité et les conséquences qu'il en tire concernant le problème de la connaissance en général. En particulier, nous verrons comment la causalité s'articule par rapport aux autres instances de la raison, permettant dans cette articulation complexe la constitution des différents niveaux du jugement scientifique (i.e., perceptuel, catégorial et rationnel). Y seront abordés les problèmes du temps et de l'espace comme forme de l'intuition sensible (*Esthétique transcendantale*), des catégories de l'entendement (*Analytique des concepts*), de la synthèse des formes et des catégories via le *schématisme*, du problème des *antinomies* et de la possibilité d'un savoir supérieur dont la *dialectique transcendantale* serait la porte d'accès.

Notre deuxième chapitre sera consacré d'abord à une critique du déterminisme causal, puis à une application du cadre transcendantal à l'analyse des expressions mathématiques qui traduiraient la causalité dans les théories physiques. À partir de la correspondance que Kojève suggère entre les fonctions analytiques (telles que définies à partir du théorème de Taylor) et les structures causales [Kojève (1932)], et que Dahan-Dalmedico généralise en faisant du théorème de Cauchy l'expression mathématique du déterminisme [Dahan-Dalmedico (1992)], nous verrons comment l'extension de la notion d'analyticité [cf. Borel] donne à la causalité un caractère bien différent de celui qu'on lui reconnaissait d'abord. Nous verrons que cette extension nous permet de retrouver dans la théorie des fonctionnelles bilinéaires qui constitue l'appareil analytique des théories quantiques [cf. von Neumann, Vladimirov] cette causalité qu'on avait crû perdue. Seulement, elle y devient une catégorie au même titre que les autres (substance, quantité, qualité, etc.) et elle se voit multipliée dans sa schématisation par l'apparition d'une pluralité géométrique. En outre, nous verrons que l'application du cadre transcendantal résout cette pluralité par un recours à la dialectique.

Nous verrons également que l'*Interprétation de Copenhague de la mécanique quantique*, loin d'être incompatible avec la philosophie transcendantale, y trouverait sa justification et, même, son inspiration, la plupart des physiciens, dont Bohr et Heisenberg, s'étant ralliés au « *Zurück zu Kant* » de Helmholtz. Vu ainsi, le *principe de complémentarité* deviendrait le pendant physicien de l'appel de Kant à la *dialectique transcendantale*.

## SUMMARY

Many have condemned Quantum Mechanics for having supposedly violated the principle of determinism by admitting the fundamental role of *Heisenberg's indetermination relations* in physics. Although the status of determinism itself may be put into question, the problem is rather about the possible ways of interpreting a more fundamental principle. Referring to Laplace's essay of 1814, it appears that his *ideal* was in fact derived from such a principle, namely the *principle of sufficient reason* restricted to its causal form. This can be seen as an invitation to revisit the concept of causality itself, giving it a more general meaning and, consequently, put the question of determinism under a new light.

Our first chapter focuses on the solution Kant gave in his *Critique of Pure Reason* to the problem of causality and its consequences for a theory of knowledge. We shall see how the possible connection of causality with other concepts, as well as with transcendental space and time, enables reason to establish different levels of scientific judgments (i.e. perceptual, categorical and rational). The distinction between conceptual synthesis (making representations possible through *schematism*) and rational synthesis will also be stressed, the antinomies forcing that distinction and giving birth to the necessity of *transcendental dialectic* as the means to access higher knowledge.

Our second chapter deals with causal determinism and its supporting mathematical expressions. Starting from Kojève's suggestion of a correspondence between analytical functions (as defined by Taylor's theorem) [Kojève (1932)], and the more general statement of Dahan-Dalmedico making of Cauchy's theorem the mathematical expression of determinism [Dahan-Dalmedico (1992)], we shall illustrate, using a transcendental analysis, that the later extension of the notion of analyticity to the theory of generalized functions gives a new understanding of not only the concept of causality, but of the notions of space and time as well.

Finally it will be proposed that the *Copenhagen Interpretation of Quantum Mechanics* is not only compatible with transcendental philosophy, but is justified and even inspired by it. Most physicists engaged in the early developments of QM. Bohr and Heisenberg among others, demonstrated a keen acquaintance with Kantian epistemology. From that point of view, the *Complementarity Principle* could be taken as the physicists' positive response to Kant's *transcendental dialectic*.

Philosophy – Epistemology – Mathematics – Physics – Causality

## TABLE DES MATIÈRES

Résumé.....	iii
Summary.....	v
Table des matières.....	vii
Remerciements.....	x
0 Introduction.....	1
0.1 Situation du problème.....	1
0.2 Hypothèses et méthode.....	6
0.3 Le plan.....	13
1 Une théorie transcendantale de l'expérience.....	18
1.1 À propos du contexte d'énonciation de la philosophie transcendantale.....	18
1.2 Vers une théorie de l'expérience.....	25
1.3 L'esthétique transcendantale : L'espace et le temps comme principes des mathématiques.....	35
1.3.1 Exposition métaphysique de l'espace et du temps.....	42
1.4 La logique transcendantale : la question des catégories.....	52
1.4.1 L'analytique des concepts et le cas particulier de la causalité.....	57
1.5 Le schématisme.....	63
1.6 La dialectique transcendantale et la clôture de l'idéal.....	67
1.6.1 Des concepts aux idées.....	68
1.6.2 Étude d'une antinomie.....	72
2 Fonctions analytiques et structure causale	
2.1 La mécanique quantique comme réalisation du rationalisme	80
2.2 Le démon de Laplace : de la probabilité à l'incertitude	80
2.3 Deux théorèmes	100
2.4 La causalité dans les espaces d'Hilbert	103
2.4.1 Une première généralisation : l'analyse spectrale de Fourier	104
2.4.2 Une seconde généralisation : les fonctionnelles bilinéaires ou distributions	108
2.5 Conclusion	107

3	Conclusion : Complémentarité, symbole et dialectique en mécanique quantique	122
	Références	144
	Addenda	153

*À mon fils,  
Guillaume-Manu,  
Qui est né au milieu de tout cela.*

## REMERCIEMENTS

La rédaction de ce mémoire aura été longue et fastidieuse, souvent suspendue, le texte mis sur les tablettes pendant plus de cinq ans. En fait, j'avais crû ce projet mort et enterré. Mais le destin fait curieusement les choses qu'au moment même où l'on croit avoir définitivement renoncé à quelque chose, une porte s'ouvre soudain.

Mes premiers remerciements iront naturellement à mon directeur, le professeur Yvon Gauthier. Sans sa très grande patience, sa grande érudition, sa complicité, sa générosité et son support amical, rien de tout cela n'aurait été possible. Je le remercie aussi pour la grande liberté qu'il m'a laissée durant tout le temps de cet apprentissage, une liberté qui comporte le risque de s'égarer, de disparaître, même, mais aussi de trouver.

Je remercie également le professeur Daniel Weinstock pour son aide financière inattendue, d'autant plus inattendue qu'il ne me devait rien, mais qui m'a permis de mener à terme la dernière phase de rédaction.

Mes remerciements vont aussi au professeur Fabienne Pironet qui, pendant mes années d'absence, est devenue en quelque sorte mon ancrage à la vie philosophique et qui, par une simple suggestion, a permis que je m'y relance. Spécialiste de l'époque médiévale, elle m'a fait voir combien les questions d'aujourd'hui sont à peu de choses près celles d'hier. J'espère que son travail de transmission des textes anciens sera reconnu à sa juste valeur.

Je veux également exprimer ma gratitude envers mes nombreux professeurs des départements de physique et de mathématique de l'Université de Montréal qui m'ont enseigné leurs disciplines entre 1987 et 1992. Le deuxième chapitre et la conclusion de ce mémoire montreront à quel point je leur suis redevable.

Je profite de l'occasion pour remercier le professeur Maurice Boutin de l'Université McGill qui m'a mis sur la piste de Kojève et aura ainsi contribué à réveiller ma passion endormie pour l'épistémologie des sciences.

C'est à mon passage au département de physique de l'Université de Montréal et à mon implication dans les cercles d'astronomie amateur du Québec que je dois mes amitiés les plus fidèles. Ces amitiés ont été le terrain de toutes sortes d'expérience et de débats. Je remercie donc de leur amitié complice Patrice Gérin-Roze, Sophie Collin, Marc Jobin, Marie-France Larochelle, Alister Ling, Natascha Schreiber-Förster, Didier Saumon, Stéphane Courteau, Marc Potters, David Aubin et Stéphane Durand, soulignant particulièrement la contribution de ces deux derniers. Je veux également souligner la contribution de mes trois confrères aspirants philosophes avec qui j'aurai beaucoup échangé et ferrailé jadis. Claude Bédard, Isolde Gravel et Charles-Éric Doran.

Je remercie également mes amies hors catégories, Alicia Sliwinski, Robert Crépeau, Enrique Correa, Chloé Nauwens, Jacques Bussièrès et Anjoli Bandyopadhyay. À Anjoli, en particulier, je dédie mes quelques maigres références à la philosophie indienne. Je n'oublie pas non plus mes collègues et amis de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal, qui m'ont fait connaître le « vrai monde » et m'ont fait réaliser que la réflexion philosophique y a sa place, même si parfois il lui faut la revendiquer. Je remercie donc, entre autres, Louise Francoeur, Louise Bourbonnais, Isabelle Écuyer-Dab, Louise Aubut et Anca Raus.

À ma famille, finalement, je dis merci, un merci qui ne peut être décrit en quelques qualificatifs ou quelques évocations. Ma famille est là d'aussi loin que je me souviens, témoin et support de toutes mes tribulations. Que mon père, Bhindoolass Damarsing, ma mère, Lise Christophe, son compagnon, Marc Pelletier, ainsi que mes grand-parents maternels, Georgette Bélisle et feu Théodore Christophe, mes oncles, mes tantes, mes cousins et ma grande-tante Pierrette qui, malheureusement, nous a

quitté juste quelques mois trop tôt pour pouvoir lire ces lignes, reçoivent mon témoignage de gratitude.

Un gros merci à mon cousin presque frère Jean-Daniel Hacala, à sa femme Louise Thibault, ainsi qu'à leurs enfants Marie-Adèle et Victor, qui, surtout depuis la naissance de mon fils, se sont avérés d'un support inestimable.

Merci enfin à mon petit Guillaume-Manu à qui j'ai dédié cet ouvrage. Sa naissance aura retardé d'un an encore le dépôt de ce mémoire, mais il m'aura surtout donné le courage de le terminer une bonne fois pour toute.

Certes, la liste des personnes à remercier pourrait s'étendre encore. Dans le fond toutes les rencontres d'une vie contribuent à ce que nous sommes et devenons, même les rencontres animales, même la rencontre des éléments, même celles qui ont laissé un souvenir triste ou amer. Je n'oublie rien ou presque rien, même si le temps et l'espace me manquent pour dire toute ma gratitude. Merci.

## 0 INTRODUCTION

*Un paradoxe n'est pas nécessairement une contradiction. Il peut aussi être un appel à un changement de perspective.*

### 0.1 SITUATION DU PROBLÈME

Loin de nous ce XIX<sup>e</sup> siècle optimiste où les problèmes de l'éther et du corps noir n'étaient perçus que comme "*deux petits nuages obscurs*" que la bienveillante Physique percerait un jour pour la plus grande joie des moissonneurs du savoir, puisque du problème de l'éther naquirent les théories relativistes; et de celui du corps noir, les théories quantiques. [Cf. Bohr (1932); Kojève (1990)]

Or du côté des théories relativistes, il nous sera proposée une révision des notions d'espace et de temps telle que nous n'y reconnaitrons plus, comme c'était l'opinion commune<sup>1</sup>, un temps absolu (newtonien) et un espace homogène décrit par la géométrie d'Euclide indépendant de la nature des phénomènes qui y sont inscrits. En opposition à la conception newtonienne d'un espace en lui-même vide<sup>2</sup>, mais rempli

---

<sup>1</sup> Caractériser ainsi les notions classiques d'espace et de temps n'est que par trop réducteur et imprécis. Toutefois, il ne s'agit ici que de brosser un tableau caricatural de la situation, presque rhétorique, car en fait les théories relativistes remplacent le groupe d'invariance galiléenne, par le groupe de Lorentz (ou plus généralement de Poincaré), donc une structure mathématique par une autre, et ces structures, même si elles tracent les relations entre les paramètres spatio-temporels, ne doivent pas encore être prises comme représentation figurative de l'espace et du temps. Ce propos sera plus largement explicité au chapitre 2 de notre mémoire. À propos des conceptions newtonienne et leibnizienne de l'espace, voir R. Arthur (1994).

<sup>2</sup> Notons que l'introduction un peu plus tardive de la notion d'éther dans les théories classiques semble contredire l'idée d'un espace vide. L'éther classique est conçu comme substance mesurable, soit, mais une substance homogène, isotrope et absolument au repos. De telle sorte que dans l'esprit des

par des objets physiques dont l'évolution est scandée par une horloge universelle absolue, on en arrive à la conviction que le support de la réalité physique est un tissu serré d'espace et de temps, ce continuum spatio-temporel décrit par Einstein et Minkowski. Ainsi, ce qui chez Newton<sup>3</sup> était le contenant (l'espace absolu) et l'espèce d'être témoin des changements (le temps) deviennent des objets de la physique: ils seraient mesurables (à travers les horloges internes et les dimensions des systèmes physiques) et soumis au changement comme les entités causales qui, elles, sont matière et énergie.

Ainsi si nous voulons trouver un invariant dans les théories relativistes, un analogue de l'espace et du temps des théories newtoniennes, il faudra se tourner vers une toute autre notion, celle d'intervalle d'espace-temps caractérisé par la vitesse du système physique considéré. L'introduction de la notion de vitesse comme élément essentiel à la définition de notre nouvel "absolu" est dictée par le second postulat de la relativité restreinte, qui pose la vitesse de la lumière, dans sa représentation ondulatoire, comme borne infranchissable, i.e. qu'aucun objet physique (information, interaction ou matière) ne peut se déplacer à des vitesses supérieures à celle de la lumière dans le vide. Einstein introduit ainsi implicitement une contrainte causale supplémentaire dans nos modèles, puisque, en somme, limiter la propagation d'un mouvement, c'est déterminer le domaine d'interaction des phénomènes. L'espace-temps rendu substance, ce qui sera conçu comme unité spatio-temporelle sera également régi par un principe de causalité révisé qui est spécifié par la borne fixée par "c" (i.e. la vitesse

---

physiciens de l'époque pré-relativiste, l'éther fait office d'espace absolu. C'est cette dernière notion qui semble être écartée à la lumière des expériences de Michelson et Morley et Fizeau. [Cf. French (1968)]  
<sup>3</sup> Avec les théories relativistes, on pourrait croire au triomphe de Leibniz dans la mesure où celui-ci ne voyait déjà dans l'espace qu'un épiphénomène de l'être multiple qu'il appelle les monades [cf. Leibniz, *Monadologie*]. Toutefois, dans l'article cité précédemment, R. Arthur défend l'idée inverse à l'effet que les conceptions newtoniennes généralement mal interprétées ne contredisent pas les conceptions einsteiniennes comme telles. Il y a de fait dans la théorie de Newton place pour l'idée d'espace relatif défini par la nature du mouvement des objets physiques, c'est-à-dire l'idée d'espace mesuré par le mouvement-même. À ce titre, on pourrait également citer le commentaire de Friedman sur la théorie des fluxions de Newton, dans le cadre de laquelle serait posé au cœur du processus de géométrisation, non pas l'idée d'un continu approché au moyen des infinitésimaux, mais le mouvement continu d'un point. [Friedman (1992), 73]

de la lumière), et qui porte justement le nom de *causalité einsteinienne*. Or, cette façon de caractériser l'espace et le temps en tant que complexe dynamisé par l'idée de causalité via le concept de vitesse ouvre la voie à toute une série d'idées nouvelles dont, en premier lieu, l'idée de localité de l'interaction ( en opposition à celle d'action à distance); puis l'idée de mesure. [cf. Einstein (1956); Bohr (1932), 2]

Du côté des théories quantiques, c'est la poursuite même du rêve des physiciens qui est remise en question, nous demandant si l'intention de dégager des phénomènes physiques des lois universelles exactes qui nous permettraient finalement de connaître l'évolution passée et future de notre monde est justifiable en regard de la nature-même de l'expérience physique. Ce rêve qui fut érigé en principe, et que l'on nommera le déterminisme causal, est ébranlé par l'apparition dans le formalisme de la mécanique quantique des relations d'indétermination de Heisenberg, lesquelles suggèrent qu'il est impossible, même théoriquement, d'en arriver à une détermination complète des paramètres qui, croyait-on, permettraient de prévoir exactement le comportement individuel des entités physiques. [cf. Heisenberg (1930); Bohr (1932)] Or, l'idéal de Laplace, cette formulation généralement admise du principe du déterminisme causal, repose justement sur cet espoir de prédiction exacte. Notons toutefois que cet espoir demeure intact dans le cadre des théories strictement relativistes<sup>4</sup>.

Or, plus que la nécessité de revoir nos conceptions de l'espace et du temps, c'est ce dernier problème de la physique moderne qui a le plus choqué la communauté

---

<sup>4</sup> Cette perception des théories relativistes qui nous est parvenue jusqu'à ce jour, et qui a même été fixée par Bohr [cf. Bohr (1932), 26], n'est peut-être pas aussi juste qu'il n'y paraît. La vision cosmologique qui nous est proposée dans le cadre de la relativité générale est fondée sur un artifice formel qui nous garantit une connexion à travers le continuum spatio-temporel. Mais en sondant le formalisme de la relativité générale, on réalise que cette connexion se produit au niveau des plans tangents à une localité de l'espace (basés sur l'idée que dans un espace restreint tout ce passe comme si le système n'était soumis à aucune accélération) via la méthode des transports parallèles qui fait partie de l'arsenal mathématique qu'est la géométrie différentielle, et qui est généralisé par l'analyse tensorielle. C'est-à-dire que grâce au formalisme mathématique, on arrive à établir des règles générales de connexion entre des référentiels qui, eux, sont locaux. Mais, il ne faudrait surtout pas confondre un espace construit à partir de telles généralisations, et les référentiels locaux eux-mêmes. C'est certes de cette façon que l'on passe de la relativité restreinte à la relativité générale, mais le passage ne s'effectue que sur la base des principes généraux de covariance ou d'équivalence [cf. Weinberg (1972); Do Carmo (1976); Lawden (1962)]

scientifique. Même s'il a fallu quelques années aux théories relativistes pour faire consensus au sein de cette communauté, dès 1919 on obtenait suffisamment de confirmations expérimentales pour qu'Einstein fut sacré le Newton du XX<sup>e</sup> s<sup>5</sup>. Mais pour ce qui est des théories quantiques, il semble que les résultats expérimentaux, aussi favorables soient-ils<sup>6</sup>, ne sont pas suffisants pour convaincre de leur validité. Il apparaît qu'il est plus facile de concevoir un continuum spatio-temporel courbe, voire même troué et élastique, que de se rendre à l'évidence que la connaissance humaine est limitée par le type d'expérience qui lui est accessible. Si la relativité nous invite à repenser nos représentations, la mécanique quantique nous surprend tout autrement en exigeant de nous, non pas l'adoption de nouvelles images, mais que nous nous questionnions sur l'entreprise même de la connaissance scientifique.

Certains iront jusqu'à dire que la physique quantique oblige à un divorce d'avec le rationalisme<sup>7</sup> classique qui voyait dans la représentation mathématique la façon ultime de rendre compte de la réalité, et qui par une adéquation à la totalité (qu'elle soit compacte ou étendue à l'infini) nous permettrait de saisir par l'abstraction du nombre le comportement de toutes les parties qui constituent le monde physique.<sup>8</sup> Si nous suivons l'interprétation de Copenhague de la mécanique quantique, et plus spécifiquement le principe de complémentarité, les images issues du formalisme ne suffisent plus à elles seules à nous donner une représentation complète du monde, donnant d'une certaine manière raison à Einstein et *alii* [E.P.R. (1935)], même si toutefois, ce formalisme nous donne les termes ou les règles d'une dialectique qui, d'après des physiciens comme N. Bohr, assurera cette synthèse de la connaissance physique tant recherchée.

<sup>5</sup> Voir les mesures faites sur la déviation du périhélie de Mercure et l'observation de la déflexion des images stellaires au pourtour du Soleil par effet de lentille gravitationnelle (éclipse de 1919).

<sup>6</sup> Nous pensons ici aux expériences d'Aspect (1985) conçues pour tester les inégalités de Bell (1964), ainsi qu'aux expériences plus récentes sur le comportement des gaz d'atomes à très basse température [cf. *condensat de Bose-Einstein*].

<sup>7</sup> À propos de ce divorce, N. Bohr qualifie lui-même l'introduction du quantum d'action de Planck dans les théories physiques de "trait d'irrationalité" dans le formalisme. [cf. Bohr (1932), 8]

<sup>8</sup> À propos du rationalisme comme adéquation des mathématiques et du réel, voir Cassirer [1936, 11-15].

Suivant cette interprétation serait attaquée cette volonté d'unification, qui motive plus d'un chercheur, et qui se confond avec l'idée du déterminisme. On voudrait dans une même logique rassembler toutes les lois physiques, en faire une unité cohérente qui n'admette pas de saut, et ce jusque dans ses concepts. Mais cette *dualité* qui se dresse au coeur même de la mécanique quantique rend ce projet plus qu'incertain. Comment arriver à une expression unique des lois si parmi elles se démarque un ensemble de relations dont on ne peut tirer un discours univoque? Au contraire, il semble que les relations que nous évoquons ici ne peuvent être tenues ensemble que par une sorte de ciment dialectique, ce que Bohr appelle la complémentarité<sup>9</sup>, maintenues dans une forme de cohérence que par des liens propres à l'imagination, mais qui n'ont aucune réalité empirique<sup>10</sup>, si bien qu'ils ne peuvent même pas faire l'objet d'une première abstraction discursive, entendant par là que l'on ne peut attacher une représentation à cette idée de lien<sup>11</sup> et, donc, qu'on ne peut donner de représentation universelle à l'idée de causalité.

<sup>9</sup> Catherine Chevalley, dans son glossaire ajouté à la traduction de Omnès et Bauer du recueil de Bohr indique que la complémentarité « ne désigne pas l'association de certains traits de la description des objets, mais au contraire leur « exclusion mutuelle ». », ce sur la base que Bohr aurait préféré le terme de « réciprocité » à celui de « complémentarité ». [Chevalley in Bohr (1958), 396] Nous devons confesser que nous ne comprenons pas l'argument de Chevalley, le terme de réciprocité n'indiquant pas plus, « au contraire », l'idée d'une exclusion, d'autant plus que, plus loin dans ce même glossaire, elle écrit que « Dans chacun de ses exemples, la complémentarité apparaît comme le genre de relation qui existe entre des expériences, des concepts, des « informations » qui ne peuvent pas être réunis en une « image unique au moyen des concepts ordinaires » alors même qu'ils représentent des « aspects également essentiels de tout ce qu'on peut apprendre de l'objet en question » (...) Si la complémentarité lève des paradoxes (...) si elle évite les contradictions, c'est parce qu'elle nomme cette incompatibilité, qu'elle la fait exister au lieu de l'ignorer. » [ibid., 399] En fait, si Bohr avec voulu mettre l'emphase sur l'exclusion mutuelle des représentations ondulatoires et des corpusculaires, pourquoi n'aurait-il pas alors parlé de représentation contradictoire. En somme, utiliser le terme de « complémentarité » suggère bien plus l'idée d'un lien entre les représentations, même s'il s'agit d'un lien par la limitation. Nous retrouverons cet esprit dans le texte de Heisenberg, texte qui se veut en continuité avec les travaux de Bohr. [cf. Heisenberg (1930), en particulier la [Bohr (1958), 396], préface]

<sup>10</sup> Nous ne nous questionnons pas ici sur l'origine et l'acquisition des concepts. Qu'il y ait, par exemple, une correspondance entre l'idée de causalité et la structure du substrat neurologique, hypothèse déjà suggérée par Schopenhauer (1847), mais qui est reprise aujourd'hui dans le cadre du fonctionnalisme tel que développé en philosophie de l'esprit, ne nous importe pas à ce stade-ci de notre réflexion, même si une telle correspondance est fortement envisageable.

<sup>11</sup> La non représentabilité des liens causaux avait déjà été relevé en philosophie par Hume. [Hume (EEH), sect. VII]

Or, le principe de complémentarité, s'il ne peut satisfaire ceux qui recherchent une définition exacte de la substance et qu'il remet en question le projet déterministe de la physique, trace peut-être la voie à une réhabilitation des concepts, au sens de Kant, en physique quantique, notion qui débouche sur l'idée d'une *dialectique transcendantale*.

*Le projet, donc, de ce mémoire est de rétablir un dialogue entre la philosophie transcendantale de Kant et la physique contemporaine, suivant l'hypothèse que, au cœur de cette physique, jaillit une dialectique qui trouverait son expression dans le notion de complémentarité telle que proposée dans le cadre de l'interprétation de Copenhague de la mécanique quantique.*

## 0.2 HYPOTHÈSES ET MÉTHODE

À partir de l'analyse de la formule de Laplace [cf. Laplace (1814), 2-3], Kojève conclut qu'il y a correspondance entre l'idée de structure causale et la notion mathématique d'analyticité [cf. Kojève (1932), 51]. Il pose que la causalité trouve son expression mathématique dans la théorie des fonctions réelles analytiques, i.e. la théorie portant sur les fonctions dont l'expansion en série de Taylor converge vers leurs valeurs en tout point du domaine où elles sont définies [cf. Marsden (1974), *Theorem 10*, 179-180; Spivak (1967, 1980), *Taylor's Theorem*, 391-392].

Cependant, et bien qu'une telle proposition soit tout à fait justifiable du point de vue qu'adopte Laplace lors de sa réflexion sur le projet de la science [cf. Laplace (1814)], Kojève ne fait pas cas des différentes modifications qu'a connues la théorie des fonctions depuis l'époque du physicien, modifications qui pourtant nous permettent depuis un traitement analytique des fonctions complexes [Ahlfors (1979), 24-28; Nehari (1952), ch. II], et qui culminent avec l'introduction des fonctionnelles. Ces fonctionnelles sont des fonctions généralisées, dont les cas particuliers des fonctionnelles à croissance lente (*generalized functions of slow growth*) et des

fonctionnelles de carré intégrable pourraient bien être les analogues des fonctions analytiques [Vladimirov (1979), ch. 5]. Ces dernières entités mathématiques permettent la génération des espaces de Hilbert, ces mêmes espaces dans lesquels sont définis les opérateurs hermitiques auxquels sont associées les observables qui apparaissent dans le formalisme de la mécanique quantique. [v. mécanique matricielle de Heisenberg] Mais soulignons que la théorie des fonctions généralisées a été élaboré par les mathématiciens suite à l'introduction par P. Dirac dans le cadre de cette nouvelle mécanique quantique d'une étrange fonction, qu'on appellera la fonction delta, et qui du point de vue des mathématiques classiques n'avait pas de justification interne. [cf. Vladimirov (1979), VI]

En fait, Kojève relève bien ces changements dans la théorie des fonctions en évoquant les travaux de E. Borel, mais il les jugera sans conséquence pour ce qui a trait au problème de la causalité [cf. Kojève (1932), ch.1, p. 126, note 7]. Nous croyons au contraire que ce raffinement de la notion de fonction analytique est lourde de conséquences sur le contenu même de la notion d'analyticité qui, nous le répétons est ici prise pour l'expression mathématique de la causalité.

En fait, le refus de considérer cette généralisation de la notion d'analyticité aurait pour conséquence que toute théorie physique qui aurait recours à celle-ci devrait être considérée comme a-causale et nécessairement non-déterministe. Si, ainsi que le rapporte Kojève, on suit Langevin lorsqu'il affirme "*que l'idée du déterminisme est la base nécessaire de toute science et ne peut par conséquent être rejetée par ceux qui tiennent à l'idée d'une physique scientifique*" [Kojève (1932), 259], ce ne serait plus que la mécanique quantique qui serait atteinte par ce décret, mais aussi l'électromagnétisme de Maxwell et les théories relativistes que, pourtant, Kojève range parmi ces théories dites classiques et donc déterministes. En effet, seule la mécanique newtonienne – et certaines portions de la mécanique lagrangienne – se mériterait alors le statut de théorie scientifique. Ce qui choque l'entendement. Et, ce serait un bien grand sacrifice à faire au nom du déterminisme classique.

Mais, nous le suggérons, Kojève semble en être venu à cette définition mathématique de la causalité à partir de la seule analyse du déterminisme de Laplace. Si à notre tour nous en étudions la formule, nous constaterons que l'espèce d'adéquation que Kojève semble comprendre entre structure causale et fonctions réelles analytiques tient à un présupposé que nous qualifierons d'ontologique sur la nature des phénomènes physiques, i.e. que l'on pose que tout phénomène physique est réductible à l'idée de corps ou d'atomes (comme substance permanente), et que conséquemment tout mouvement peut être réduit à l'idée de trajectoire réelle continue. Or on sait que, même d'un point de vue newtonien, certains phénomènes échappent au modèle corpusculaire – par exemple, la diffraction de la lumière – pour se lotir dans une représentation ondulatoire [cf. le modèle ondulatoire de Huygens et la théorie analytique de la chaleur de Fourier]. Or il est possible de démontrer que ces deux types de représentations sont contradictoires, et donc qu'on ne peut les réduire l'une à l'autre. La vision atomiste (dont est tiré le déterminisme laplacien) est ainsi partiellement inadéquate, i.e. qu'elle ne suffit pas à rendre compte de l'ensemble des phénomènes dits physiques.

Toutefois, un principe émerge de la formule de Laplace qui demeure intact lorsqu'on a pris soin d'en évacuer toute préconception métaphysique. Il s'agit du principe de raison suffisante, lequel n'apparaît pas dans la formulation consacrée du déterminisme, mais dans les paragraphes qui précède cette formule [Laplace (1814), 2]. C'est donc plutôt de ce principe que Laplace partirait pour penser le projet de la science.

Si par ailleurs nous nous reportons au traitement que Schopenhauer donne à ce principe dans son traité intitulé *De la quadruple racine du principe de raison suffisante*, d'abord nous sommes assurés qu'il devient, dans la sphère empirique, le principe de causalité et que son statut de principe pour la science est conservé; et ensuite ce recours nous invite à donner une lecture transcendantale du principe de causalité vu alors comme catégorie de l'entendement, même si Schopenhauer prête à

la causalité une extension beaucoup plus large qu'elle n'a été comprise par Kant. [cf. Schopenhauer (1814, 1847)]

Or c'est à partir de l'idée que le principe de causalité ne serait ni plus ni moins que cette catégorie kantienne (même élargie) que nous pouvons reprendre la suggestion de Kojève (i.e. l'expression mathématique de la causalité est la notion d'analyticité), parce qu'alors la causalité n'est plus restreinte à sa seule expression déterministe (ou mécaniste) étant donné que ses représentations sont soumises à un schématisme. Ce processus faisant intervenir les formes de l'intuition sensible, i.e. l'espace et le temps transcendants qui sont propres au sujet [cf. Kant, CRP], il nous est dès lors possible de sortir des représentations fondamentales d'un espace euclidien et d'un temps newtonien, pourvu qu'on ne se confine pas à certains raisonnements de Kant qui tiennent plus à l'état de la science de son époque qu'à ses intuitions critiques.

Cette extension possible du contenu de la causalité, même si elle n'apparaît pas toujours clairement aux lecteurs de Kant, est justifiable si on s'en réfère à la section de sa première Critique portant sur l'*Antinomie de la raison pure*. À l'issue donc de cette reprise d'une philosophie transcendantale épurée des arguments qui n'ont rien d'universel (comme, par exemple, que l'espace comme forme de l'intuition sensible – principe de la contiguïté des représentations - ne peut lui-même être représenté *a priori* autrement que sous la forme dictée par une géométrie d'Euclide), on pourra donner à la causalité une multitude de schèmes à partir de la combinaison des différentes constructions de l'espace et du temps qui nous sont possibles. Cette multiplicité de schèmes<sup>12</sup> pourrait fort bien être mise en correspondance avec les produits d'une généralisation de la notion d'analyticité mathématique. En démontrant

<sup>12</sup> La représentation chez Kant est rendue possible grâce au schématisme. Mais nous réalisons qu'il faut distinguer entre un schématisme activé par la rencontre fortuite d'une donnée sensible et de l'entendement - la représentation réfère alors à un phénomène empirique - et un schématisme qui serait l'effet d'une libre activité de l'esprit, i.e. un pur produit de l'imagination. Dans le premier cas, le schématisme génère un discours scientifique, alors que dans le second, nous nagerions en pleine métaphysique (ou discours purement transcendantal) en ce qu'alors le schématisme ne permet qu'un repli dans la sphère transcendantale. Nous parlerons ainsi de représentation lorsqu'elle est le produit d'un schématisme activé par le sensible, et de symbole lorsqu'il est le fruit d'un schématisme activé par la libre imagination. On peut aussi opposer représentation figurative et représentation symbolique.

ceci, nous nous trouverions à démontrer la causalité de toute théorie physique utilisant le formalisme des fonctions analytiques généralisées. et parmi elles. la mécanique quantique.

Mais cette généralisation ne se fait pas sans qu'on en paie le prix. En effet, elle nous écarte, entre autres, de cette première figuration de l'espace qui, nous n'en doutons pas, est euclidienne. Nous le verrons, la possibilité de modifier les *schémas de construction* de l'espace et du temps nous permet de dresser des rapports entre des figures aussi paradoxales que, par exemple, le cercle et le carré. La raison en est que ces formes ne sont plus restreintes à l'idée, pour l'espace, d'un continu géométrique tiré d'une représentation euclidienne, mais à la seule idée de contiguïté qui pourrait très bien être discrétisée – pour autant que cette discrétisation obéisse à un algorithme – et, pour le temps, à l'idée de succession qui, elle non plus, n'a pas à être liée continûment, bien qu'à ce titre les exemples nous manquent. Or l'espace comme principe de contiguïté (ou juxtaposition) et le temps comme principe de succession, voilà bien des définitions sorties tout droit de l'*Esthétique transcendante*. [Cf. CRP, 120 sq.]

Cependant, cette généralisation menace l'idéal même d'une unification des théories physiques qui culminerait dans la possibilité de rendre en une seule expression exacte l'état global de l'univers et, qui plus est, dans ses plus infimes détails, puisque si la multiplicité des schèmes est unifiée (ou subsumée) sous le concept, il est à prévoir que, vu l'absence d'une logique commune à tous ces schèmes<sup>13</sup>, cette multiplicité ne nous laisserait qu'un recours à la dialectique pour tout principe d'unification. Cette dernière remarque nous ouvre la voie sur les considérations de Bohr et de Heisenberg. Le premier, parce que l'énoncé de son principe de complémentarité peut être conçu comme ni plus ni moins qu'un appel à la dialectique; et le second, parce qu'il

<sup>13</sup>La négation dans une collection d'ouverts (i.e. un point) et bien différente de la négation dans une collection de fermés (i.e. un espace construit à partir de l'idée cellule d'interaction comme une certaine interprétation de la mécanique quantique le laisse entendre) comme nous le suggère la logique intuitionniste.

interprète le produit de cette synthèse non plus comme représentation, mais comme symbole [cf. Bohr (1930), 45] Et alors, on peut voir la mécanique quantique comme une première esquisse issue de l'adoption de la méthode dialectique en physique.

Résumons donc l'hypothèse que nous tenterons de démontrer tout au long de ce mémoire : *Pour préserver le caractère scientifique de la mécanique quantique, il faut procéder à une relecture des catégories de l'entendement et des formes de l'intuition sensible qui nous permette de dégager dans l'ensemble des représentations physico-mathématiques une structure dialectique et de la justifier du point de vue de la raison.* Cette dernière justification nous semble possible dans le cadre de la philosophie transcendantale de Kant. Plus précisément, Kant aurait tenté tout au long de la *Critique* de dégager, dans la sphère de la raison, trois niveaux de jugement (*perceptuel, catégorial et rationnel*), lesquels, loin d'être indépendants les uns des autres entretiendraient des rapports au sein d'une architectonique, cette dernière ordonnant les différents niveaux d'abstraction rendus possibles à la raison et culminant dans les produits d'une dialectique qui, précisons-le, n'est pas hégélienne. Or nous retrouverions dans l'univers physico-mathématique cette même hiérarchie d'énoncés qui nous ferait passer de la sensation (ou mesure) au symbole via la représentation à travers ces degrés d'abstraction.

Or le désir de tracer une correspondance entre les différents types de jugement chez Kant et les énoncés physico-mathématiques n'est pas une élucubration arbitraire, complètement farfelue, issu d'un esprit trop imaginaire. On en trouverait la clef dans le projet kantien lui-même. En effet, dans son analyse de l'*Oeuvre de Kant*, A. Philonenko défend justement l'idée que, en somme, c'est de l'analyse même des théories physiques de l'époque classique (Descartes, Leibniz, Newton) que Kant en serait venu à définir sa table des *jugements synthétiques a priori* et, du coup, sa table des catégories; et donc, que le moment critique de la philosophie kantienne fut initiée par le fait même de la science. [Cf. Philonenko (1969), 109, 112-115; voir aussi Bachtta (2002), 301 sq.] Le commentateur va même plus loin en écrivant : « *C'est*

*pourquoi aussi la table des catégories, ordonnée d'après la table des jugements, est à la fois une logique des sciences et une histoire des sciences.* » [Philonenko (1969), 113]

Nous comprenons que d'ancrer aussi profondément la déduction kantienne dans *ce fait de la science* pourrait pourtant être préjudiciable à notre présente entreprise. Si Kant déduit sa méthode critique de ce fait, qui est alors les physiques de Descartes, Leibniz et Newton, mais que ces physiques ont été rendues caduques par les développements de la physique du XX<sup>ième</sup> siècle, alors ces catégories devraient aussi être considérées comme caduques, rendant impertinent tout recours à Kant dans la compréhension du *fait de la science contemporaine*. [Cf. Friedman (1992), xi-xii]

Seulement, c'est faire sans le moment des antinomies qui justement peut être vu comme un procès des limites d'application des catégories par la révélation des contradictions qu'elles génèrent, via les images cosmologiques, lesquelles amènent à l'idée d'une dialectique inhérente aux concepts, mais une dialectique de la méthode et non de l'objet. [Cf. Philonenko (1969), 288 *sq.*]

Or, et ceci constitue le second volet de notre hypothèse, la révolution quantique n'est pas en rupture avec la physique classique : elle amène seulement la connaissance physique à un niveau supérieur d'abstraction, de la représentation *catégoriale* à l'énoncé symbolique (ou *rationnel*), qui permet d'unifier, selon le principe de complémentarité proposé par Bohr comme interprétation du principe d'indétermination de Heisenberg, des représentations contradictoires déjà présentes dans la physique classique d'une réalité qu'on pourrait pourtant considérer comme unique.

D'une certaine façon, la physique contemporaine relancerait le débat des antinomies. Encore un fois, il y a cette notion de causalité que la confrontation des théories physiques ébranle, mais aussi le réseau de leurs représentations qui ne peut être généré par un principe unique, qui à l'échelle du microscopique nous replonge dans

une dialectique en apparence insoluble et à l'échelle cosmologique ne nous permet pas de déterminer le destin ultime de l'univers. La représentation microscopique n'est tenue ensemble que par cet étrange principe d'indétermination; le destin de l'univers est soit ouvert, soit fermé. Bien sûr, des physiciens ont introduit l'idée de variables cachées et d'autres imaginent des matières exotiques, mais les unes ou les autres nous échappent encore et toujours, nous laissant à cette ambivalence d'un cosmos qui ne sait pas s'il doit se dissoudre tranquillement ou se recroqueviller sur lui-même.

Mais la beauté de cette physique ne résiderait-elle pas justement dans la possibilité de mathématiser cette ambivalence? Et ne devrait-on pas considérer cette possibilité de dire l'alternative comme un progrès en soi?

Interrogé sur la nature des énoncés mathématiques de sa mécanique matricielle, Heisenberg nous parlera de symboles, lesquels pointeront vers des espaces qui échappent à notre compréhension habituelle et concrète de l'espace-temps, permettant de nouvelles façons de *synthétiser* nos impressions, de lier ensemble nos perceptions (ou sensations) *objectifiées* via le processus de la mesure. Or qu'est-ce que le symbole si ce n'est ce lieu où se meuvent les représentations selon une dynamique qui ne se laisse pas enfermer dans une *monologique*? Ne pourrait-on pas dire, aussi, que si le symbole échappe à l'entendement, il questionne pourtant la raison?

### 0.3 LE PLAN

Dans les différents chapitres de ce mémoire nous reprendrons un par un les arguments qui ont été invoqués plus haut. Dans le premier chapitre intitulé *Une théorie transcendantale de l'expérience*, nous tenterons de rendre la connexion que Kant a tracée entre les différents niveaux de jugements qui constitueraient les éléments de l'édifice de la connaissance rationnelle. Nous porterons une attention toute particulière aux sections de la *Critique de la raison pure* qui traitent de l'*Esthétique transcendantale*, de la *déduction des catégories de l'entendement*, du *schématisme* et

*la dialectique transcendantale, tout en portant une attention particulière aux antinomies de la raison pure.*

Nous visons essentiellement une appropriation des conceptions kantienne de l'espace et du temps comme formes de l'intuition sensible, mais aussi comme principes de la géométrie et de l'arithmétique; une saisie des catégories – et en particulier celle de la causalité – en ce qu'elles permettent la représentation lorsque unies à l'espace et au temps, cette union constituant le propos du schématisme; et l'énoncé d'une dialectique qui loin de trancher entre une thèse ou son antithèse ni même de permettre, en bout d'analyse, la mise en place d'une représentation supérieure, supporterait la tension des contraires. Nous nous en tiendrions ainsi à l'objectif principal de cette première *Critique* qui aurait été, selon Philonenko, d'établir la méthode transcendantale comme propédeutique à toute métaphysique future. [Cf. Philonenko (1969)]

En adoptant cette perspective, nous nous inscrivons dans le courant néo-kantien qui, loin de prétendre dépasser Kant par la découverte d'un soi-disant principe ultime cher à l'idéalisme, se contente de comprendre sa critique et de voir si la méthode transcendantale reste toujours pertinente aujourd'hui, vu l'évolution des sciences, quitte à apporter quelques précisions et raffinements, et à élaguer ce discours de ses quelques branches mortes. [Cf. Cassirer (1937)] En somme, nous croyons rester fidèles à l'esprit de la révolution copernicienne qui ne s'occupe pas tant de savoir quelle est la Réalité, mais de savoir quelle est la nature de l'expérience du sujet humain en interaction avec un « réel voilé », pour reprendre l'expression de d'Espagnat.

Il n'est toutefois pas question d'aborder ici les finalités kantienne qui, d'après plusieurs, seraient plutôt d'ordre éthique et esthétique et qui font l'objet de ses deux autres *Critiques*. En somme, il ne sera question ici que d'épistémologie et, qui plus est, d'épistémologie physique.

Notre second chapitre, intitulé *Fonctions analytiques et structure causale*, compte deux sections : la première est consacrée à une lecture de l'idéal de Laplace; la seconde traite du développement de la théorie des fonctions analytiques et. ce. en réaction à cette note infrapaginale qui, nous le croyons, a empêché Kojève, pourtant philosophe contemporain de la soit-disant révolution quantique, d'en comprendre tout l'impact. Nous y verrons que la physique mathématique repose sur des procédés abstraits qui, bien qu'inspirés de l'analyse classique, laquelle repose sur une conception réelle de l'espace et du temps, nous propulsent dans des espaces tout aussi abstraits qui, toutefois préserve l'idée de juxtaposition et de succession, donc d'espace et de temps dans un sens transcendantal. [V. aussi Gauthier (1995), 65 sq.]. Nous tenterons donc ici de donner *une lecture critique au développement de la théorie des fonctions analytiques*.

Précisons, à propos de cette deuxième section, qu'à la lumière d'un article de Dahan-Dalmedico [cf. Dahan-Dalmedico (1992)], qui aborde le débat plutôt sous l'angle d'une correspondance entre le déterminisme et le théorème *d'unicité et d'existence des solutions des équations différentielles* énoncé par Cauchy, et parce que le théorème de Taylor – qui permet de définir ce qu'est une fonction réelle analytique – n'est qu'un cas particulier du théorème de Cauchy, il nous est apparu plus judicieux de nous attaquer d'abord à l'énoncé de Cauchy. Toutefois, ne disposant pas de l'énoncé original, nous avons dû avoir recours à une de ses versions plus contemporaines [Cf. Marsden (1974)] Par la suite, nous verrons comment sont conçus les analogues des fonctions analytiques dans des espaces complexes, puis dans des espaces d'Hilbert. Cette deuxième section sera également pour nous l'occasion de donner une critique de notions centrales de l'analyse telles que celles de continuité, de convergence et de différentiabilité, cette critique refaisant en quelque sorte, mais de façon très intuitive, le parcours des mathématiciens depuis Borel.

Nous voulons également préciser que cette section n'a aucune prétention à l'exhaustivité, d'abord le champ des mathématiques étant beaucoup plus vaste que ce

que nos maigres compétences nous permettraient de couvrir et, ensuite, ce mémoire de philosophie portant essentiellement sur le problème de la causalité en mécanique quantique tel qu'il apparaît dans le cadre de sa première version – celle qui, de l'avis même de Bohr, est, dans ces principes, achevé dès 1927 et dont le formalisme sera axiomatisé par von Neumann dès 1932 –, il n'était pas utile d'explorer les derniers développements de la théorie des groupes ou les dernières innovations en théorie de la renormalisation, par exemple. En fait, notre objet étant la mécanique quantique non relativiste, les problèmes mathématiques générés par l'élaboration de la théorie quantiques des champs, du modèle standard, des cordes ou des M-branes, sont ici hors de propos, bien que comme nous le disions au début de cette introduction, ces modèles ne semblent pas lever davantage les contradictions que certains reprochent à cette mécanique quantique.

Nous avons intitulé la conclusion de ce mémoire : *Complémentarité, symbole et dialectique en mécanique quantique*. Cela aurait pu faire l'objet d'un chapitre consacré à l'interprétation de Copenhague de la mécanique quantique et, plus particulièrement, aux éléments de réflexion que nous ont livrés W. Heisenberg et N. Bohr. Mais nous avons dû freiner nos élans faute d'espaces et de temps. Aussi nous contenterons nous d'esquisser en guise de conclusion le trajet que nous aurions pu suivre – de l'énoncé du principe d'indétermination de Heisenberg aux considérations sur l'appareil analytique que nous aurons explicitées dans le précédent chapitre – pour défendre la suggestion de Niels Bohr, i.e. l'introduction du principe de complémentarité qui nous semble répondre de la méthode transcendantale de Kant.

Nous ne croyons pas qu'il soit nécessaire dans le cadre de ce mémoire de nous attarder trop sur les objections d'Einstein et de ses successeurs qui dénoncent essentiellement le prétendu caractère incomplet de la mécanique quantique. [Cf. Einstein, Podolski et Rosen (1935)] En effet, la théorie des variables cachées qui a été élaborée dans la suite de ces objections et qui a donné lieu à l'énoncé des inégalités de Bell [Cf. Bell (1964)] ne semble pas donner de succès en laboratoire [Cf. Jauch

(1973), 101-102, n.1; Aspect (1985)]. Au contraire, toutes les expériences ont plutôt tranché en faveur du maintien de ce dualisme qui est défendu par l'interprétation de Copenhague.<sup>14</sup>

Quant aux autres interprétations possibles, telles que celle des univers parallèles [Cf. Zureck, Deutsch] ou celle des multi-univers mentaux (*many minds*) [Albert (1994)], il en sera encore moins question, ces interprétations étant à notre avis purement spéculatives, ne faisant intervenir que des *choses* dont, par définition, nous ne pouvons faire l'expérience. En fait, on pourrait même dire que ces autres interprétations ne sont que d'autres façons de dire *variables cachées*, mais d'une façon plus *cosmologique*.

Nous sommes conscients que nous éludons ainsi toute la perspective logicienne qui pourtant, ces dernières décennies, avait été favorisée par ceux qui ont bien voulu réfléchir au problème de la physique contemporaine. Nous n'abordons pas non plus le problème de l'interprétation statistique de la mécanique quantique ni, non plus, celui du statut ontologique des probabilités.

Plutôt nous avons résolument privilégié une approche conceptuelle et, ce, pour la une raison suivante : une lecture dialectique de l'ensemble des théories physiques nous permettrait peut-être un rapprochement plus explicite avec les autres disciplines scientifiques, mais aussi avec cet autre pan de l'expérience humaine qui trouve, entre autres, son expression dans l'éthique, la psychologie, l'anthropologie et le mythe, ces champs de l'expérience qui puisent dans un univers de représentations, qui s'exprime à travers un temps et un espace, même s'ils ne sont pas mathématiques<sup>15</sup>, et dans lesquelles nous pouvons également retrouver l'esprit de la dialectique.

---

<sup>14</sup> La dernière expérience en liste étant la préparation par méthode de confinement magnétique et/ou d'évaporation d'un nouvel état de la matière appelé condensat de Bose-Einstien, laquelle matière manifesterait simultanément cette double nature d'onde et de corpuscule.

<sup>15</sup> À propos, toutefois, d'une tentative de mathématisation des transformations du mythe, signalons les travaux de C. Lévi-Strauss et A. Weil. [Lévi-Strauss (1973, 1996)] et, pour sa bibliographie, J. Morava [Morava (2003)]

# 1 UNE THÉORIE TRANSCENDANTALE DE L'EXPÉRIENCE

*Sur la planète de la philosophie, toutes les terres sont depuis longtemps découvertes. Je feuillette les philosophes antiques et j'y trouve mes pensées les plus neuves.*

Alexandre Soljenitsyne<sup>16</sup>

*The development of the imagination process brings with it its advantages for organic life, especially the vegetative kind. However, if ideas outbalance sensation too far, drawbacks may result: the soul becomes a parasite on the body, consuming the oil of life (Herbart's phrase).*

Ernst Mach<sup>17</sup>

## 1.1 À PROPOS DU CONTEXTE D'ÉNONCIATION DE LA PHILOSOPHIE TRANSCENDANTALE

Bien qu'il se soit courageusement défendu contre le *spectre silencieux* du scepticisme, Kant n'aura pu échapper tout à fait à l'influence de cet esprit. Il ne succombera pas, bien entendu, à cette attitude de dérision qui laisse croire qu'aucune connaissance n'est possible et qu'on nommera le pyrrhonisme. Pourtant, il ne pourra pas non plus rejeter cette conclusion que, dans l'univers de la doctrine, sévit le vent de la discorde, cette *diaphonia* que nommaient déjà les Grecs.

Le scepticisme est une tradition riche, dont plusieurs sources renvoient au constat que la raison humaine, lorsque considérée dans l'ensemble de sa production, n'arrive pas

---

<sup>16</sup> *Le premier cercle*

<sup>17</sup> *Knowledge and Error*

à s'accorder sur une doctrine. C'est d'ailleurs ce désaccord de la raison qui poussera son fondateur présumé, Pyrrhon d'Élis, à défendre la nécessité de l'*epochè*, la suspension du jugement. [cf. Barnes (1990), ch.1; Conche, pp. 54] Cette *epochè* peut-être radicale, rejetant absolument tout pouvoir de connaître – c'est ainsi que semblait l'entendre Pyrrhon [cf. Diogenes Laertius, bk IX, 61-108] – ou ne se rapporter qu'aux discours qui prétendent atteindre l'absolu tout en admettant ceux qui reconnaissent leurs limites dans le conditionné ou le relatif – attitude qu'adoptera le scepticisme plus tardif et qui donnera entre autres les *Tropes d'Aénéside* [cf. Sextus Empiricus, bk I, ch. XIV] ou, des siècles plus tard, les écrits de Hume.

Or cette *diaphonia* était à l'époque de Kant comme elle est toujours aujourd'hui. N'évoquons à ce titre que les différentes théories du langage chères à une certaine philosophie analytique – de l'atomisme de Russell au holisme de Quine – exploitation d'un découpage métaphysique du sens dans une discipline qui pourtant, selon certains, se voudrait affranchie de la primauté de cette même métaphysique. Une autre partition de cette *diaphonia* sera jouée par les physiciens dès lors que les uns favorisent une vision atomiste de la réalité physique et les autres une vision *campiste*. Ainsi, les métaphysiciens ne s'entendent pas, chacun parlant une langue étrangère aux autres, parlant tous à la fois, faisant de la philosophie cette Babel d'après la ruine.

D'une certaine manière, Kant concevra le projet fantastique de rétablir l'harmonie par l'énoncé d'une méthode qui permettrait l'ouverture d'un *dialogue*. Cette méthode, il la nommera lui-même, mais une fois seulement, *méthode sceptique* [CRP, 428], concédant à l'esprit la justesse de son constat. Mais plus souvent, et peut-être pour ne pas retomber sous le coup de la menace pyrrhonienne, il en privilégiera une autre appellation, soit celle de *méthode transcendantale*.

Peu de commentateurs ont concédé à la philosophie transcendantale cette origine dans le scepticisme. Certes, on se rappellera cette confession inscrite dans les premières pages des *Prolégomènes* : « l'avertissement de Hume fut précisément ce qui, voilà bien des années, vint interrompre mon sommeil dogmatique, et donna une toute autre orientation à

mes recherches dans le domaine de la philosophie spéculative. » [Prol., 18] , mais l'école a plutôt tendance à joindre à cette confession cet autre extrait qui la précède de quelques pages : « il fit jaillir une étincelle avec laquelle on aurait pu allumer une lumière si elle avait rencontré une mèche inflammable (...) » [Prol., 15], mettant l'emphase sur l'emploi du conditionnel qui nie le succès effectif de cette entreprise.

Pourtant, si nous poursuivons l'investigation dans les pages de la *Critique de la raison pure*, nous constaterons que Kant ne fut pas satisfait de rejeter simplement les conclusions de Hume sur la nature illusoire de la notion de connexion nécessaire<sup>18</sup>. Dans le cadre de sa discussion sur le *fait des mathématiques pures*, Kant ne reprochera pas à Hume une sorte d'inconséquence dans la poursuite de son raisonnement, il déplore seulement que Hume n'ait pas poursuivi sa critique au-delà de cette unique catégorie qu'est la causalité, en somme, d'avoir abandonné trop rapidement. [Cf. *CRP*, 107, 176] En fait, Kant reconnaît au problème de la connaissance une portée beaucoup plus générale. Et nous en revenons à cette concession au scepticisme qui se situe en plein cœur du chapitre sur *L'antinomie de la raison pure*<sup>19</sup>. [*ibid.* 428]

Nous le disions, Kant se serait rangé pour une fois du côté des sceptiques en dénonçant le caractère *diaphonique* du discours métaphysique pris dans son ensemble. Comme les sceptiques, il voit dans la métaphysique un champ de bataille où des doctrines s'affrontent et dont la victoire ne dépend pas, en fait, de la justesse de l'une ou de l'autre, mais de la chronologie du débat : « *C'est aussi pourquoi des*

<sup>18</sup> D'après Hume la causalité n'est que le nom donné à notre habitude de lier des événements ensemble dans un rapport d'antécédence sans pourtant rien nous révéler de la nature de cette soi-disant connexion [cf. *EEH*, 127-146; aussi *CRP*, 95-96, 176].

<sup>19</sup> L'idée de consulter cette section de la *Critique* nous est venue suite à la lecture de la monographie de A. Bachta intitulée *L'espace et le temps chez Newton et chez Kant*. En effet, pour expliquer la genèse de la *Critique*, Bachta cite un extrait d'une lettre de Kant à Garve où l'on reconnaîtra la formulation utilisée dans les *Prolégomènes*, à une variation près : « *Ce n'est pas l'étude de l'existence de Dieu, de l'immortalité de l'âme qui fut mon point de départ, mais l'antinomie de la raison pure ... C'est cela qui me tira d'abord de mon sommeil dogmatique et me conduisit à la critique de la raison pure pour faire disparaître le scandale du conflit apparent de la raison pure avec elle-même.* » [Lettre à Garve datée du 21 septembre 1798 in Bachta (2002), 167] Rivelaygue signale aussi cette origine de la *Critique* dans la méditation des antinomies. [Cf. Rivelaygue (1992), 218]

*champions solides, qu'ils luttent pour la bonne cause ou pour la mauvaise. sont sûrs de remporter la couronne de la victoire dès lors qu'ils prennent seulement soin d'avoir le privilège de lancer le dernier assaut... » [CRP, 427] Ainsi là où le pyrrhonien croyait taire la querelle en se bouchant les oreilles, Kant propose que l'on se place au-dessus de cette cacophonie pour en comprendre les dissonances et que de cette compréhension émerge une nouvelle métaphysique. Ce projet fera poser à Kant un jugement encore plus radical décrétant, ailleurs, que « il n'existe encore à ce jour absolument aucune métaphysique » [Prol., 15], affirmant que la métaphysique ne pourra advenir qu'à la condition que l'on suive le programme énoncé dans la *Critique*.*

Mais ne précipitons rien et revenons à :

*Cette méthode qui consiste à se faire le spectateur d'un affrontement entre les assertions, ou plutôt à provoquer cet affrontement, non pour décider finalement de donner l'avantage à l'un ou l'autre, mais pour rechercher si l'objet n'en pourrait pas être un simple fantasme que chacun poursuit en vain et auquel il ne peut rien gagner, quand bien même nulle résistance ne viendrait s'opposer à lui, cette façon de procéder, dis-je, peut recevoir le nom de méthode sceptique. Elle est tout à fait distincte du scepticisme, principe d'une ignorance délibérée et scientifique qui sape les fondements de toute connaissance pour ne lui laisser disposer nulle part, autant qu'il est possible, d'une sécurité ni d'une assurance. (...)*

*Reste que cette méthode sceptique n'est essentiellement propre qu'à la philosophie transcendantale et qu'en tout cas on peut s'en passer dans tout autre domaine, sauf dans celui-là. [CRP, 428]*

De cet extrait, retenons deux éléments : d'abord il y est question de déterminer si l'objet supposé des assertions métaphysiques n'est pas fantasmatique: ensuite il y est stipulé que l'application de la méthode sceptique non seulement est légitime dans la philosophie transcendantale, mais que, de surcroît, elle y trouve son seul lieu. On pourra donc considérer la philosophie transcendantale comme une approche *apophatique* de la métaphysique. C'est-à-dire qu'il semble bien que Kant veuille déterminer l'objet de la métaphysique par une approche négative ou limitative comme

nous le suggère Philonenko dans sa discussion sur le sens du *noumène* chez Kant [Philonenko (1969), 129 *sq.*].

Nous avons donc là un objet et une méthode ou, plutôt, un sens et une direction, puisqu'il est plutôt malaisé de parler d'objet dans un contexte où, résolument, nous entrons dans le monde de l'impalpable, du sans contour, de l'inconditionné. En effet, on peut spéculer que Kant aura en tête l'idée suivante : *l'objet de la métaphysique n'est pas ceci ni non plus cela*, dans la mesure où les ceci et cela se réfèrent toujours à un conditionné, alors que la métaphysique veut rejoindre un absolu, lui, inconditionné. Aussi Kant devra penser le dépassement de ce conditionné en cernant le ou les modes du conditionnement<sup>20</sup>. Ce qui nous rappellera cette dernière pensée qu'accordait Wittgenstein à la philosophie : « *Er muss sozusagen die Leiter wegwerfen, nachdem es auf ihr hinaufgestiegen ist.* »<sup>21</sup> et qui lui fait conclure « *Wovon man nicht sprechen kann, darüber muss man schweigen.* »<sup>22</sup> [Wittgenstein (1921), 6.54: 7] L'échelle que Kant veut, lui, gravir a les pieds posés dans le monde empirique et, en décrivant cette échelle, Kant se trouve à définir les règles de ce monde, cette science qui nous permet de nous y retrouver et de le parcourir jusqu'à ses confins.

Contrairement aux philosophies dogmatiques chrétiennes dont le rationalisme pré-critique n'est qu'une figure, Kant ne rechercherait pas l'absolu par l'entremise d'une révélation du haut vers le bas, de l'absolu vers l'homme, mais il se pousserait vers cet absolu dans un mouvement *d'ascension introspective*, reconnaissant à chaque pas que la montée en dedans n'est pas terminée et que cette montée à l'intérieur est nécessaire<sup>23</sup>.

<sup>20</sup> Ici, nous nous référons toujours aux pages du commentaire de Philonenko mentionnées plus haut.

<sup>21</sup> « Il doit, pour ainsi dire, repousser l'échelle après y être monté. »

<sup>22</sup> « Ce dont on ne peut parler, on doit le taire. »

<sup>23</sup> Procéder à l'évocation de la philosophie transcendante comme d'une mystique, voilà encore une fois qui n'est pas courant. Pourtant, mais ce devrait faire l'objet d'un tout autre mémoire, l'esprit de Kant n'est pas sans générer des réminiscences *кусиennes*, peut-être même *eckartiennes*.

Ceci ne donne qu'un contexte possible de la philosophie transcendantale qui l'intègre au cœur d'une démarche humaine, d'une démarche qui se sait fragmentaire en relation à un *quelque chose d'autre* qui ne devrait pas être chosifié, mais qui espère s'enrichir du dialogue des antinomies.

Que nous dit, donc, cette philosophie de cette échelle et que nous nommerons plus prosaïquement *expérience humaine*? Parce que c'est là, nous semble-t-il, le but de la démarche kantienne : comprendre comment cette expérience peut générer un savoir, plus spécifiquement une science. Contrairement à un certain scepticisme qui, a sa façon, est frustré dans son rêve d'absolu et qui, ne pouvant l'atteindre, décide qu'il n'est pas, Kant acceptera de prendre au sérieux ce conditionnement, de lui donner une place de choix, une place au centre de la *structure subjective* et de faire de cette structure le levier de sa réflexion s'inspirant ainsi de la démarche copernicienne :

*Il en est ici comme avec les premières idées de Copernic, lequel, comme il ne se sortait pas bien de l'explication des mouvements célestes en admettant que toute l'armée des astres tournait autour du spectateur, tenta de voir s'il ne réussirait pas mieux en faisant tourner le spectateur et en laissant au contraire les astres immobiles. » [CRP, 78]*

Cette révolution, au risque de nous répéter, ne fut possible que grâce au constat humien que la notion de connexion nécessaire ne pouvait être dérivée dans son universalité des objets eux-mêmes. Généralisant donc la critique de Hume en prétendant la dépasser, Kant écrit :

*Dans la mesure où [Hume] ne peut aucunement s'expliquer comment il était possible que l'entendement se trouvât contraint de penser des concepts, qui ne sont pas liés en soi dans l'entendement, pourtant comme nécessairement liés dans l'objet, et parce qu'il n'eut pas l'idée que peut-être l'entendement, par ces concepts eux-mêmes, était l'auteur de l'expérience où se rencontre ses objets, il les dériva, contraint et forcé, de l'expérience (à savoir d'une nécessité subjective provenant d'une fréquente association dans l'expérience et tenue finalement à tort pour objective, c'est-à-dire de l'habitude); il procédant ensuite de façon très conséquente en déclarant impossible, avec ces concepts et les principes qu'ils font naître, d'aller au-delà des limites de l'expérience. Cela dit, la dérivation empirique à laquelle [Hume et Locke] recoururent tous deux ne peut accorder*

*la réalité des connaissances scientifiques a priori dont nous disposons, la mathématique pure et la physique générale, et elle est donc contredite par le fait. [CRP. 176]*

Ici, il ne faut pas se laisser abuser. L'utilisation que Kant fait du terme *expérience* est double. D'une part, il y a l'expérience comme observation et/ou manipulation, rencontre avec des objets existant réellement et indépendamment du sujet, sorte de révélation des choses; d'autre part, il y a l'expérience comme constitution de la représentation par le biais du schématisme et qui est définie au terme de la réflexion transcendante.

À la relecture de ce passage, nous constatons combien Kant est déjà investi par la démarche critique et combien nous, lecteurs, ne pouvons en comprendre le texte que si nous en avons déjà adopté la perspective. Il faut déjà, à notre avis, et pour comprendre ce court passage, réaliser que nous sommes en plein dialogue : Kant qui fait entendre la voix d'une structure universelle du sujet; ses interlocuteurs (qu'ils soient dogmatiques ou sceptiques) faisant entendre celle de l'objet, cette dernière s'affirmant (le dogmatique) ou s'anéantissant (le sceptique). Peu importe donc le passage de la *Critique* qu'il nous faudra commenter, nous aurons toujours à nous re-centrer – et nous insistons sur ce *re-centrer* qui indique un *mouvement* de la raison – sur cette structure de sujet qui se pense elle-même dans sa constitution et ses productions.

## 1.2 VERS UNE THÉORIE DE L'EXPÉRIENCE<sup>24</sup>

Dans l'introduction à la deuxième édition de la *Critique de la raison pure*, Kant pose d'emblée le primat de l'expérience, non pas dans un sens fondationnel où l'expérience constituerait le cœur logique de la connaissance, mais d'un point de vue évolutif tel que l'expérience nous donnerait le germe de la connaissance, le point de départ de son développement. L'expérience, par ailleurs, en tant que construit ne peut être le principe d'une déduction. La métaphore de l'arbre pourrait ici nous être utile : la semence (l'expérience) ayant été plantée, ce n'est que suite au développement de l'arbre (la connaissance) que nous pouvons comprendre, d'un, la structure du végétal, de deux, d'où provient cette semence. Mais bien entendu, on n'échappe pas ici à une forme de circularité. On partira donc du constat d'une connaissance (présumée) et on demandera comment s'est constitué ce savoir, à partir de quels présupposés, ce à rebours, partant de l'arbre pour en isoler le germe. La méthode en est ainsi expérimentale, certains diraient phénoménologique<sup>25</sup> ou réflexive.

*Que toute notre connaissance commence avec l'expérience, il n'y a absolument aucun doute; car par quoi le pouvoir de connaître devrait-il être éveillé et mis en exercice, si cela ne se produisait pas par l'intermédiaire d'objets qui affectent nos sens et qui, pour une part, produisent eux-mêmes des représentations, tandis que, pour une autre part, ils mettent en mouvement l'activité de notre entendement pour comparer ces*

<sup>24</sup> Dans cette section, nous avons privilégié les commentaires de Friedman (1992), Philonenko (1969) et Rivelaygue (1992). Il y a, bien entendu, une part d'arbitraire dans ce privilège accordé, mais lequel est tout de même motivé par la perspective que nous avons adoptée : il ne s'agit pas ici de décider si la philosophie transcendantale est vraie, mais d'utiliser cette philosophie en regard d'une certaine interprétation pour voir si elle ne nous permettrait pas de comprendre (ou d'articuler) une problématique de la physique contemporaine. Deux autres commentateurs seront mis à contribution plus tard dans notre développement. Il s'agit de Cassirer et Kojève.

<sup>25</sup> À ce sujet, Philonenko écrit : « *Ni constructive, ni psychologique, qu'est donc la méthode transcendantale? Elle est une description principielle des structures a priori de la connaissance. Pour autant que cette description consiste à « décomposer » la connaissance pour l'expliquer (au sens explicare) on peut l'appeler une analyse, qui, bien entendu, suit l'ordre des raisons. Mais cette description n'est pas une explication par la cause. Le « Je pense » n'est pas la « cause » de l'expérience – c'en est la structure principielle. En ce sens rien n'est plus simple que la méthode kantienne et Kant est bien moins éloigné de Husserl que celui-ci ne le pense. Car l'idéalisme critique consiste dans la description pure de l'essence de la connaissance en tant qu'elle rend l'expérience possible. Nous verrons comment le schématisme n'est transcendantal n'est intelligible qu'à titre de description pure » [Philonenko (1969), 121]*

*représentations, les relier ou les séparer, et élaborer ainsi la matière brute des impressions sensibles en une connaissance des objets, qui s'appelle expérience? En ce sens, d'un point de vue chronologique, nulle connaissance ne précède en nous l'expérience, et c'est avec celle-ci que toute connaissance commence.*

*Cela dit, bien que toute notre connaissance s'amorce avec l'expérience, il n'en résulte pas pour autant qu'elle dérive dans sa totalité de l'expérience. Car il pourrait bien se produire que même notre connaissance d'expérience soit un composé de ce que nous recevons par des impressions et de ce que notre propre pouvoir de connaître (simplement provoqué par des impressions sensibles) produit de lui-même – ajout que nous ne distinguons par de cette matière première avant qu'un long exercice nous y ait rendus attentifs et nous ait donné la capacité de l'isoler. [CRP, 93]*

Un tel départ ressemble étrangement à un acte de foi en ce qu'il pose l'hypothèse qu'il y a une telle chose que la connaissance. Nous devons nous replacer dans le contexte de la rédaction de la *Critique*. Les sciences mathématiques et physiques connaissent à l'époque un tel développement qu'on ne peut, à ce moment, remettre en question leurs succès. On a réellement l'impression que l'humanité a enfin accès à un savoir véritable, systématique et rigoureux, impression dont on trouvera une formulation dans le traité de Laplace dont il sera question dans notre prochain chapitre. [Cf. Laplace (1814), 4-5]

Les phénomènes commencent à trouver leur unité : par exemple, on peut non seulement décrire, mais prédire, tout un aspect du comportement des corps à partir des seules lois de Newton. Avec la théorie de la gravitation universelle, on a atteint un niveau de généralité tel qu'on peut tout espérer.<sup>26</sup> La physique devient ainsi le modèle de la science et on voudra calquer sa méthode pour déterminer ce que les autres champs de la connaissance humaine ont de scientifique. En tout cas, c'est bien ainsi que Kant pose le problème dans sa préface à la deuxième édition [cf. *CRP*, 74-

<sup>26</sup> Notons toutefois que Kant publie sa première *Critique* (1781) plus de quarante ans avant la parution de la *Théorie analytique de la chaleur* (1822) de Joseph Fourier où le physicien précise que la théorie de la gravitation universelle de Newton ne saurait rendre compte des phénomènes de diffusion de la chaleur, ces derniers nécessitant la mise en chantier d'un tout nouveau formalisme dont Fourier sera le premier contremaître. [*Discours préliminaire*, ij-ii]

76] et dont nous citerons un extrait que nous considérons comme particulièrement révélateur, Kant y dégageant l'idée de méthode scientifique :

[Les physiciens] *comprirent que la raison ne voit que ce qu'elle produit elle-même selon son projet, qu'elle devrait prendre les devants avec les principes qui régissent ses jugements d'après des lois constantes et forcer la nature à répondre à ses questions, mais non pas se laisser guider uniquement par elle pour ainsi dire à la laisse: car, sinon, des observations menées au hasard, faites sans nul plan projeté d'avance, ne convergent aucunement de façon cohérente vers une loi nécessaire, que pourtant la raison cherche et dont elle a besoin.* [CRP, 76]

Par l'application de cette méthode, l'être humain a donc accès à un savoir (ou le possède). Maintenant, il s'agit d'en dégager les principes par le moyen de la réflexion. Kant posera des hypothèses et tentera de les vérifier. En ce sens, sa méthode est scientifique. Mais l'objet de cette méditation n'est pas mesurable comme le poids d'un corps, sa position ou la durée d'un phénomène. Il s'agit ici de comprendre une faculté du sujet en ce qu'elle se manifeste au sujet. Kant prétend avoir donné au moment de la *Critique* un rapport complet dans la mesure où la raison étant l'apanage du sujet, elle se révélerait entièrement à lui. Ainsi, il suffirait de suivre les mouvements de la raison pour en découvrir les principes. Or le sujet qui se contemple lui-même, voilà bien ce qui constitue la réflexion [cf. CRP, 70] Et c'est là la véritable révolution kantienne : dire que la raison procède du sujet et non pas d'une quelconque adéquation avec un ailleurs, une objectivité. Le sujet s'étudie donc lui-même à travers la manifestation de ses facultés.

On peut, comme Hegel, critiquer cette approche. Hegel ne se satisfera pas des résultats de la *réflexion transcendantale*. Il accusera son fondement d'être tautologique, purement formel, dépourvu de toute substance, mais surtout de ne pas permettre à l'être humain le dépassement de sa finitude, le raccord de la rationalité au réel. [Cf. Renaut (1997)] D'une certaine façon, Heidegger ne procédera pas autrement, mais avec peut-être un peu plus de *révérence*, ne voulant accepter les précisions que Kant autorise dans sa deuxième version de la *Critique* afin qu'une

lecture de la primauté de l'imagination – sur l'expérience et le schématisme tout entier – soit préservée. On retrouvera ces débats résumés dans l'introduction que donne Alain Renaut à sa nouvelle traduction de la *Critique* [Cf. *CRP*. 13-23 et 38-47], ainsi que dans son essai intitulé *Kant aujourd'hui*.

Ces deux critiques qui diffèrent dans leur point de départ, néanmoins, récuse toutes deux le primat de l'expérience : Heidegger en privilégiant un moment du schématisme, i.e. la faculté d'imagination au détriment de la sensibilité, voire même de la raison, alors qu'il vaudrait peut-être mieux voir dans le schématisme la rencontre de la raison – dans une de ses limitations que serait l'entendement – et de la sensibilité dans un lieu créé de cette rencontre et qu'on appellera imagination (mais voilà peut-être une compréhension un peu trop contemporaine des choses); Hegel en persistant à donner à la déduction le pas sur la réflexion, ce qui en clair veut dire qu'il cherchait encore un principe duquel on puisse tirer l'expérience, mais qui ne peut être inféré de cette dernière. Un peu caricaturalement, mais si peu, Heidegger aurait voulu imaginer l'expérience, la créer de l'intérieur; Hegel aurait voulu qu'elle lui vienne comme une révélation d'un principe qui dépasse les capacités de l'homme. En somme, Hegel et Heidegger proposent deux approches transcendantes, mais non transcendantales, où l'être humain n'aurait plus à considérer dans l'équation de la connaissance le mode de son incarnation, lequel se traduirait par cette sensibilité et sa finitude [v. Renaut (1997), 29-30 cité plus bas], incarnation qui pourtant n'est peut-être pas son mode, mais tout simplement son fait.

Kant est beaucoup plus pragmatique. Il partira du fait que nous faisons des expériences et il voudra comprendre comment elles sont constituées, sous quelles conditions et sous quelles limites, comment nous les lions, à partir d'une espèce de consensus culturel, peut-être, faisant de l'épistémologie non plus une branche de la métaphysique dogmatique, mais de la science telle qu'elle est comprise dans sa dialectique d'accord et de désaccord, son moment réflexif; et ainsi faire de l'épistémologie le nouveau départ d'une nouvelle métaphysique non révélée, mais

approchée, sorte d'ontologie négative, comme nous le disions précédemment, où « *l'inconditionné ne devrait pas être trouvé dans les choses en tant que nous les connaissons (telles qu'elles nous sont données), mais en tant que nous ne les connaissons pas, comme chose en soi* » [CRP, 80; voir aussi Philonenko (1969), 125 sq.]. Cela dit, adhérer à une telle démarche, c'est accepter de se laisser emporter par la mouvance des sciences avec ce que cela comporte d'ajustement. Il s'agit donc de faire de la philosophie la compagne des sciences et sa principale interlocutrice, sans tyrannie ni esclavage.

En fait, si Hegel a bien décrit l'approche transcendantale, l'évaluation qu'il en fait peut être critiquée. Il y a dans la réflexion un moment d'abstraction qui semble échapper à Hegel. En effet, si nous partons de l'expérience que l'on fait de la temporalité – ce qui n'est pas encore le temps – c'est-à-dire de nos façons d'utiliser ce temps, selon ses représentations et son divers, on arrivera à l'idée de succession qui, elle, n'est pas une représentation au sens, par exemple, d'une production de l'arithmétique – en complément à la géométrisation qui, elle s'occupe principalement des modes de la juxtaposition, i.e. l'espace – , mais bien la possibilité de cette arithmétique. Comme l'écrit Philonenko :

*De la perception et de l'ensemble des jugements empiriques le philosophe dégage les structures de l'espace et du temps, qui, transcendantale comprise, sont les méthodes de la géométrie et de l'arithmétique et il observe que les phénomènes donnés dans l'intuition sensible sont conditionnés (bedingt) par ces formes ou ces structures (et en cette mesure même connaissables)(...) [Philonenko (1969), 127-128]*

L'idée de succession n'imposerait ni la notion de régularité ni celle de continuité, mais seulement celle d'une distinction entre un avant et un après dans l'ordre du changement.

Par cette abstraction, on dépasse donc la représentation, ici arithmétique, du temps pour en arriver à ce qu'on pourrait appeler son principe, la fonction arithmétique elle-même. Aussi l'accusation qu'Hegel porte contre la réflexion transcendantale – la *Critique* kantienne est tautologique – pourra être nuancée. En somme, la critique

hégélienne confondrait, mais elle n'est pas la seule, l'horloge et son principe. Pourtant, la succession n'est pas dans les secondes, mais dans la faculté de donner un ordre au changement. Le temps, ainsi défini, n'est pas une substance, mais la condition qui permet la *perception* du changement, la condition d'un processus lequel pourrait bien être *réception du donné sensible*. [Cf. CRP, *Esthétique transcendantale*] Nous reprendrons plus en détail cette discussion dans notre section sur le temps. Nous ne l'avons introduite ici que pour faire contrepoids à la critique hégélienne et pour dire que nous ne voyons pas en quoi la réflexion est ainsi tautologique lorsqu'elle réussit, en confrontant ses diverses expériences, à en isoler ce qui pourrait bien être une raison principale si ce n'est un principe universel.

Mais l'école hégélienne ne fut pas la seule à occuper le paysage de la philosophie post-critique. L'école de Marbourg avec Cohen et Cassirer constitue une autre interprétation possible du kantisme et on peut dire avec Renaut que :

*(...) ce dédoublement des modèles interprétatifs [n'offre] plus guère, par lui-même, l'occasion aujourd'hui de laisser le lecteur de Kant dans l'embarras. Pour un certain nombre de raisons bien établies (...), la saisie du criticisme comme anticipation inachevée de l'hégélianisme apparaît dépourvue de la rigueur philologique qui requiert désormais l'appréciation des philosophies : la proclamation explicite selon laquelle un « système de l'expérience » achevé est impossible n'est nullement l'effet simplement résiduel, chez Kant, d'une démarche qui n'aurait pas été jusqu'au bout de ce qu'elle visait, mais bien davantage s'impose-t-elle comme principielle – au sens où c'est l'Esthétique transcendantale elle-même qui, posant l'irréductibilité du concept et de l'intuition, met dès l'abord un terme, intrinsèquement et définitivement, à toute tentative pour assumer, dans le cadre de l'idéalisme critique, le projet d'une philosophie de l'identité entre réel et rationnel. Directement à l'encontre d'un tel projet, le kantisme occupe en fait l'espace d'une philosophie de la finitude, partant de l'impossibilité d'une clôture sur soi du discours philosophique : option qui fait d'ores et déjà de la philosophie transcendantale bien moins une anticipation inaboutie de l'achèvement hégélien du projet moderne de la rationalité que l'une des racines les plus certaines des philosophies contemporaines, telles qu'elles auront précisément en commun ce thème de la finitude radicale et de la non-clôture du discours.* [Renaut (1997), 29-30]

Kojève procède également à la comparaison du kantisme et de l'hégélianisme. [Kojève (1973), 17 sq.] Selon lui, tout reposerait sur la possibilité d'inclure ou pas la

chose en soi dans la sphère discursive. Hegel aurait reproché à son prédécesseur son « comme si » qui, il est vrai, fait obstacle à la clôture définitive du discours, puisque Kant maintiendra tout au long de sa *Critique* le caractère inconnaissable de la chose en soi, disant « chose en soi » comme la théologie négative utilise le vocable « Dieu » sans pour autant y verser un contenu doctrinal. En somme, les hégéliens auraient voulu forcer le criticisme dans une voie *concrète*, qualificatif qui leur est cher, semble-t-il, voie qui n'était absolument pas celle que voulait tracer ce même criticisme. Mais n'est-il pas curieux que ceux-là même qui dénoncent la tautologie chez Kant, prônent la circularité chez eux.

Au cœur de la théorie transcendantale de l'expérience, se trouve la notion de *représentation*. La représentation est déjà un complexe, c'est-à-dire qu'elle peut être analysée en ses éléments fondamentaux. À la lumière des sections suivantes, nous verrons que nous pouvons concevoir la représentation comme un processus de mise en forme, une construction faite au moyen de facultés élémentaires.

L'ensemble des représentations, qui sont les blocs de l'expérience, est ce qui, selon une *méta-structure* de représentations, cette architectonique kantienne [cf. *CRP*, 674 sq.], constituera la connaissance. Ceci n'est pas dit textuellement dans la *Critique*, mais on pourra l'inférer à partir de l'analyse d'une théorie scientifique. La connaissance se construirait ainsi sur plusieurs étages conceptuels ou plutôt s'organiserait en une espèce d'ensemble fractal, où les blocs élémentaires restitueraient, comme autant de fragments de miroir, la structure dont ils font partie.

En définissant l'expérience comme l'ensemble de nos représentations et les représentations comme le produit d'un schématisme (v. plus bas), Kant introduit d'emblée dans les éléments de l'expérience un germe de connaissance. L'expérience, au sens transcendantal, n'est pas un ensemble de stimulations chaotiques qu'on pourrait décrire comme le produit d'une pure sensibilité, mais s'inscrit d'ores et déjà dans une structure catégoriale. [V. extrait cité plus haut, *CRP*, 76] Est-ce dire que si notre usage des catégories venait à se modifier ou si les catégories elles-mêmes se

transformaient, notre expérience viendrait à son tour à changer de nature? Et si l'expérience elle-même venait, par un raffinement que nous ne pouvions anticiper, à nous imposer une reformulation de nos catégories, qu'advierait-il de nos représentations? En somme, mais nous anticipons peut-être un peu trop vite, une telle définition de l'expérience ne reviendrait-elle pas à laisser l'expérience ouverte?

Nous ne croyons pas que ceci contrevient à l'esprit du criticisme. Certes, Kant croit avoir achevé le moment de la critique, mais poser que l'ensemble de concept est fini et dénombrable, est-ce en avoir nécessairement exploré les limites? Si, comme une certaine façon de voir nous le permet, les catégories ne sont ni plus ni moins que l'ensemble des questions que l'humain peut poser à son univers, nous pourrions définir l'expérience comme l'ensemble des ces questions et les fragments de réponse qu'il en obtient pour ensuite les réunir et se former une idée d'ensemble du sens de cette réponse, idée qu'il baptisera théorie. Mais, n'en déplaise à Kant, il n'est pas exclu que nous puissions formuler des questions d'autres types. Seulement peut-être que, collectivement, nous n'en avons pas encore eu l'idée ou que certaines questions n'ont pas encore reçu l'approbation des académies.

Dans la *Critique*, Kant distingue deux moments de la constitution des représentations. Le premier est nommé *Esthétique transcendantale* et a pour objet notre intuition sensible ou notre capacité de recevoir le donné sensible; le second, nommé *Logique transcendantale*, se rapporte à l'entendement, notre faculté de penser. Kant stipule d'entrée de jeu qu'il n'accorde aucune primauté à l'un ou l'autre de ces moments, puisque, écrira-t-il, « *sans la sensibilité aucun objet ne nous serait donné, et sans l'entendement, aucun ne serait pensé. Des pensées sans contenu sont vides, des intuitions sans concepts sont aveugles. (...) C'est seulement dans la mesure où ils se combinent que peut se produire de la connaissance.* » [CRP, 144] Cette façon de poser la connaissance met un frein à toute tentative de spéculation *éthérée*. Elle nous oblige à penser quelque chose, un contenu. Mais le frein kantien est encore plus

radical : l'intuition qui remplit le concept est d'abord sensible<sup>27</sup> en opposition à cette autre intuition dite intellectuelle<sup>28</sup>, qu'il ne nie pas, mais dont il doute qu'elle appartienne à l'être humain. [Cf. *CRP*, 141]

En fait, Kant rattache l'intuition intellectuelle aux idées de « spontanéité » et d'« *originarité* » (ce qui est originaire) [Cf. *CRP*, 141]. Philonenko parle, lui, d'une « *intuition qui crée son objet* » . [Philonenko (1969), 129] Cette dernière forme d'intuition doit se produire sans la médiation des formes et des concepts, en dehors de l'entendement d'une part, donc de la science. Cette intuition n'est pas pour Kant le fondement de la connaissance telle qu'elle est pensée par l'être humain.

<sup>27</sup> Notons que chez Kant, l'intuition sensible est un attribut de tous les êtres humains, si toutefois il ne doit pas en être inféré que tous les êtres en soient pourvus. [Cf. *CRP*, 133-134]

<sup>28</sup> Notons qu'en Occident, on compte cinq sens, lesquels sont tous tournés vers ce qu'on pourrait appeler une extériorité. En Orient, on introduit un sixième sens, le *manas* (traduit en anglais par *mind*, en français par *esprit*), lequel, bien que de même statut que les cinq autres, est un sens interne. Ainsi, en Orient, l'intellect n'est pas une faculté transcendante, rattaché à une réalité imperceptible bien qu'intelligible, lui aussi perçoit dans l'ordre du phénoménal et seulement dans cet ordre, ce que les indiens appelle la *maya*.

Dans les *Upanisads*, on stipule, souvent en introduction de ces textes sacrés, que la connaissance ultime (*parajnâna*) n'est pas de l'ordre de l'intellect, mais du soi (*atman*), lequel est inconditionné. L'intellect qui, lui, est toujours conditionné, n'aurait accès qu'à l'*aparajnâna*, la connaissance relative ou secondaire. Selon les auteurs des *Upanisads*, ces textes eux-mêmes ne sont que des discours appartenant à ce deuxième type de connaissance, l'*aparajnâna*, et ils sont du même ordre que la rhétorique, l'astronomie, la politique, etc. D'ailleurs le yoga, dont le but semble être l'union ou la résorption de l'*atman* dans le *brahman* (réalité) ne prend pas le chemin du réveil et du développement de l'intellect, mais souhaite bien plutôt la suspension de sa production comme nous l'annonce d'entrée de jeu Patanjali dans les premiers versets de son *Yogasutra* : « *Le yoga est l'art de suspendre les états mentaux (vrtti)*. »

Dans le cadre de la tradition occidentale, on donne à l'intellect une lecture platonicienne qui nous oblige le plus souvent à un dualisme que nous ne dirions pas inconnu en Orient, le samkhya défendant une telle position, mais qui n'est pas considéré comme l'unique façon de concevoir l'intellect. Nous écrivons cette note parce que nous sommes conscients que notre connaissance des théories philosophiques orientales, et en particulier indiennes, colore notre compréhension de la philosophie en général, occidentale en particulier. Ce qui dans la tradition occidentale semble poser problème, comme l'idée que la connaissance ne peut, dans le discours, que se référer à l'empirie, ne constitue pas véritablement un obstacle du point de vue oriental, de sorte que pour l'oriental il est difficile de comprendre, et même de prendre au sérieux, toutes ces difficultés générées par cette supposée distinction entre intuition sensible et intuition intellectuelle. Pour l'oriental, la réalité ultime n'est pas le logos, la réalité n'est pas une rationalité, même si dans ses manifestations (cette *maya*), elle peut être rationalisée. Tout comme chez Kant, d'ailleurs, la réalité est inconditionnée. Cette similitude entre la métaphysique kantienne et tout un pan de la philosophie orientale fait qu'il est fort tentant de donner une lecture orientalisante au système kantien. D'ailleurs, Kant ne croit pas que l'intelligible (l'intuition intellectuelle) soit l'apanage de l'être humain, mais bien de l'être suprême. [Cf. *CRP*, 141] Par souci d'honnêteté, il nous fallait avouer notre biais.

Encore une fois, le point de départ de la réflexion critique sur l'expérience est le fait de la science et, plus spécifiquement de la science physico-mathématique. [Cf. *CRP*, 176 précédemment cité] C'est donc à partir de ce fait que Kant construit sa théorie de la connaissance. Et si, peut être appelé *connaissance* un discours qui déborde des théories physico-mathématiques, ce sera toutefois à partir de la définition de ce premier savoir qu'il pensera les conditions du second.

Pourtant et même si la physique connaît alors des développements fulgurants, il y subsiste des espaces de paradoxe. L'originalité de Kant, ce qui fait qu'il n'est pas qu'un vulgarisateur de cette science, consiste en ce qu'il a voulu donner un sens à ces lieux où la philosophie naturelle semble se contredire. En effet, M. Friedman place dans l'espoir de réconcilier les physiques de Leibniz et de Newton le moteur principal de l'entreprise kantienne. Il écrit :

*Much of Kant's philosophical development can be understood, I think, as a continuous attempt (...) to construct just such an apparently paradoxical reconciliation of Newtonian and Leibnizean-Wolfian ideas, and to construct thereby a genuine metaphysical foundation for Newtonian natural philosophy.* [Friedman (1992), 4]

Au cœur de cette philosophie naturelle, Kant retrouve les notions d'espace et de temps, où déjà se situe une des formes de ce paradoxe et dont la résolution amorce la première étape de la *Critique de la raison pure*, l'élaboration d'une *esthétique transcendantale*.

*Toute l'Esthétique [transcendantale] affronte pour les dépasser conjointement la conception leibnizienne et la conception newtonienne de l'espace et du temps. Leibniz avait soutenu qu'espace et temps ne sont pas réels, mais correspondent à des idées confuses de l'imagination : en ce sens, la position leibnizienne défendait l'«idéalité» de l'espace et du temps – par opposition à quoi la thèse newtonienne, faisant de l'espace et du temps des cadres en soi où se jouent les relations entre les substances, était celle de leur «réalité». Tout ce développement élabore en quelque sorte une solution critique de cette quasi-antinomie entre idéalisme et réalisme, consistant à soutenir que la thèse et l'antithèse sont toutes deux vraies à leur manière, puisque l'espace et le temps sont dotés d'une réalité (empirique) et d'une idéalité (transcendantale).* [Renaut in *CRP*, 698, n. 50]

Est-ce dire que nous retrouvons dans cette *esthétique* un premier énoncé de la dialectique, alors qu'au départ, nous avons crû que cette dynamique de la connaissance ne se dévoilerait qu'à travers la saisie des catégories? Renaut ne parlant ici que de la résolution d'une *quasi-antinomie*, peut-être devons-nous nous contenter d'évoquer une *quasi-dialectique*, nous demandant s'il existe une autre façon de nommer cette sorte d'indécision sur le statut ontologique de l'espace et du temps?

Ni concrets ni idéaux, l'espace et le temps sont pourtant les *instruments d'une réelle structuration de la sensation*, c'est-à-dire d'un processus, comme une version constructiviste de la géométrie nous le laisse entendre. [v. chap. 2] L'intuition sensible devient elle-même active dans son attitude de réceptivité. Ce point de réflexion doit pourtant rester à ce stade embryonnaire. Nous ne l'avons mentionné que parce qu'il a surgi et que l'idée n'est peut-être pas sans promesse.

### ***1.3 L'ESTHÉTIQUE TRANSCENDANTALE : L'ESPACE ET LE TEMPS COMME PRINCIPES DES MATHÉMATIQUES***

L'analyse transcendantale de l'expérience portera d'abord sur la constitution des représentations. Comme mentionné plus haut, la représentation (ces éléments de la connaissance) est à la fois forme et contenu. Pour les besoins de l'analyse, cependant, le moment de l'*esthétique transcendantale* est consacré à une tentative de définir cette forme de l'expérience, son intuition, comme entièrement détachable de sa matière (la sensation). Afin d'en arriver à cette définition, Kant procédera par abstraction, considérant l'ensemble des représentations concrètes pour en tirer la forme générale.

D'entrée de jeu, Kant définit une série de notions qui lui permettront l'élaboration de son esthétique transcendantale et que nous donnons ci-après :

- **Esthétique transcendantale** : science de tous les principes de la sensibilité *a priori*; première partie de la théorie transcendantale des éléments où sera isolée la sensibilité de l'entendement (i.e. usage des concepts) pour ensuite isoler l'intuition empirique de la sensation et finalement en dégager la forme des phénomènes, i.e. l'espace et le temps.
- **Intuition** : moyen par lequel une connaissance se rapporte à des objets, laquelle n'intervient que dans la mesure où ces objets sont donnés, ce qui est possible parce qu'ils affectent l'esprit sur un certain mode.
- **Sensibilité** : capacité de recevoir des représentations via l'intuition
- **Sensation** : effet produit par un objet sur la sensibilité
- **Intuition empirique** : intuition qui se rapporte à un objet à travers la sensation
- **Phénomène** : objet indéterminé (qui n'est pas subsumé en tant que représentation sous un concept) d'une intuition empirique
- **Matière du phénomène** : sensation
- **Forme du phénomène** : fait que le phénomène peut être ordonné selon certains rapports
- **A priori** : qui n'est pas donné via la sensation ou l'expérience sensible
- **A posteriori** : qui ne peut être que donné par la sensation
- **Pure** : représentation dans laquelle rien n'appartient à la sensation
- **Forme pure de l'intuition sensible** : se trouve *a priori* dans la *mens*, où tout le divers des phénomènes est intuitionné selon certains rapports: l'étendu et la figure.

Précisons que cette énumération suit exactement l'ordre d'énoncé des différentes notions [CRP, 117-118], séquence qui transcrit le processus même d'abstraction des formes de l'intuition sensible à partir du fait que des objets affectent l'esprit ou, de manière encore plus générale, que nous ayons des sensations, ces sensations étant entendues au sens habituel : couleurs, tons, chaleur [cf. CRP, 120]. Si Kant considère la sensation comme « l'effet d'un objet sur la sensibilité », cet objet n'est pas encore défini et, avançons même, que ce mot d'objet utilisé dans ce contexte sera bientôt

abandonné au profit de la notion de chose-en-soi, car plus tard, la notion d'objet sera associée à une construction inachevée d'un quelque chose approché par la synthèse de l'expérience, ce fameux  $= X$  [CRP, 185] qui aurait peut-être suscité moins de commentaire s'il avait été écrit  $\rightarrow X$ .

D'ailleurs dans le dernier paragraphe de l'introduction de l'*Esthétique transcendantale*, Kant résume le projet :

*Dans l'Esthétique transcendantale, nous isolerons donc d'abord la sensibilité, en séparant tout ce que l'entendement y pense par concepts, de façon qu'il ne demeure plus que l'intuition empirique. En deuxième lieu, nous en détacherons encore tout ce qui appartient à la sensation, de façon qu'il ne demeure rien que l'intuition pure et la simple forme des phénomènes – seule dimension que la sensibilité peut fournir a priori. De cette recherche se dégagera qu'il y a deux formes pures de l'intuition sensible comme principe de la connaissance a priori, savoir l'espace et le temps, de l'examen desquels nous allons maintenant nous préoccuper.* [CRP, 119]

Comme le note J. Rivelaygue :

*Kant parle ici d'« exposition », et non pas de déduction, car l'espace et le temps ne sont pas des concepts que l'entendement constitue. (...) Au contraire, l'espace et le temps sont des représentations que l'on ne construit pas à partir de règles, mais qui précèdent le travail de l'entendement et sont déjà là avant que le travail ne commence. On ne peut donc qu'exposer les concepts que nous nous en formons après coup (...) – ce qui, bien sûr, ne signifie pas que l'espace et le temps soient en eux-mêmes des concepts, mais simplement qu'on peut, pour les penser, s'en former un concept : il s'agira ici d'exposer ce concept, c'est-à-dire d'exposer ce que nous entendons par espace et par temps – ce qui précisément, nous montrera que l'espace et le temps ne se ramènent pas à ce que nous pensons, ne se ramènent pas à des concepts.* [Rivelaygue (1992), 76-77]

Dans le cadre de cette exposition, Kant pose d'abord l'espace comme forme externe de l'intuition sensible, alors que le temps en sera la forme interne. [Cf. CRP. 119] L'espace est défini comme faculté de se représenter les objets comme extérieurs à l'esprit. « C'est en lui que leur figure, leur grandeur et les relations réciproques qu'ils entretiennent sont déterminés ou déterminables. » [CRP, 119] L'esprit, par sa faculté de

spatialiser, déploierait devant elle les objets et, de là, serait rendu possible la géométrie.

La détermination du temps comme forme interne nous semble, toutefois, plus étrange. Kant écrit : « *Le sens interne, par l'intermédiaire duquel l'esprit s'intuitionne lui-même ou intuitionne son état intérieur, ne fournit certes pas d'intuition de l'âme elle-même comme objet; simplement s'agit-il pourtant d'une forme déterminée sous laquelle l'intuition de son état interne est seulement possible.* » [ibid.] Si Kant définit l'espace directement comme possibilité de déterminer les objets dans leur caractéristique d'étendue (figure et grandeur) et de positionnement les uns par rapport aux autres (relations réciproques), il ne rapporte pas directement le temps à cette possibilité d'une caractérisation de l'existence des objets dans une autre dimension. Le temps, ici, indique d'abord une sorte de conscience des modifications mêmes de l'esprit. On sent déjà se tracer le spectre d'une hétérogénéité entre l'espace et le temps.

De la définition de l'espace, la possibilité de la géométrie nous saute aux yeux du moment que nous pensons à *tracer les rapports entre les figures, les grandeurs et les relations*. Mais la possibilité de penser l'arithmétique à partir de la définition du temps comme *permanence de la conscience* ne nous apparaît pas aussi directement. Et de fait, Friedman relève cette difficulté. Elle est pour nous d'importance, car il s'agit en bout de piste de comprendre comment l'espace et le temps (et plus tard la causalité) apparaissent dans les théories physiques, partant de l'idée que la géométrie et l'arithmétique sont au cœur de ce langage dans lequel s'expriment ces théories. Au sujet de la dérivation de l'arithmétique à partir du temps, Friedman écrit donc :

*As all careful writers on the subject have observed, Kant does not in fact say that arithmetic stands to time as geometry does to space. In the Transcendental Aesthetic, §5 (The Transcendental Exposition of the Concept of Time) correspond to §3 (The Transcendental Exposition of Space), where the synthetic a priori knowledge of geometry is explained in terms of pure intuition of space. In §5, however, arithmetic is not mentioned; instead, the synthetic a priori science whose possibility is explained by the pure intuition of time is identified as "the general doctrine of motion" (B49) The same idea is found in the Inaugural Dissertation (...) and in the Prolegomena, §10: "above al, however, pure mechanics can attain its concepts of motion only by means of the*

*representation of time*” (4, 283.17-21). *The science of time, for Kant, is therefore not arithmetic, but rather pure mechanics or the pure doctrine of motion.* [Friedman (1992), 105]

Cette remarque trouvera écho plus loin dans notre argumentation lorsqu’il sera question du statut du temps dans la théorie quantique non-relativiste. [v. chap. 2]

Revenons néanmoins à la notion d’espace comme sens externe. L’extériorité nous fait d’abord penser à quelque chose qui n’est pas incluse dans une frontière, cette dernière définissant ce qui est à l’intérieur. Or, cette frontière, c’est le *moi*, comme il apparaît au premier point de l’exposition métaphysique de l’espace lorsque Kant écrit : « *pour que certaines sensations puissent être rapportées à quelque chose (...) en dehors et à côté de moi* » [CRP, 120] On peut donc dire que l’espace est cette façon de percevoir la modification du *moi* comme générée par quelque chose qui n’est pas *moi*, car autrement, il faudrait penser cette perturbation comme un mouvement interne de ce *moi*, laissant le champ libre au solipsisme<sup>29</sup>.

À propos de l’intériorité du temps, Kant précise plus loin : « *le temps n’est rien d’autre que la forme du sens interne, c’est-à-dire l’intuition que nous avons de nous-mêmes et de notre état intérieur.* » [CRP, 128] Encore une fois, c’est par rapport à ce *moi*, ici généralisé par le *nous-mêmes*, pris comme conscience, que se définirait le temps.

Mais, nous le disions, cette façon de dire l’espace et le temps n’est pas sans comporter certaines difficultés. Ces formes semblent abstraites du fait que nous percevons des perturbations dans notre conscience et que par leur introduction nous trouvons une sorte d’explication de ce divers – la sensation est générée par quelque

<sup>29</sup> Or le solipsisme ne fait que déplacer le problème en ce qu’alors le changement serait entièrement contenu dans ce *moi* et qu’il faudrait alors qu’il ne soit pas homogène, i.e. qu’il aurait une structure expliquant son auto-différentiation, le *moi* acquérant ainsi une dimensionalité – nous sommes tentée d’écrire « une spatialité » – il serait en quelque sorte étendu et fragmenté, intégrant cet *autre* en lui-même, et, finalement, ce serait la conscience qui s’aliénerait à elle-même et qui devrait faire le sacrifice de son unité. Aussi, on peut se demander si c’est vraiment là une solution plus économique?

chose hors du *moi* et elle est suivie par (succession) ou simultanée à cette autre sensation –, mais que faire, *a contrario*, du fait de nous rêvions?

On peut très bien se construire des images mentales faisant intervenir une spatialité sans pour autant que cette spatialisation, le fait que l'image ait une extension, fasse référence à une extériorité par rapport au *moi*. Mais peut-être est-ce là une façon trop classique de raisonner, posant l'extériorité comme un lieu réel en dehors du lieu de ma conscience et la confondant à ce dont Philonenko dit pourtant qu'elle désigne chez Kant « *l'être autre de la pensée, ce qu'elle ne peut saisir et qui est pour elle un néant,* » [Philonenko (1969), 107; cf. *CRP*, A292]; et dont on pourrait dire qu'on ne lui prête de l'être que par principe de charité.

Si plutôt que de nous acharner sur le problème de l'extériorité, nous interrogeons le temps, espérant que par analogie, ce traitement nous donne une autre perspective sur la question. Kant justifie l'intériorité par la nécessité (logique) de pouvoir dire d'une chose qu'elle est A pour un temps  $t$  et non-A pour un temps  $t'$  différent de  $t$  [cf. *CRP*, 127; v. aussi Rivelaygue (1992), 80], contrecarrant ainsi le principe de non-contradiction sans pour autant l'anéantir, puisque, alors, il ne resterait applicable que dans le cas de propositions simultanées se référant à un même objet. La succession (ou temporalité), nous permettrait de sortir du mode ontologique à *la Parménide* pour aborder le mode du devenir<sup>30</sup>. La notion d'intériorité serait alors à définir comme le fait de l'attribution d'une caractéristique inhérente à l'objet, i.e. dans l'objet, alors que dans un *mouvement analogique*, si l'expression nous est permise, l'espace devient cette possibilité de dire pour un même temps « ceci n'est pas cela » ou « ceci est distinct de cela » ne pouvant penser la distinction qu'en plaçant les impressions dans des *lieux différents*, côte à côte, faisant en quelque sorte écho (un écho inversé) au raisonnement de Leibniz sur les indiscernables.

<sup>30</sup> On trouvera dans la thèse d'A. Schopenhauer intitulée *la Quadruple racine du principe de raison suffisante* (1814, 1847) des arguments nous permettant d'étayer ce type d'interprétation.

Dans sa section sur la *première analogie de l'expérience*, Kant reviendra sur le problème de l'espace et du temps, associant le temps au substrat (comme permanence) d'une certaine conscience [cf. *CRP*, 253 sq.; Philonenko (1969), 206 sq.], l'espace n'étant plus qu'une caractéristique de ce même esprit [cf. *ibid.* 119]. Kant pose ainsi le problème de l'hétérogénéité de l'espace et du temps, non pas comme deux dimensions irréductibles, pourtant nécessaires autant l'une que l'autre au déploiement des représentations, mais comme notions hiérarchisées. *Substantialisant*, pour l'argument, l'espace et le temps, nous pourrions penser l'espace comme accident de la temporalité, l'espace comme prédicat du temps, donnant ainsi une primauté ontologique au temps sur l'espace et, dans un mouvement d'une extrême radicalité, donner à la temporalité le pas sur tout ce dont l'espace rend compte, ouvrant la voie, finalement, à la philosophie d'un Heidegger, son *Être et temps* devenant le texte de cette poussée radicale.

Cependant, et pour revenir à l'objet premier de ce mémoire qui, pour être dit d'une autre manière, est la mise en place des mécanismes de la mathématisation de l'expérience physicienne, cette façon de donner primauté au temps sur l'espace reviendrait, pour certains, à privilégier l'arithmétique sur la géométrie – encore que, nous l'avons vu, ce n'est pas l'arithmétique, mais la cinématique que Kant associe au temps –, une tentation à laquelle nous ne voudrions pas succomber trop rapidement, d'autant plus que dans les théories relativistes, le clivage entre espace et temps n'est pas aussi évident, pour ne pas dire qu'il s'estompe tout à fait et que, en fait, c'est la géométrie qui semble y prendre le devant<sup>31</sup> et qu'en mécanique quantique certaines relations mathématiques – l'équation de Schrödinger par exemple – sont indépendantes de la variable du temps ou ne la fait pas intervenir directement. [cf.

---

<sup>31</sup> Ce qui n'est peut-être qu'une apparence, car, si les variables de temps et d'espace sont ici traitées sur un même plan, les théories relativistes font intervenir l'idée de mesure, et c'est peut-être là qu'il faudrait penser la primauté de l'arithmétique si nous tenons vraiment à l'idée d'une hiérarchie dans l'univers mathématique. Toutefois, nous pourrions objecter que la relativité ne propose qu'une des interprétations possibles des formalismes invariants sous transformation de Lorentz et que le problème d'une métrique faisant intervenir des nombres imaginaires n'a pas été suffisamment considéré.

chapitre 2] Notons d'ailleurs qu'en mécanique quantique le temps (noté  $t$ ) n'a pas le statut d'observable [cf. Cohen-Tanoudji (1977)].

Mais, nous préférons pour le moment porter notre attention sur ce qu'il y a de commun à l'espace et au temps en prenant la liberté de procéder à un collage des deux expositions afin de rendre compte de leur parallélisme. À ce titre, et comme le souligne J. Rivelaygue, les arguments de Kant visent essentiellement deux choses: démontrer que ces formes ne sont pas les produits d'une expérience empirique, mais la précède; et qu'elles ne sont pas des concepts au sens d'une construction de l'entendement. [Cf. Rivelaygue (1992), 77 sq.]

### 1.3.1 Exposition métaphysique de l'espace et du temps

Reprenons donc les grandes lignes de cette exposition<sup>32</sup> :

- 1) *L'espace et le temps ne sont pas des « concepts empiriques tirés des expériences quelconques, car, pour que certaines sensations puissent être rapportées à quelque chose (...) en dehors et à côté de moi [comme existant dans un même temps (simultanéité) ou dans des temps différents (succession)], (...) il faut qu'intervienne déjà, à la base, la représentation de l'espace [et du temps intervenant a priori comme fondement]. »;*
- 2) *Ils sont des représentations a priori, car, si on ne peut se représenter des objets hors de l'espace et du temps, on peut se représenter un espace et un temps vides;*
- 3) *À propos du temps, Kant ajoute que c'est sur la nécessité de son caractère a priori que se fonde aussi la possibilité de principes apodictiques à propos des rapports temporels ou des axiomes du temps en général;*
- 4) *L'espace et le temps ne sont pas des concepts discursifs universels, car il n'en existe pas plusieurs représentations, mais une seule, alors que les concepts de l'entendement, eux, subsument une multiplicité de représentations, et donc, l'espace et le temps sont des formes de l'intuition sensible;*
- 5) *Ils sont en outre des grandeurs infinies en ce que, si, en elles, on donne des bornes aux représentations des phénomènes, elles ne sont pas bornées elle-mêmes. [CRP, 120-121 (pour l'espace) et 126-127 (pour le temps)]*

<sup>32</sup> Nous avons mis en italique ce qui suit, car nous y retrouvons, sous une forme abrégée, les formulations même de Kant.

Dans le cadre de cette exposition, Kant n'en dit pas plus. En fait, il faudrait peut-être retourner à ses écrits pré-critiques<sup>33</sup> pour en retrouver les raisons, les éléments de réflexion qui lui font poser dans la *Critique* ces hypothèses métaphysiques de façon si péremptoire, sans plus d'explication. Certes, l'exposition transcendantale qui la suit se veut une telle explication, mais, si elle apporte certaines précisions sur ce qui précède, nous ne sommes pas sûrs qu'elle contient les arguments suffisants pour nous persuader que l'espace et le temps sont en effet *a priori* sans plus. Friedman relève d'ailleurs ce problème. [Cf. Friedman (1992)] Parce que Kant refuse de considérer le problème de l'origine des concepts et des formes, laissant aux psychologues cette tâche, il est obligé de laisser entendre qu'un esprit mûr et adulte est le dépositaire de telles facultés et qu'une fois atteint ce stade ultime de leur formation, elles ne peuvent être dépassées dans leur pouvoir.

Du premier argument, qui en somme a fait l'objet du précédent commentaire sur le couple extériorité/intériorité et qui, finalement, nous amenait au problème de la conscience, nous n'en dirons pas plus, si ce n'est à propos de l'utilisation du mot « représentation » qui surprend à ce stade de l'exposition. En effet, la représentation est définie de façon transcendantale comme le résultat d'un schématisme, i.e. la synthèse dans l'imagination du divers donné à la sensibilité au moyen des modes de liaisons catégoriales rendue possible par la médiation de l'espace et du temps. [Cf. *CRP*, 225] Le mot « représentation » ne devrait donc pas ici se référer à cette production du schématisme, car ce schématisme reposerait sur cette représentation et il nous faudrait alors comprendre que ce sont des représentations qui sont aux fondements des représentations.

Pourtant cette façon de considérer l'espace et le temps n'est peut-être pas tout à fait incohérente dans un cadre réflexif même si elle peut paraître décevante d'un point de vue déductif. Si en effet on considère l'espace et le temps comme des représentations

---

<sup>33</sup> Rivelaygue signale que le premier point de cette exposition ressort déjà dans la *Dissertation de 1770*. [Cf. Rivelaygue (1992), 77]

fondamentales, des représentations qui serviront de référence à toutes les autres, qui reçoivent toutes les impressions, alors elles deviennent les éléments de comparaison ou d'analogie de toutes les représentations, comparaison et analogie dont le processus sera dicté par la logique des catégories.

Le deuxième argument va dans le sens de notre précédente interprétation en ce qu'il stipule que l'espace et le temps sont des représentations nécessaires *a priori* qui sont à la base de toutes les intuitions. Kant ajoute qu'on ne peut « *construire une représentation d'un objet* » selon laquelle il n'y aurait pas d'espace et/ou de temps, bien que nous puissions nous construire des représentations de l'espace et/ou du temps sans objets, i.e. vides<sup>34</sup>. [Cf. *CRP*, 120, 126] C'est probablement cette possibilité qui nous sera la plus utile pour la suite de notre réflexion sur les théories physico-mathématiques.

Dans le cadre du troisième argument, Kant ajoute que le caractère *a priori* du temps (mais peut-être aurait-il pu dire la même chose de l'espace) garantit le caractère nécessaire (apodictique) des jugements qui en seront tirés. Ce que nous en comprenons, c'est que cette *a priorité* du temps – l'hypothèse que ce temps est antérieur à toute expérience et en constitue le point fixe (la conscience étant le témoin permanent, doit-on comprendre immuable, de l'expérience) –, impose sa propre structure aux jugements.

Les deux arguments suivants concernent le caractère soi-disant non conceptuel de l'espace et du temps. Kant parle d'abord de l'unicité de la représentation de l'espace et du temps. Or c'est, semble-t-il, cette assertion même qui a fait tomber le criticisme en désuétude comme nous le suggère Friedman. [Friedman (1992), xii]

Bien qu'au départ, Kant critique les fondements métaphysiques des théories de Newton, Leibniz et Descartes, il ne semble pas voir la possibilité de critiquer tout

<sup>34</sup> Rivelaygue anticipant sur l'exposition transcendantale explique que l'espace et le temps doivent aussi être considérés comme *a priori* pour conserver le caractère *a priori* de la géométrie et de l'arithmétique (à laquelle le commentateur adjoint la cinématique). [Cf. Rivelaygue (1992), 77-78]

autant les langages formels (mathématiques) qui ont été construits pour rendre compte de ces métaphysiques. Ici, il semble que c'est la vision du physicien qui a inspiré le mathématicien et non, à l'inverse, ce dernier qui aurait imposé ses formes au premier. [Friedman (1992), ch. I, sect. II] Newton, comme Leibniz et Descartes, avait besoin d'un langage – ou, à tout le moins, du raffinement d'un langage – pour exprimer ses intuitions, pour les communiquer. En somme, ce que nous pourrions reprocher à Kant, c'est de n'avoir pas vu que les représentations géométriques, comme arithmétiques, privilégiées par ces physiciens étaient fort possiblement calquées sur ces mêmes métaphysiques que Kant critique, ne prenant pas en considération que le rationalisme – qu'il place le lieu originare du logos dans les choses ou dans les idées – demande à ses symboles qu'ils soient ultimement en parfaite adéquation avec le réel qu'il dit et qu'il informe.

Mais nous croyons également que cette omission n'a d'impact que sur ce point de l'exposition (l'unicité de la représentation de l'espace et du temps), encore qu'elle puisse être très riche de conséquences. Certes en posant l'unicité de la représentation de l'espace, Kant s'enferme dans un espace euclidien. Mais nous ne sommes pas d'accord avec ce qu'en dit Friedman lorsqu'il écrit : « *Hence from our present point of view geometry and physics certainly do not have the fixed, and indeed the synthetic a priori, status attributed to them by Kant.* » [Friedman (1992), xii]

Certes aujourd'hui, la géométrie appliquée prend plusieurs formes, qu'elles soient riemanniennes, projectives ou autre, mais cela n'exclut pas l'idée d'un principe de la géométrie que l'on pourrait retrouver dans le sujet, d'un quelque chose d'*a priori* qui ne serait pas quelque chose comme une représentation fondamentale, mais plutôt une faculté. Après tout, c'est un fait que nous construisons des géométries, des arithmétiques<sup>35</sup>, etc., bien qu'il n'y ait pas de consensus sur le rapport de ces langages

---

<sup>35</sup> Il est à noter que dans l'histoire des mathématiques, on ne reconnaît qu'une instance de l'arithmétique. [Cf. Poincaré] Nous avons toutefois tenu à la *pluraliser* afin de laisser le champ libre à la possibilité d'autres arithmétiques qui n'auraient pas encore été conçues, mais qui pourtant pourraient être.

et les réalités qu'ils sont supposés décrire. En fait, c'est tout le problème de la métaphysique, qu'on le prenne par le biais du principe d'adéquation, de l'ontologie ou du langage, qui se profile à nouveau.

Cependant, nous nous demandons si le re-surgissement de cette problématique ne serait pas imputable à une mauvaise lecture de l'*a priori* chez Kant. N'oublions pas que pour lui, *a priori* veut dire « *indépendant de l'expérience et même de toute impression des sens* » [CRP, 93-94], comme il le stipule d'entrée de jeu, au troisième paragraphe de son introduction générale à la *Critique*. Il ne se réfère donc pas à une actualisation de quelque chose, mais bien plutôt à un pouvoir d'actualiser, une faculté. En d'autres termes, l'origine et ce sur quoi porterait cette faculté ne semblent pas des questions prioritaires à ce moment de la philosophie kantienne.

Notons toutefois que, commentant la résurgence du problème de la métaphysique, Philonenko soutient que de reconnaître la possibilité de quelque chose revient à poser la question de son essence, faisant l'hypothèse de l'équivalence entre l'essence et la question de fait. [Cf. Philonenko (1969), 109] Un peu plus avant, d'ailleurs, il écrira : « *La question de la métaphysique doit porter sur le réel, c'est-à-dire sur le fait constitué par l'existence des sciences dont la possibilité doit être comprise.* » [ibid., 108]

Bien que dans le contexte plus restreint de la distinction entre mathématique appliquée et mathématique pure, Friedman, quant à lui, pose le problème d'une façon plus proche de ce que nous comprenons de la philosophie transcendantale :

*The real possibility of a triangle is not shown merely by our ability to construct the concept in pure intuition, but only by Kant's own transcendental proof that the objects of empirical intuition are necessarily subject to the conditions of pure intuition. In other words, real possibility here depends entirely on applied mathematics. Yet Kant clearly holds that pure intuition is a necessary condition for pure mathematics, quite independently of all questions concerning the application of the latter to objects of experience.* [Friedman (1992), 102 (nos soulignés); cf. CRP, A25/B39 ou A716-717/B744-745]

Nous voyons dans cet extrait qu'il n'est pas question encore de cerner les applications concrètes de l'intuition, mais de la concevoir comme condition de possibilité de quelque chose qui apparaîtra conséquemment.

Revenant au principe de la géométrie, l'idée de juxtaposition pourrait bien en faire ici office, une idée qui est présente dans la réflexion kantienne, bien qu'au niveau objectif et non transcendantal, « *les choses comme phénomènes externes* [(qui affectent les sens) étant] *juxtaposés dans l'espace* » [CRP, 124] Ici, il ne faudrait pas confondre géométrie et espace, car si Kant pose bien l'espace comme illimité, il conçoit « *le concept général d'espace* » comme des « *limitations* » de ce premier espace. [Cf. *ibid*, 121] Certes, la juxtaposition est introduite pour faire état de la relation des choses comme phénomènes externes, mais le fait de parler des *espaces* comme *limitations*, nous invite à penser la juxtaposition comme principe de la géométrie en tant que la géométrie ne serait ni plus ni moins que la façon de donner les relations entre les choses comme phénomènes externes, une géométrie représentable de plus d'une façon. D'ailleurs, nous voudrions attirer l'attention sur l'application du pluriel au terme « espace » dans la *Critique* même. La plupart des détracteurs de la philosophie kantienne ont fondé leurs objections sur la supposée unicité de la géométrie dans le corpus kantien, alors qu'ici nous trouvons tout autre chose.

Mais interrogeons directement la géométrie. En effet, si nous comparons, par exemple, la géométrie euclidienne et la géométrie projective, nous constatons que la première peut-être construite sur l'idée de translation/réitération linéaire d'un segment, alors que la seconde peut l'être sur l'idée de rotation et d'élongation d'un segment, le déplacement étant défini cette fois-ci de façon angulaire. Mais juxtaposer des segments ou juxtaposer des angles, cela reste une juxtaposition.

Néanmoins, et revenant au commentaire de Friedman [v. n. 3 de notre introduction], il semblerait qu'on puisse aussi retrouver la représentation primitive de la géométrie dans l'idée newtonienne de *fluxions* (*fliessenden Grössen*). Dans ce cadre, le continu devient l'idée fondamentale, lequel n'est pas généré, mais parcouru par bissection par

un point en mouvement. Il ne s'agirait donc pas de remplir le vide par une accumulation arithmétique de points, bien que le continu puisse être subséquentement analysé, divisé, fragmenté. [Cf. *CRP*, 244 *sq.*] Cette conception va à l'encontre de l'idée d'une mathématique pure, indépendante du mouvement [cf. Friedman (1992), 77], laquelle serait alors assimilée à une logique axiomatique. Seulement, on peut se demander si cette mathématique axiomatique peut rendre compte du passage de l'expérience physicienne à sa mathématisation. Comme le projet physicien consiste en la description et l'explication des changements que nous observons, on peut se demander s'il n'est pas nécessaire que l'on dispose tout autant d'une idée primitive du changement.

Aussi entre l'idée de juxtaposition et l'idée de continu, laquelle choisir? Peut-être pouvons-nous considérer l'argument suivant : la juxtaposition devrait être comprise comme processus de recouvrement et non le produit fini de ce recouvrement, évoquant ici les travaux de Borel et sa version constructiviste de la géométrie. [Bourbaki] Il y a dans l'idée de processus l'idée d'une dynamique, d'un mouvement. Et alors, le principe de la géométrie pourrait être conçu comme le processus qui permet de recouvrir le continu, liant ainsi les deux notions d'espace et de sa mesure, cette dernière consistant en la mise en rapport de ses différents moments. Ainsi, nous constaterions que si la géométrie est intimement liée à l'espace, il ne voudrait toutefois pas confondre ces deux notions. Revenant à la question énoncée au précédent paragraphe, nous sommes tentés de répondre que l'idée primitive du changement pourrait être assimilée au fait de ce processus de recouvrement nommé juxtaposition. Si nous posons le fondement de l'espace dans le continu, toutefois, il faudra garder en mémoire que selon la perspective transcendantale, cet espace appartient au sujet et qu'il doit alors être vu comme un pouvoir et non pas comme une chose. Le continu comme pouvoir, ne serait alors la possibilité, bien que non déterminé, du processus de recouvrement, non pas une chose, mais un inachèvement, une sorte d'ouverture dans laquelle toutes les façons de construire les géométries peuvent être réalisées.

Quant au dernier point de l'exposition métaphysique de l'espace et du temps, on peut l'interpréter comme le constat que le pouvoir de réceptivité du phénomène est ouvert, ce qui permet de lier la précédente conclusion à ce dernier argument. Pensant désormais l'espace et le temps comme facultés, il n'y a pas de limite à leur déploiement dans la pensée. Quant bien même le monde serait clos, nous pouvons toujours imaginer un *par-delà*, l'espace et le temps nous permettant de penser un *en-dehors*, un *avant* et un *après* notre expérience concrète. Que ce par-delà soit est sans importance pour les facultés qui, finalement, peuvent toujours recevoir plus que ce qu'elles ont déjà. Mais reste que nous ne pouvons parler d'expériences que pour autant qu'elles auront été activées par un divers. C'est ce qui, en science, fait la différence entre une théorie et une spéculation : entre ce qui a été vu et ce que nous sommes prêts à voir.

Toujours dans ses *Anticipations de la perception* [cf. CRP, 242 sq.], Kant fait cette remarque importante, alors qu'il distingue le pouvoir de l'intuition, qui peut saisir l'idée de continu (ou plutôt qui est l'idée de continu spatio-temporel) et qui est pouvoir de réception illimité des grandeurs intensives; de ces grandeurs qui, elles, sont empiriquement saisies par degré, on pourrait dire selon un mode discret. Il y aurait donc l'intuition (illimitée) et le moment de la perception comme tel qui, lui, est discret<sup>36</sup>.

Si le phénomène en général s'inscrit dans cette continuité, et donc rendrait possible une synthèse du divers, ce processus est empiriquement toujours interrompu, et alors, le phénomène n'est plus qu'un agrégat plus ou moins complexe de perception. La représentation ne rendrait le continu que si la synthèse du divers pouvait ne jamais être interrompue. Mais on peut penser que la mesure (empirique), elle, passe

---

<sup>36</sup> Ce dernier point est en accord avec la physiologie contemporaine où il est démontré que les organes sensoriels sont stimulés seulement passé un certain seuil en-deça duquel il n'y a pas de perception. D'ailleurs, Cassirer évoque l'enthousiasme du physiologiste Helmholtz, qui fut également un physicien important, à l'égard de la philosophie transcendantale de Kant, ce Helmholtz qui, après des années d'hégélianisme et à la suite des Otto Liebmann s'écrit « *Zurück zu Kant!* ». [Cf. Cassirer (1923), *Introduction*, en particulier les pages 2-4; Cohen (1907), introd. de Dufour, 5]

justement par une *instanciation* de la synthèse, son avortement. Aussi la représentation empirique ne serait toujours qu'un agrégat qu'on pourra toutefois compléter par les produits de l'entendement pur (fruits de l'activité d'une imagination libre et créatrice), mais cette complémentation ne pourra jamais être vérifiée que par une mesure subséquente. On verra que la mécanique quantique, selon une certaine interprétation, ne dit pas autre chose et ne contreviendrait ainsi pas à l'esprit de la philosophie transcendantale.

L'espoir que l'homme puisse arriver à l'aboutissement *in concreto* de la synthèse ultime des phénomènes devient donc plus que problématique. Dans son *Essai philosophique sur les probabilités*, Laplace lui-même se garde bien d'affirmer que son actualisation sera. S'il parle d'un idéal infiniment approchable, il en confie l'achèvement à une intelligence qui, elle, n'est pas humaine et, ce, à même cette célèbre formule [cf. Laplace (1814), 2-3] que Dubois-Reymond aura consacrée comme principe du déterminisme et popularisée.<sup>37</sup>

Rivelaygue écrit : « *il y a d'une part, une matière qui correspond à la sensation, qui est le contenu, et d'autre part, une forme qui est la coordination (ou composition) de tous ces éléments.* » [Rivelaygue (1992), 82, (84)] Cette forme qui est espace/temps pourrait donc, et devrait même, être pensée en terme de structure, encore que la suite du commentaire de Rivelaygue nous pousse à raffiner davantage cette proposition : l'espace/temps serait une fonction structurante, mettant l'emphase sur un processus qui rendrait compte de la manifestation du phénomène. [Cf. *ibid*, 84 sq.]

*Saisir ou construire le changement? : Dans son explication du temps, Kant écrit :*

*L'Esthétique transcendantale ne peut mettre le concept du changement au nombre de ses data a priori : car ce qui change, ce n'est pas le temps en lui-même, mais quelque chose qui est dans le temp. En ce sens se trouve requise à cette fin la perception d'une existence quelconque et de la succession de ses déterminations, par conséquent l'expérience.* [CRP, 133]

<sup>37</sup> Une théorie des variables cachées vue sous cette angle ne sera pas scientifique, mais spéculative, tentant d'imaginer ce qu'imaginerait cette supra-intelligence et, même de se l'arroger.

Ainsi, bien que l'intuition soit nécessaire à la saisie du changement, il manquerait quelque chose pour le définir entièrement. Kant dit « *l'expérience* ». Nous trouverons dans les catégories cet autre moment de la définition du changement. Mais concluons d'abord cette section par un extrait de l'*Esthétique* qui, à notre avis, résume bien la position de Kant sur la question de ce que nous pouvons connaître et qui, en somme, revient à suggérer que nos théories ne peuvent être qu'à l'image de nos rapports au monde, une synthèse de notre expérience qui n'est universelle que dans la mesure où les humains partageraient une constitution subjective et, au premier chef, une intuition :

*Ce que nous voulons dire, c'est que toute notre intuition n'est rien que la représentation du phénomène; que les choses que nous intuitionnons ne sont pas en elles-mêmes telles que nous les intuitionnons, que leurs relations ne sont pas non plus constituées en elles-mêmes telles qu'elles nous apparaissent, et que si nous supprimions par la pensée notre subjectivité ou même seulement la constitution subjective des sens en général, toutes les propriétés, tous les rapports des objets dans l'espace et le temps, l'espace et le temps eux-mêmes disparaîtraient et ne peuvent, comme phénomènes, exister en soi, mais seulement en nous. Quant à ce qui pourrait être tenu pour une caractéristique des objets en eux-mêmes et abstraction faite de toute cette réceptivité de notre sensibilité, cela nous reste entièrement inconnu. Nous ne connaissons rien d'autre que notre manière de les percevoir, laquelle nous est propre et peut même ne pas appartenir nécessairement à tout être, bien qu'elle appartienne à tout homme. [CRP, 133-134]*

Dans le traitement que nous venons de donner au problème de l'intuition sensible chez Kant, nous avons favorisé une approche physico-mathématique. Nous ne disons pas que cette façon de comprendre l'espace et le temps épuise le problème. loin de là. L'espace et le temps sont des notions qui interviennent dans plus d'un discours et, si on voulait en donner un traitement exhaustif, il faudrait les faire intervenir tous. Ce qui n'est évidemment pas l'objet de ce présent mémoire.

Avant de quitter tout à fait le moment de l'*esthétique transcendantale*, rappelons cet extrait des *remarques générales* : « *La différence entre une représentation confuse et*

*celle qui est distincte est seulement logique et ne concerne pas le contenu.* » [CRP, 134]

#### **1.4 LA LOGIQUE TRANSCENDANTE : LA QUESTION DES CATÉGORIES**

En tout début de son chapitre sur la *Logique transcendantale*, Kant écrit :

*Notre connaissance procède de deux sources fondamentales de l'esprit, dont la première est le pouvoir de recevoir les représentations (la réceptivité des impressions), la seconde le pouvoir de connaître par l'intermédiaire de ces représentations un objet (spontanéité des concepts) : par la première nous est donné un objet, par la seconde celui-ci est pensé en relation avec cette représentation (comme simple détermination de l'esprit).* [CRP, 143]

Toutefois, nous rappelant que l'intuition est d'une certaine façon formatrice et qu'elle appartient au sujet, cette réception de la représentation n'est donc pas passive et ce ne serait pas la représentation comme telle qui serait reçue, mais une impression à laquelle l'intuition donne forme. *On peut donc comprendre la représentation comme un premier jugement, mais un jugement d'impression ou jugement perceptuel; et la constitution de l'objet à partir des représentations comme un jugement catégoriel.* Cette conclusion est pour nous capitale.

Or à la lumière de ce qui a été exposé dans la section précédente, il faudrait conclure que le jugement perceptuel ne nous permettrait de constater qu'un *avant/après* d'une impression par rapport à une *autre* et un *à côté* de celle-ci. Rien n'est encore dit des qualités/quantités/relations que l'on peut attribuer aux impressions, hormis leur spatio-temporalité. Pourtant, il serait tentant d'attacher immédiatement à ces impressions, au moins, des qualités/quantités : « ceci est rose », « ceux-là sont deux,

trois ou quatre », pensant déjà que, pour distinguer une impression d'une autre, il faille qu'elles se différencient *sensuellement*. Mais Kant, à sa manière, nous met en garde contre cette précipitation qui nous obligerait à tirer cette autre conclusion que les sens sont intelligents.

En fait, pour dire « mon impression donne le rose », il faut déjà que nous pensions le rose en contraste avec d'autres qualités, d'autres couleurs, qui seront mis en rapport (subsumées) sous le concept de couleur, et c'est là, semble-t-il, où nous amène Kant : il faudrait que nous puissions mettre en rapport des qualités/quantités/rerelations particulières pour pouvoir les attribuer à des impressions et ce serait dans ce processus de mise en rapport qu'interviendraient les concepts et également que se constituent les objets de la connaissance.

Le processus de prédication, dire « A est X » serait donc un autre moment de la constitution du savoir, ce qui, en fait, n'aurait pas dû tant nous surprendre, puisque que pour dire « A est X », il fallait déjà avoir pu dire « A ».

Contrastant l'intuition et le concept, Kant écrit : « *une intuition pure contient exclusivement la forme sous laquelle quelque chose est intuitionnée, et un concept pur uniquement la forme de la pensée d'un objet en général.* » [ibid., 143] Quelques lignes plus loin, Kant attribue à l'entendement le pouvoir *spontané* de générer des représentations, la spontanéité étant la possibilité de « *produire soi-même* » quelque chose. Or cette spontanéité de l'entendement est cruciale dans la pensée kantienne. En effet, on ne voit pas comment il pourrait y avoir de telles choses que des jugements *a priori* sans que l'entendement puisse générer sans aide aucune des *structures objectives* (ou « *objectifiantes* »), on ne voit pas comment l'esprit pourrait émettre des hypothèses sur des choses qu'il n'a pas encore vues s'il n'avait en lui cette possibilité.

Kant associe à la notion de concept l'idée de logique. Toujours dans sa tâche de distinguer les moments de la connaissance, il établit une hiérarchie entre l'usage

général et l'usage particulier de la logique. Et c'est peut-être là une autre façon d'apercevoir le clivage entre l'activité métaphysique et l'activité scientifique.

[La logique de l'usage général de l'entendement] contient les règles absolument nécessaires à la pensée, sans lesquelles il n'y a aucune utilisation de l'entendement, et s'applique donc à celui-ci indépendamment de la diversité des objets sur lesquels il peut faire porter son activité. La logique de l'usage particulier de l'entendement contient les règles permettant de penser correctement une certaine sorte d'objets. On peut nommer la première la logique élémentaire, tandis que la seconde peut s'appeler l'organon de telle ou telle science. [Ibid.]

Pour atteindre cette première logique, Kant exige que l'on fasse « *abstraction de toutes conditions empiriques* », conditions sous lesquelles il range, bien sûr, les sens, mais également l'imagination, la mémoire, l'habitude, les penchants, les préjugés, etc., « *toutes les causes à partir desquelles certaines connaissances peuvent nous parvenir ou s'insinuer en nous, parce qu'elles ne concernent l'entendement que dans certaines circonstances de son application et que, pour les connaître, une expérience est requise.* » [CRP, 145] Une telle logique est naturellement *aride*, comme il le dit si bien, – car ayant écarté jusqu'à l'imagination, on peut se demander où s'enracinera l'entendement – et ne pourrait s'établir qu'en ayant « *sous les yeux ces deux règles* » :

1. *En tant que logique générale, elle fait abstraction de tous les contenus de la connaissance de l'entendement et de la diversité de ses objets, et elle n'a affaire à rien d'autre qu'à la simple forme de la pensée.*
2. *En tant que logique pure, elle n'a pas de principes empiriques : par conséquent, elle ne tire rien (malgré ce dont on s'est parfois persuadé) de la psychologie, laquelle n'a donc sur le canon de l'entendement absolument aucune influence. Elle doit être une doctrine démontrée, et tout doit y être certain complètement a priori.* [CRP, 145-146]

Mais quelle peut bien être la forme d'une pensée sans objet? Et comment en établir la nécessité? Kant ne répond pas, en tout cas, pas de façon positive. Encore une fois, on pourrait dire que la logique pure est une logique apophatique de laquelle on dira

qu'elle n'est ni ceci ni cela tout en ne niant pas toutefois qu'elle est. En fait, Kant passe directement à l'idée d'une *logique appliquée*, laquelle il définit comme étant :

*(...) une représentation de l'entendement et des règles de son usage nécessaire in concreto, c'est-à-dire dans les conditions contingentes de la subjectivité qui peuvent contrarier ou favoriser cet usage et qui ne sont toutes données que de manière empirique. Elle traite de l'attention, de ce qui lui fait obstacle et des effets qu'elle produit, de l'origine de l'erreur, de l'état correspondant au doute, au scrupule, à la conviction, etc. » [CRP, 146]*

Toutefois, Kant n'évade pas la question piège de la vérité. Il ne nie pas que la connaissance devrait être *certifiable* par un principe d'adéquation entre les formes de la pensée et les objets qu'elle pense – accordant à la vérité cette définition nominale, soit la vérité est « *la conformité de la connaissance avec son objet* » [CRP, 148] – et qui nous permettra de dire que « penser ceci d'un objet » est vrai. Seulement, si nous cherchons un critère universel qui nous permettrait de décider de la vérité d'une proposition peu importe la proposition, Kant est catégorique, c'est une quête vaine – en ceci, il donne encore raison aux sceptiques –, car fondée sur une contradiction, une absurdité, aussi comique, Kant dit « ridicule », que le « *spectacle de deux individus dont l'un trait le bouc (comme disaient les anciens), alors que l'autre tient au-dessous un tamis.* » [Ibid.]

L'argument va comme suit : une connaissance peut ne pas se rapporter à un objet particulier sans pour autant qu'elle n'ait aucun objet. Or un critère universel devrait pouvoir s'appliquer à toute connaissance peu importe son objet. Aussi, il faudrait que ce critère porte sur l'objet en faisant abstraction de l'objet, ce qui, de l'avis de Kant est une absurdité.<sup>38</sup>

<sup>38</sup> Kant écrit : « *Si la vérité consiste dans l'accord d'une connaissance avec son objet, cet objet doit par là même être distingué des autres; car une connaissance est fautive si elle ne s'accorde pas l'objet auquel elle se rapporte, quand bien même elle contient quelque chose qui sans doute pourrait valoir pour d'autres objets. Or serait un critère universel de la vérité celui qui vaudrait pour toutes les connaissances sans distinction de leurs objets. Cela dit, il est clair, puisque dans ce critère l'on fait abstraction de tout contenu de la connaissance (de la relation à son objet) et que la vérité porte*

La seule vérité accessible est une vérité formelle, i.e. qui ne comporte aucune contradiction interne, que nous interprétons comme la vérification de la cohérence de la pensée. Mais cette forme de vérité, si elle préserve la cohérence d'un raisonnement n'est pas une garantie que ce raisonnement se rapporte à quelque chose. « *Car quand bien même une connaissance parvient à concorder pleinement avec la forme logique, c'est-à-dire à ne pas se contredire elle-même, elle peut cependant toujours contredire l'objet.* » [CRP, 149] *La vérité formelle est donc une condition nécessaire, mais non suffisante, à la concordance d'une connaissance avec son objet.* Dans l'idée d'une vérité objective, en opposition à une vérité formelle, il y a donc plus que le principe de non-contradiction.

Quant à la *logique transcendantale*, elle est le procès des formes de pensée dont la nécessité s'impose et dont l'application trouve son domaine légitime. Kant distingue deux moments de cette logique : l'analytique et la dialectique. L'*analytique transcendantale* est l'exposition voulue exhaustive des formes logiques des jugements auxquels on fera correspondre des catégories; alors que la *dialectique transcendantale* est une critique de ce qu'il appelle *l'illusion dialectique*. L'analytique s'occupe donc des formes spécifiques de la logique, alors que la dialectique s'occuperait de définir leur domaine d'application.

#### 1.4.1 *L'analytique des concepts et le cas particulier de la causalité*

Dans son désir de dégager les catégories des discours scientifiques, Kant donnera un répertoire des types de jugements qu'on y retrouve. Mais déjà il décèle dans la série de ces jugements un ordre obéissant à une sorte de méta-logique. Il subdivise donc cet

---

*précisément sur le contenu, qu'il est tout à fait impossible et absurde de demander une marque caractéristique de la vérité de ce contenu des connaissances, et que de cette manière il serait impossible d'indiquer un signe distinctif suffisant quant à sa matière, il faudra dire que la vérité de la connaissance quant à sa matière, on en peut réclamer aucun signe distinctif universel, parce que c'est en soi contradictoire* ». [CRP, 148]

ensemble en quatre classes, lesquelles sont : la quantité, la qualité, la relation et la modalité. Chaque classe à son tour fait intervenir trois moments complémentaires.

Sous la classe de la *quantité*, on peut dire qu'un prédicat soit que : 1) il se rapporte à toutes les instances d'un jugement, il est alors *universel*; 2) il se rapporte à seulement quelques cas, il est *particulier*; ou 3) il se rapporte à un seul cas, il est alors *singulier*.

La classe de la *qualité*, elle, permet la question de l'attribution d'un prédicat à quelque chose : on *affirmera* d'une chose qu'elle est comme ceci ou on le *niera* ou on ne pourra en décider, bien que sur ce dernier point, les commentateurs ne semblent pas s'accorder. Kant dit de ce dernier mode qu'il est *unendliche* qualificatif que Renaut traduit par « *infini* » alors que Tremesaygues et Pacaud le traduisent par « *indéfini* ». [Cf. *CRP*, la note 58 du traducteur]

Pour notre part, nous ne sommes pas en mesure de trancher en faveur d'une traduction ou d'une autre, encore que si la traduction « non absolument décidable » nous avait été proposée, elle nous aurait paru fort tentante. Mais c'est peut-être là que Kant, sans le dire explicitement, situe tout le problème de l'universalité supposée du *principe du tiers exclu* dans cette possibilité problématique qu'une chose, pourtant, puisse être ni A et ni non-A. Quand on considère l'ampleur du débat que l'intuitionnisme a généré, on comprend que l'interprétation à donner à ce mode de prédication n'est pas simple et qu'elle mériterait une thèse à elle seule. Mais de reconnaître cet espace flou dans la table des jugements de Kant nous incite à croire que la prétention de ce dernier d'avoir su répertorié toutes les instances du jugement n'est peut-être pas sans fondement. En tout cas, nous n'avons ni suffisamment d'imagination ni suffisamment de connaissance pour donner un contre-argument qui puisse sérieusement remettre en question cette prétention d'exhaustivité.

La troisième classe traite des modes de mise en *relation* des jugements. Les modes sont dits *catégoriques*, *hypothétiques* ou *disjonctifs*. Kant en explicite le sens au point 3 [cf. *CRP*, 158-159], explication que l'on pourrait résumer comme suit : les

jugements peuvent lier des concepts, des jugements ou tracer la réciprocity d'un ensemble de jugements.

La quatrième classe traite de la *modalité* des jugements : sont-ils *problématiques* (dont on peut dire qu'ils sont possibles), *assertoriques* (i.e. vrais) ou *apodictiques* (non seulement vrais, mais nécessaires). Notons ici que dans cette classification des jugements, le thème de la certitude n'apparaît jamais. Nous pourrions être tentés de voir dans l'*apodicticité* cette ouverture vers la certitude, pourtant dire qu'une hypothèse implique nécessairement une autre, ce n'est pas poser la validité de l'hypothèse première. Encore une fois, la certitude, cette vérité objective, reposerait sur quelque chose d'autre... ou sur rien.

Revenant à notre commentaire sur les *Anticipations de la perception* dans lequel nous en arrivons à l'idée que la synthèse du divers vers l'objet est toujours, dans le monde empirique, une synthèse avortée [ici 50; cf. *CRP*, 242 sq.], et considérant que la vérité objective repose sur la correspondance de l'objet avec ce qu'on en pense, l'inachèvement de la synthèse rend impossible la vérification absolue et l'atteinte de la certitude devient ce beau projet qui ne se réalisera jamais. Aussi l'être d'espoir qu'est l'homme ne peut faire autrement que de se demander comment il sera possible pour lui de travailler à quelque chose dont il ne verra jamais le fruit. Vu comme ça, le procès scientifique est une curieuse vocation.

Ces fonctions logiques inspireront à Kant sa table des catégories [*CRP*, 163] que nous retranscrivons ci-après sous forme de liste :

1. **De la quantité:** Unité, Pluralité, Totalité
2. **De la qualité:** Réalité, Négation, Limitation
3. **De la relation:** Inhérence et subsistance (*substantia et accidens*); Causalité et dépendance (cause et effet); Communauté (action réciproque entre l'agent et le patient)

4. *De la modalité*: Possibilité – Impossibilité: Existence – Non-existence:  
Nécessité – Contingence

À la section 11 de l'*Analytique des concepts*, Kant fait les remarques suivantes: 1) cette table peut être divisée en deux sections, l'une se rapportant aux objets de l'intuition et qu'il nomme "catégories mathématiques", l'autres se rapportant "à l'existence de ces objets (soit dans la relation qu'ils entretiennent les uns avec les autres, soit en relation avec l'entendement)", nommant ces catégories "catégories dynamiques"; 2) et que dans chaque classe, "la troisième catégorie procède toujours de la liaison de la deuxième avec la première de sa classe". Une troisième remarque est faite concernant la catégorie de la communauté qui subsume les jugements disjonctifs et qui nous sera peut-être utile dans le cadre de notre troisième chapitre. [CRP, 165-167]

Maintenant, si en effet cette table était complète, nous aurions sous les yeux tous les modes de liaisons entre les impressions que l'entendement nous permet et tous les outils nécessaires à l'élaboration d'une science. Mais ce que nous comprenons de cette table, c'est que tous les concepts qui y apparaissent sont, d'une part, solidaires, mais également qu'aucun privilège n'est accordé à une catégorie sur les autres. Il ne s'agira donc pas qu'une théorie ne fasse pas intervenir, par exemple, la causalité, pour que cette théorie ne puisse être comprise dans l'arbre de la science. Ainsi dire d'une théorie qu'elle n'est pas scientifique sous prétexte qu'elle n'est pas causale ne tient plus.

Il se pourrait très bien qu'elle soit construite à partir de représentations générées par d'autres catégories que la causalité, lui conférant un statut d'objectivité. Mais il faudra alors concéder qu'elle puisse être incomplète [cf. Einstein (1935)], puisqu'elle n'utiliserait pas toutes les catégories, adhérant à la proposition de Kant voulant qu'une science n'est complète que du moment où elle fait intervenir dans son discours tous les concepts.

*Car que cette table, dans la partie théorique de la philosophie, soit extrêmement utile, voire indispensable, pour tracer complètement le plan de la totalité que constitue une science en tant qu'elle repose sur des concepts a priori et pour la diviser de façon systématique d'après des principes déterminés, c'est là ce qui s'éclaire déjà par soi-même en ce que la table concernée contient de façon complète tous les concepts élémentaires de l'entendement, et même la forme d'un système de ces concepts dans l'entendement humain, en sorte qu'elle donne des indications pour tous les moments d'une science spéculative dont on aurait le projet, y compris l'ordre de leur développement – ainsi que j'en ai ailleurs fourni une preuve. [CRP, 165]*

Dans la deuxième édition de la *Critique* Kant indique avoir donné cette preuve dans ces *Premiers Principes métaphysiques de la science de la nature*.

Alain Renaut, dont nous utilisons la traduction de la *Critique*, nous livre ici un commentaire que nous croyons fort pertinent – en tout cas, il va dans le même sens que ceux déjà mentionnés de Philonenko [cf. 12, Philonenko (1969), 113] et de Friedman [cf. 33, Friedman (1992), 4] :

*L'horizon de l'histoire des sciences est présent même dans les catégories de la modalité, qui ne sont pas constitutives de l'objet, mais, une fois l'objet constitué par les autres catégories, expriment son rapport au sujet posant cet objet comme possible, réel ou nécessaire : or la physique cartésienne est une physique des mouvements simplement possibles, étudiés uniquement dans leurs propriétés géométriques, abstraction faite de forces qui les font exister; la physique leibnizienne, en tant que dynamique, est une physique des mouvements réels; quant à la physique newtonienne, elle est une physique des mouvements nécessaires, puisque chaque force est conçue comme appartenant à un système où chacune agit en fonction d'une nécessité globale. C'est en vertu de cet horizon épistémologique, signalé ici dans l'édition de 1787, que la table des catégories de 1781 avait pu fournir la structure des Premiers Principes de 1786. [Renaut, n. 61 in CRP, 700]*

En sommes, par ce commentaire, nous questionnons la légitimité de la primauté conférée par certains à la causalité dans les sciences. Au risque de nous répéter, dans la table des catégories, la causalité n'est qu'une catégorie parmi les autres.

En outre, si on joint la pensée de Kant à l'interprétation des Philonenko, Friedman et Renaut, Kant ne donnerait le privilège à aucune des physiques qui ont été formulées

de son temps, mais tente bien plutôt de comprendre comment leurs modèles s'articulent les uns par rapport aux autres, *subsumant ces rapports sous ce que nous pourrions désormais nommer le méta-concept de science, i.e. la table des catégories*. Reste que ce méta-concept a été pensé en relation à la physique classique. Ainsi demeure la question de savoir s'il s'applique à la physique dite contemporaine : *par exemple, existe-il une façon de penser le rapport de la mécanique quantique à la relativité restreinte et général, n'oubliant pas la mécanique statistique et tous les autres modèles physiques actuels, une façon de penser qui ne réduit pas les modèles à une théorie particulière, mais leur donne une articulation méta-catégoriale*.

Cela dit, avant d'affirmer d'une théorie qu'elle ne fait pas intervenir telle ou telle catégorie, peut-être faudrait-il questionner notre compréhension du concept, vérifier qu'il n'y a pas eu substitution de ce dernier par une de ses représentations particulières.

*Qu'est-ce que la causalité?* Dans la table des catégories, la causalité apparaît en conjonction avec l'idée de dépendance et, entre parenthèses, Kant écrit « cause et effet ». Si on tente une interprétation minimale, mais transcendantale, de cette façon d'évoquer cette catégorie – laquelle, dans le fond, n'est pas la causalité, mais le *causalité et dépendance (cause et effet)* – il nous vient à l'esprit qu'une représentation est cause ou dépend d'une autre et que l'une est conçue comme cause et l'autre comme effet. Il n'y a dans cette idée aucune évocation d'un mécanisme particulier qui lierait un phénomène à un autre, rien de dit sur la nature du phénomène non plus, si ce n'est, toujours à la lumière de ce qui a été dit précédemment, que l'on pense que la matière générant le phénomène premier est en lien avec la matière du phénomène second ou, encore, que la seconde impression est en lien de dépendance avec la première, gardant en mémoire que, ici, la matière n'est pas, par exemple, l'atome tel qu'il est modélisé par certains physiciens – i.e. une onde et/ou un corpuscule, lesquels ne seraient alors que des représentations générés à partir de la catégorie de substance, mais simplement l'idée d'un quelque chose qui sous-tend une impression.

Quelle est la nature du lien causal? Est-il univoque (à une cause ne correspond qu'un et un seul effet)? Ne s'applique-t-il qu'à un type de substance discrète et compacte (e.g. un corps)? Nous laissons cette question en suspend jusqu'à notre prochain chapitre.

Reprenant la célèbre maxime kantienne « *Des pensées sans contenu sont vides, des intuitions sans concepts sont aveugles.* » [CRP, 144], nous pouvons concevoir le concept comme étant la canne qui nous permet de nous diriger à travers un monde où, sans elle, nous n'arrivons à progresser qu'en nous butant à des impressions chaotiques et confuses. Le concept est l'instrument qui nous guidera d'une impression à une autre, nous permettant de nous tracer une image mentale du chemin fait et, possiblement d'anticiper, mais non de prédire, le prochain pas. Nous avons bien écrit « et non de prédire ». Ce n'est pas une erreur, ce n'est pas une tentative de forcer l'épistémologie kantienne. Beaucoup plus loin dans la *Critique*, dans cette section intitulée *Anticipations de la perception*, Kant écrit :

*On peut appeler anticipation toute connaissance par laquelle je peux connaître et déterminer a priori ce qui appartient à la connaissance empirique, et sans doute est-ce là la signification dans laquelle Épicure utilisait son expression prolépsis. Mais comme il y a dans les phénomènes quelque chose qui n'est jamais connu a priori et qui constitue dès lors la véritable différence entre l'empirique et la connaissance a priori, à savoir la sensation (comme matière de la perception), il en résulte que la sensation est proprement ce qui ne peut aucunement être anticipé. Au contraire pourrions-nous appeler anticipations des phénomènes les déterminations pures inscrites dans l'espace et le temps, aussi bien relativement à la figure que sous le rapport de la grandeur, parce qu'elles représentent a priori ce qui peut toujours être donné a posteriori dans l'expérience. Néanmoins, supposé qu'il se trouve pourtant quelque chose qui se puisse connaître a priori dans chaque sensation en général (sans qu'une sensation particulière soit donnée), cela mériterait d'être nommé anticipation au sens exceptionnel, parce qu'il paraît étrange d'anticiper sur l'expérience quant à ce qui correspond précisément à sa matière, telle que l'on ne peut la puiser qu'en elle. Et tel est, de fait, ce qui se passe ici. [CRP, 243]*

Ce passage aura un sérieux impact sur notre compréhension du statut de la causalité et conséquemment sur le déterminisme classique.

### 1.5 LE SCHÉMATISME

Comment maintenant rendre compte de la possibilité d'une union de l'intuition et de l'entendement qui, au départ, sont définis comme des facultés totalement distinctes? Kant pose le problème de la sorte :

*Comment, dans ces conditions [d'hétérogénéité des concepts et des intuitions], la subsomption des intuitions sous les concepts, par conséquent l'application de la catégorie à des phénomènes, est-elle possible, entendu qu'en tout cas personne ne dira que cette catégorie, par exemple la causalité, peut être aussi intuitionnée par les sens, et qu'elle est contenue dans le phénomène? [CRP, 224]*

Kant introduit un troisième terme qu'il dit homogène et aux concepts et aux phénomènes. « *Cette représentation médiatisante doit être pure (dépourvue de tout élément empirique) et cependant d'un côté intellectuelle, de l'autre sensible. Tel est le schème transcendantal.* » [Ibid., 224-225] Il pose également la « *détermination transcendantale du temps* » comme terme de la médiation en ce que, comme la catégorie, elle est *universelle et a priori*, et que cette représentation est la base commune de tous les phénomènes. Ce serait donc l'universalité du temps, ce « pour tous » les phénomènes ( $\forall x$ ) qui serait le lien<sup>39</sup>.

Rivelaygue formule cette conclusion ainsi: « *Le lieu de cette homogénéité est le temps, puisque tous les phénomènes sont temporels, et que, pour entrer en acte, pour apparaître à la conscience, les concepts doivent se temporaliser.* » [Rivelaygues (1992), 167-168] Ils doivent se déployer dans une détermination du temps.

<sup>39</sup> Ce qui nous fait dire que c'est par un argument logique et non pas par la reconnaissance d'une espèce de matière commune à la catégorie et aux phénomènes que l'idée de cette médiation est fondée. D'une certaine manière, cette observation confirme que la philosophie transcendantale s'interroge bien plutôt sur les éléments formels de la connaissance, ses conditions, que sur son contenu.

Mais quelle est cette détermination du temps? Kant écrit : « *la seule façon dont les objets nous sont donnés est la modification de notre sensibilité* » [CRP, 225], cette modification de notre conscience dont le temps constitue l'idée de permanence.

Pour ceux qui auraient tendance à vouloir penser l'arithmétique comme moment premier de la construction schématique, notons que l'arithmétique comme opération sur les nombres nombrants peut être conçue comme strict déploiement de l'unité catégoriale (sous la quantité) et dès lors serait commise l'erreur de privilégier cette catégorie sur toutes les autres. La discrétisation (par l'idée d'unité) n'est pas l'unique façon de penser le mathématique. Il y avait une théorie des formes géométriques avant qu'on ait pensé la géométrie algébrique et, plus près de nous, nous ne pouvons écarter les tentatives de René Thom de penser les rapports mathématiques d'abord en termes de qualité<sup>40</sup>. Ce que nous voulons soulever ici, c'est que la définition stricte du temps, celle qui doit nous occuper dans le cadre de la philosophie transcendantale, ne se rapporte qu'à l'idée de cette conscience témoin du changement et non à une représentation particulière.

Notons également que suivant cette perspective, une question telle que « le temps existe-t-il? » ne se pose pas, le concept d'existence appartenant au domaine des catégories, lesquelles s'appliquent aux phénomènes dont l'existence, justement, sera pensé dans le temps, c'est-à-dire que le temps est pensé comme condition d'existence. Encore une fois, le temps n'est donc même pas une chose, mais ici l'idée au fondement de tout processus et la science est le discours à travers lequel sont décrites les formes de ces processus.

De plus, le temps pourrait être plus qu'un simple dénombrement des instants. En fait toutes les façons que nous avons de concevoir les modifications de notre conscience sont des illustrations de ce temps. Toutefois, le temps des théories physiques

---

<sup>40</sup> Nous ne connaissons pas les détails de la théorie des catastrophes. Mais signalons la thèse de David Aubin, *A Cultural History of Catastrophes and Chaos : Around the « Institut des hautes études scientifiques »*, France, thèse soumise et acceptée par le département d'histoire de l'Université Princeton, 1998, 782 p.

supportant une vision causale de l'enchaînement des phénomènes. i.e. que le sujet demande « en quoi ce qui fut est la raison de ce qui est? » suivant un ordre d'antécédance, ce temps est habituellement pensé en terme de linéarité et de continuité.

Cependant, s'inspirant des phénomènes de la mémoire, nous pourrions donner une autre représentation au temps telle que cette représentation tiendrait compte des « bonds de la conscience » qui lie le passé au présent sans plus que nous ne sachions tout à fait discriminer le premier du second, l'image rappelée appartenant dès lors au présent et influant sur le cours de l'avenir non plus du fait qu'il fut, mais du fait qu'il est d'une certaine manière réactualisé.<sup>41</sup> Toutefois ce raisonnement n'englobe pas les instances à venir et, de toute manière ce type de représentations n'a pas trouvé d'utilité dans les théories physiques. Signalons aussi que les bouddhistes ont une façon de concevoir le temps comme collection d'instants comme si la conscience clignotait, rendant une représentation discontinue du temps possible. Nous pourrions également invoquer l'expérience des visionnaires qui prétendent voir le *futur* ou d'autres plans de la réalité. Ici, nous ne voulons attirer l'attention que sur la possibilité de représenter le temps autrement, ce en vertu d'une conscience qui supporte un monde d'images, d'impressions et de croyances plus riche que ce que la science empirique permet de représentations. Or, cette richesse, il faudrait sûrement la considérer si nous voulions établir une science du comportement humain non seulement dans sa manifestation raisonnée, nous aurions envie d'écrire « entendue », mais également dans toutes les autres qui tiennent du soi disant pathologique comme de l'extraordinaire.

Suivant cette perspective, les schèmes purs seraient autant de méthodes de construire cette détermination du temps et nous poserions l'hypothèse que, déjà *a priori*, les

---

<sup>41</sup> Cette façon de représenter le temps n'est pas sans rappeler la conception de Bergson telle qu'on la retrouve, entre autre, dans sa réflexion sur la théorie de la relativité. [cf. Bergson (1922), ch. 3]

catégories interviendront dans la définition de la forme que nous donnerons à ces déterminations.

Ce qui nous vient à l'esprit, c'est qu'en somme, la frontière entre intuition sensible et entendement n'est pas aussi étanche que le processus de leur analyse nous le laisserait supposer et que c'est peut-être dans ce *no man's land*, espace du schématisme, que se situe tout l'enjeu du criticisme. Si le schématisme est possible, c'est peut-être tout simplement que sensibilité et entendement ne sont pas à concevoir dans un dualisme irréductible, que les structures de l'une ressemblent à s'y méprendre à celles de l'autre et que c'est par cette similitude structurale entre entendement et intuition que nous pouvons penser les *analogies de l'expérience*.

Cette façon d'interpréter la philosophie transcendantale nous permettrait de rendre compte de la multiplicité mathématique. Certains auteurs l'ont déjà relevé en dégagant l'idée de logique interne du constat que dans l'appareil analytique, les langages mathématiques ne sont pas logiquement réductibles. [Cf. Gauthier (1991)]

Or cette détermination sera tantôt *a priori* tantôt *a posteriori*. Son premier déploiement, qui fait abstraction de toute donnée matérielle ou impression, donnera la mathématique pure; le second, les mathématiques appliquées à la physique ou toute autre science mathématisable, ce qui dans l'esprit de Kant est une tautologie puisque « *la théorie de la nature ne renfermera de véritable science que dans la mesure où la mathématique peut s'y appliquer* ». [PPM, 12]

## 1.6 LA DIALECTIQUE TRANSCENDANTALE ET LA CLÔTURE DE L'IDÉAL

Peut-être devrait-on spécifier que l'enjeu de la science n'est pas qu'un contrôle des conditions d'apparition des phénomènes, sans quoi il faudrait réduire le projet scientifique à une simple quête technologique. Non, la science a également des visées unificatrices, i.e. qu'elle veut se construire une image de la réalité, nous préférons écrire « une compréhension » du monde comme totalité. Ici, nous sortons de la sphère des modèles, pour entrer dans celle de la théorie.

Selon Kant, toutefois, le *Monde* est une idée qui doit être mise en relation avec les idées d'*Âme* et de *Totalité* (ou *Dieu*) pour que naisse la véritable connaissance métaphysique et ces idées sont les principes de la *Dialectique transcendante*. Ce seraient donc une sorte d'unification de la *psychologie*<sup>42</sup>, de la *cosmologie* et de la *théologie* qui constituerait la connaissance ultime.

Les idées de la raison sont tirées des types de raisonnements qui définissent « toute relation que peuvent entretenir nos représentations » 1) au sujet; 2) aux objets et 3) à toute chose en général. [CRP, 354], raisonnements que nous pourrions également appeler *problématiques*. La problématique du sujet ou de l'âme est le domaine de la psychologie et donne lieu aux paralogismes; celle des objets du monde relève de la cosmologie et se résout dans ses antinomies; celle de la totalité que Kant dit se résoudre dans la théologie pourrait également être conçue comme le rapport de cette âme au monde où Dieu intervient en tant que principe de l'âme et du monde, si nous nous en référons à l'anthropologie et à la cosmologie religieuse, et non seulement chrétienne.

Le domaine de cette dialectique est donc très vaste, recouvrant en somme toute la question anthropologique, à savoir : Qu'est l'humain en tant que conscience et sujet connaissant? Comment appréhende-t-il le monde? Et conséquemment, comment, riche de cette vision de lui-même et du monde, agira-t-il en et sur ce monde? La dialectique ouvre la voie à la question morale.

---

<sup>42</sup> Ici, il ne faut pas confondre la *psychologie rationnelle* comme théorie de l'âme ou du sujet avec la psychologie empirique qui est la science du comportement humain. [Cf. CRP, 354]

Cerner le sens et les implications de cette dialectique n'est donc pas une mince affaire. Aussi nous contenterons-nous d'aborder, et encore très succinctement, le seul champ des antinomies de la raison pure. Bien que cette section de la *Dialectique transcendantale* ne couvre pas tout, on pourra toutefois avec un peu d'aide en cerner l'esprit.

### 1.6.1 Des concepts aux idées

Les domaines de la raison pure entretiennent un rapport avec les sciences qui restent à définir; définition qui nous sera donnée, en partie à tout le moins, par la relation des concepts avec les idées.

Si les concepts de l'entendement peuvent être fournis par une déduction objective, les concepts entretenant une relation avec les objets en tant qu'ils sont leurs conditions, les Idées transcendantales ne peuvent être obtenues au moyen d'une telle déduction, « *Car elles n'ont en fait aucune relation à un quelconque objet qui puisse être donné de manière à leur correspondre, précisément parce qu'elles ne sont que des Idées.* » [CRP, 355] Mais Kant suggère quelques lignes plus loin que les Idées de la raison peuvent toutefois faire l'objet d'une déduction subjective, c'est-à-dire qu'elles peuvent être inférées à partir de la nature de cette raison.

Pour Kant, il est évident que la raison « *n'a pas d'autre but que l'absolue totalité de la synthèse du côté des conditions (que ce soit d'inhérence, de dépendance ou de concurrence) et qu'elle n'a pas à se préoccuper de la complétude absolue du côté du conditionné.* » [ibid.] Dans le vocabulaire de Kant, les conditions étant associées aux concepts, il faudrait en conclure que la raison vise une synthèse non pas conceptuelle, mais des concepts eux-mêmes. Quand au conditionné, il faudrait le comprendre comme l'ensemble des phénomènes, sa synthèse revenant à une expérience empirique totale ou achevée. Or, nous l'avons vu, la synthèse schématique qui construit le phénomène n'est jamais achevée, elle ne peut que tendre vers *la chose*. On ne peut donc espérer un savoir

complet de ce *côté-là*. Mais comme pour Kant les conditions de l'entendement, les concepts, sont tous répertoriés, nous pourrions espérer un savoir de ce *côté-ci*, quitte à ce que la *science idéétiqu*e ne soit jamais que théorique.

La synthèse des concepts ne reposant pas sur un schématisme, cette synthèse ne serait pas formelle. En fait, ce savoir serait un *déconditionnement*. Et c'est là tout le curieux des Idées qui partent des formes pour se débarrasser d'elles, ce travail étant celui de la *Dialectique transcendantale*. Cohen nous livre ce premier commentaire:

*La Dialectique transcendantale traite en premier lieu de l' « apparence transcendantale »; celle-ci consiste dans l' « illusion d'une extension de l'entendement pur ». Il ne faut donc pas la confondre « avec l'apparence empirique (par exemple avec l'illusion optique) », ni en général avec le « phénomène », ni encore avec l' « erreur ». Car l'erreur naît de « l'influence inaperçue de la sensibilité sur l'entendement » : l'apparence transcendantale, au contraire, naît du fait qu'elle « influe sur des principes ». Il y a en effet des « principes effectifs qui nous incitent » à dépasser « la limite du territoire » de l'expérience pour « prétendre nous arroger un tout nouveau domaine ». [Cohen (1907), 157]<sup>43</sup>*

En somme, cette section de la *Critique* traite de tous les jugements de la raison qui utilisent les concepts de l'entendement à l'extérieur de leur domaine propre d'application. Le domaine de l'entendement étant la sphère empirique qui se déploie à travers les formes sensibles de l'espace et du temps, ces illusions qu'entreprendrait la raison tentent de nous transporter dans un intemporel sans lieu, royaume de l'intelligible platonicien, du *logos* transcendant [cf. *CRP*, 342 *sq.*]; Plus loin, Kant fait correspondre à ces illusions les « Idées », lesquelles seraient ce à quoi doit « s'élever [la raison], en partant de la synthèse du conditionné à laquelle l'entendement demeure toujours attachés, jusqu'à une synthèse inconditionnée qu'il ne peut jamais atteindre. » [*CRP*, 354]

Kant voudrait donc nous mettre en garde contre ces dérapages, bien que cette dérive correspondrait à un mouvement naturel et inévitable de cette raison comme Kant le

<sup>43</sup> Les guillemets réfèrent à des passages de la *Critique de la raison pure* de Kant.

signale d'entrée de jeu dans sa section sur les *paralogismes de la raison pure*. [Cf. *CRP*, 360 sq.; Cohen (1907), 157] Cependant cette mise en garde ne devrait pas être considérée comme une condamnation des spéculations de la raison, mais plutôt comme une dénonciation du caractère provisoire de toute représentation conceptuelle des idées.

En fait, Kant ne rejette pas l'idéal platonicien. S'il le considère irréalisable, il croit tout de même que ce rêve doit être poursuivi [Cf. *CRP*, 343-344]<sup>44</sup> Une façon donc de comprendre la dialectique transcendantale serait de dire qu'elle vise à porter à la conscience ce qui constitue les conditions dans ce qui est pensé afin que cette conscience des conditions nous transporte dans l'ailleurs, l'idée devenant une sorte de « *voici ce que je pense et ce n'est cela que dans la mesure où je pourrais le penser si je ne le pensais pas.* »

Pour comprendre le *déconditionnement*, il faudrait comprendre la nature des concepts eux-mêmes. Ce que nous comprenons de l'épistémologie transcendantale est que nos états mentaux, si cet anachronisme nous est permis, ne sont jamais que des représentations, bien que ces représentations entretiennent entre elles des liens. La représentation étant conceptuelle dans la mesure où c'est le concept qui se déploie sous les modes de l'espace et du temps, nous pourrions retrouver dans la représentation le concept pour autant que nous arrivions à en extraire les éléments sensibles. Cette extraction serait rendue possible par l'étude du plus grand nombre de représentations, tout en gardant en tête que cette extraction est un processus dont nous ne pouvons avec certitude garantir l'achèvement. Ici, nous nous référons à la notion selon laquelle ce déconditionnement est le résultat de l'épuisement de la série, principe dont Kant dit qu'il n'est qu'une « maxime logique » et, encore, seulement si

---

<sup>44</sup> Nous ajouterions, de la même manière que le physicien poursuivra ses recherches sur les phénomènes même s'il soupçonne que jamais il ne parviendra à aucune certitude sur cette réalité, réalité dont il pose néanmoins l'existence. D'une certaine manière on pourrait dire que et le physicien et le sage font le même acte de foi : si l'un pose une réalité *physique*, l'autre pose la vérité de la vertu, seulement ni un ni l'autre, d'après Kant, ne pourra prétendre posséder toute entière la réalité comme la vertu.

*« l'on admet que, si le conditionné est donné, c'est aussi la série entière des conditions, subordonnées les unes aux autres, qui est donnée (c'est-à-dire contenue dans l'objet et sa liaison), laquelle série est par conséquent elle-même inconditionnée. » [CRP. 338; cf. Cohen (1907), 159]*

Or il faudrait peut-être nous concentrer sur la notion de subordination *mutuelle* des conditions. Dans ce contexte, nous devrions peut-être comprendre que les concepts sont solidaires les uns des autres, que le tableau des catégories nous donne les éléments de l'entendement que sous le mode de leur rapport.

Par exemple, la substance ne peut être comprise qu'en contraste avec le concept de causalité et celui de communauté, mais aussi dans sa liaison à la quantité, à la qualité et à la modalité et toutes les instances de ces dernières classes conceptuelles. Cela entendu, la représentation classique de l'atome devient une substance limitée, multiple et possible, ces trois derniers attributs n'étant pas des accidents de la substance, mais bien des catégories surajoutées, car nous aurions bien pu penser une entité réelle, totale et nécessaire ou, encore, chose plus étrange, son complémentaire comme un vide unique qui n'est pas.

Et nous voyons là, que par ce jeu des catégories, nous avons retrouvé non seulement la doctrine de l'atome, mais aussi celles de l'être et du néant. Si nous suivons Kant, il faudra en conclure donc que le savoir est même au-delà de ce que proposent les doctrines dites ontologiques. Par exemple, contrairement à ce qu'en dirait Parménide, « l'être est et il n'est pas; il est un et il est multiple » et tout ce qu'il n'aurait probablement jamais écrit. [Cf. Parménide]

En somme, en faisant dériver les idées d'un déconditionnement ou d'une dé-catégorisation, Kant nous proposerait une sortie de la représentation qui ne soit pas une non-pensée, mais une sorte de mise en mouvement de la pensée qui tente de recouvrir dans ses pérégrinations tout le royaume de la raison, sachant toujours que le paysage qu'elle traverse en ce moment n'est qu'une parcelle de ce territoire. Et

finalement, traçant l'analogie entre les parcelles et les sciences, le royaume et le savoir, ce serait cette conscience même de la fragmentation des sciences qui constituerait le principe de ce savoir, cette conscience que pour couvrir du territoire, il faut le traverser pas à pas et que le parcours même qui est suivi, comme une méthode de fragmentation du savoir parmi tant d'autres possibles, n'est pas innocent. Le découpage que permettent les catégories donne les fragments d'une totalité, totalité que seul pourrait restaurer un recours au ciment de la dialectique, ciment magique effaçant toute trace des coupures infligées par l'entendement.

Bien entendu, nous spéculons ici sur la pensée kantienne et certains nous feront remarquer que Kant a par la suite, et tel que nous le constaterons à la lecture de ses *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature* ou de son *Opus posthumus*, tenté d'élaborer une doctrine sur l'idée d'éther énergétique. Nous acceptons la remarque, bien que nous ne croyons pas qu'elle affectera notre compréhension des pages de la *Dialectique transcendantale*.

### 1.6.2 Étude d'une antinomie

Tentons ici de saisir un peu plus concrètement ce qu'est le travail de la raison en faisant l'étude de la troisième antinomie, laquelle pose le problème du rapport de la causalité à la liberté. À ce sujet, Philonenko écrit :

*S'appuyant sur la distinction du phénomène et de la chose en soi, Kant déclare que l'on peut admettre dans la troisième antinomie, à la fois la thèse et l'antithèse, en considérant que la causalité libre relève du domaine des choses en soi, tandis que la causalité stricte requise par l'antithèse renvoie au monde des phénomènes<sup>45</sup>. Il faudra donc distinguer en l'homme un caractère sensible, déterminé, et un caractère intelligible, libre<sup>46</sup>, et le conflit se résoudra par le simple fait que les jugements contradictoirement opposés constituant la thèse et l'antithèse se résoudront en jugement sub-contraires, qui, ne prenant pas leur sujet dans le même sens, seront effectivement conciliables, dès lors que leur vrai domaine leur aura été assigné. [Philonenko (1969), 278]*

<sup>45</sup> Ici, Philonenko renvoie aux pages 399 *sq.* de la *Critique* dans la traduction de Tremesaygues et Pacaud (1950).

<sup>46</sup> *Ibid.* pp. 573 *sq.*

De ce commentaire nous pouvons tirer l'idée générale, à savoir *que la dialectique semble surgir de la rencontre d'une sensibilité et d'une intelligence et que le conflit apparent ne serait que le résultat d'une confusion entre ces deux pôles*. Toutefois, cette façon de dire la dialectique est réductrice, car, dans ce cadre, même la sensibilité est pensée et, donc relèverait de l'intelligible, bien que contrairement à cet intelligible qui est dit libre ou sans contrainte, la sensibilité se manifesterait dans ses limitations. En somme, cette dialectique ne met pas en relation des thèses indépendantes ou strictement contradictoires; l'antithèse ne serait pas une négation pure de la thèse, mais un énoncé qui, par un léger déplacement des choses, propose l'exploration d'une autre perspective : ce que l'on pense de quelque chose n'est pas la chose bien que cette pensée doive s'y rapporter. Il n'y a pas d'un côté le pensé et de l'autre le senti, mais plutôt quelque chose comme un « ce que je pense que je sens », le problème de ne pas penser plus (ou moins) que ce qui est senti restant entier.

Si toutefois, nous examinons les autres antinomies, nous constatons que si la troisième met en opposition la liberté et la détermination (comme contrainte), suggérant qu'il y a d'un côté l'idée libre et de l'autre le senti conditionné, la première, elle, pense le couple limité et illimité [CRP, 430 sq.]; la seconde, celui du composé et du simple [*ibid.*, 436 sq.]; et la quatrième, celui de la nécessité et de la contingence [*ibid.*, 448 sq.]. En somme, les antinomies 1, 2 et 4 nous inviteraient à penser le troisième niveau de la table des catégories [cf. CRP, 163], ce niveau, comme il a déjà été suggéré, tentant de faire la synthèse des deux autres. Vu sous cet angle, il deviendrait inutile de considérer la dialectique comme le constat d'un conflit entre sensibilité et intelligence que nous voudrions résoudre, nous donnant conséquemment l'impression de sortir la dialectique de la sphère des idées.

Mais relevons que si les antinomies 1, 2 et 4 ne mettent en rapport que des catégories, la troisième devient problématique en ce qu'elle fait intervenir le thème de la liberté [cf. Philonenko (1969), 281 citant Cassirer], liberté qui pourtant n'est pas un concept

pour l'entendement, à moins que nous ne fassions correspondre à cette idée de liberté le mode d'une chose soustraite au changement. une chose comme substance immuable qui s'opposerait, par une sorte d'inertie, au changement et sortirait donc du mode de la causalité, l'utilisation du mot « inertie » faisant nécessairement surgir dans la tête du physicien l'image d'un corps qui n'est soumis à aucune force extérieure, qui se meut à une vitesse constante et qui, donc, n'est plus ni l'effet ni la cause de quoi que ce soit.<sup>47</sup>

Toutefois cette interprétation de la liberté nous ferait tout à fait sortir de la sphère morale habituelle, la liberté ne devenant que le constat que nous ne savons penser la substance qu'en l'isolant du reste du monde, cette liberté ne devenant possible que sur le mode de l'autarcie. C'est peut-être pour cette raison que Philonenko parle de la liberté morale comme d'une idée intemporelle [cf. Philonenko (1969), 281], mais alors c'est une idée et non un concept. À moins que, dans un mouvement de la dialectique, la liberté déguisant la substance soit maintenue dans une tension avec la causalité pour donner alors le concept de communauté, ouvrant la voie à une théorie morale fondée sur l'interaction plutôt que sur une liberté qui risque trop de conduire à l'anarchie. [Voir aussi Rousseau (1762)]

Ainsi nous pouvons considérer les antinomies comme l'élaboration du conflit entre les catégories de premier et de deuxième niveau. Dans le cas de la troisième antinomie, ce conflit devrait alors être pensé en termes d'une opposition entre causalité et substance.<sup>48</sup>

---

<sup>47</sup> Mais Cassirer a peut-être fort bien résumé la problématique de la liberté en écrivant ceci : « Une seule et même action se situe d'une part sous la contrainte des causes passées et déjà actualisées, d'autre part dans la perspective des fins futures et de leur unité systématique. Au premier point de vue elle reçoit sa signification existentielle, au second point de vue sa signification comme valeur; ici elle appartient à la série des événements, là à l'ordre intelligible du devoir et de la libre détermination idéale. » [Kants *Leben und Lehre* (Berlin, 1918, p. 274) citer et traduit dans Philonenko (1969), 281]

<sup>48</sup> Nous croyons que cette façon de penser le conflit pourrait nous garder de nous empêtrer dans ce problème d'une liberté pensée d'abord par les théologiens de la transcendance pour sauver le libre-arbitre et pour qui le monde de l'espace-temps est un avilissement de la réalité, l'effet d'une chute et la conséquence d'une transgression.

Cependant cette interprétation comporte ses difficultés. En effet, nous pourrions en déduire que la dialectique n'est pas autre chose que le passage au troisième niveau des catégories, par exemple l'opposition entre causalité et substance se résorbant dans le concept de communauté. Mais alors, la dialectique étant par définition la sortie des concepts pour donner accès aux idées, il faudrait en conclure que ce troisième niveau ne contient pas des catégories mais des idées dont le sens général serait la notion d'un être sous le régime de la limitation, mais un dans l'idée de communauté. Pourtant, dire l'être sous le régime de la limitation, ce n'est pas davantage dire l'être pour ce qu'il est ni la limitation dans ce qu'elle aurait d'uniquement définissable, mais simplement dire un *quelque chose en relation par le biais de ses limitations*. Mais comme nous pouvons également penser les objets hors de leur relation les uns aux autres, comme nous pouvons penser les relations entre les objets sans fixer ces derniers, ce qui revient à penser la négation de ce troisième niveau, il faut donc en conclure que ce troisième niveau est catégorial et non idéétique.

En somme, les antinomies nous suggèrent que les catégories de premier et de deuxième niveau sont insuffisantes. Mais la clôture de la science dans le troisième niveau n'est pas assurée vu que ce troisième niveau n'englobe pas, malgré la synthèse qu'il permet, toutes les instances du discours scientifique. Penser l'interaction, par exemple, ce n'est pas penser ce qui est en action.

Certes, on pourrait nous objecter que la pensée de ce troisième niveau constitue à elle seule la science et que le recours aux deux niveaux précédents n'était que provisoire. Le temps de pouvoir penser, par exemple, une physique de l'interaction sans atome, sans matière d'aucune forme. Cette possibilité nous permettrait un retour à la doctrine, l'entendement contenant la matière suffisante à la résolution des conflits de la raison. Pourtant, l'entendement proposant de ne considérer les phénomènes que comme manifestation de la relation, de la communauté ou de l'interaction, elle ne pourra se garder de demander une relation entre quoi? Le troisième niveau des

catégories ne permet pas de le penser. En effet, dire qu'il y a action réciproque entre agent et patient, n'est-ce pas rendre caduque les notions mêmes d'agent et de patient?

Aussi, ce troisième niveau pris seul ne permettrait pas de connaissance *objective*, les relations ne portant sur aucun objet, puisque les relations deviennent elles-mêmes les objets. Nous voyons ici se profiler tout le problème d'une science qui ne concevrait que des relations. En fait, une telle science ne serait que mathématique et la physique cesserait d'exister. Mais alors, tout le problème de l'expérimentation se poserait : sans substance (prise dans son acception la plus générale qui peut même englober l'idée d'une mesure comme instantiation de la substance), le physicien ne pourra vérifier la justesse de ses théories. En fait, même dans le cadre des théories les plus avancées, la physique propose toujours un substrat, même provisoire, que ce soit des cordes ou des membranes pour remplacer l'idée d'atomes solides. Mais aussi, le physicien ne peut faire sans ces impressions, lesquelles peuvent certes être pensées dans une totalité (et doivent l'être), mais qui au départ ne sont reconnues que parce qu'on peut les différencier les uns des autres, les isoler, établir des frontières, *comme si* elles étaient en elles-mêmes.

À propos de la difficulté de construire une physique sans objet, citons un extrait tiré du chapitre 12 de l'essai de Cassirer sur le déterminisme. chapitre intitulé *The Problem of the « Material Point »* :

*In his epistemological discussions on energetics, Boltzmann starts out from the premise that there are two ways of viewing nature. The first, which he calls phenomenological, is content to establish differential equations for each domain, making unnecessary the introduction of any further hypothetical assumptions. Hence it looks down somewhat disdainfully on the other form of comprehending nature which finds its clearest and most characteristic expression in atomism. It accuses atomism of thinking in terms of mere pictures, instead of using strict concepts. But Boltzmann tries to show that this judgment is based on a delusion. He points out that the differential equations of the phenomenological viewpoint ultimately also require some "thought pictures" on which they are based, and that they could not be arrived at without them. [Cassirer (1937), 175]*

Cet extrait nous fait bien saisir tout le problème d'une physique utilisant le formalisme abstrait des équations différentielles, comme s'il était à lui seul le porteur des concepts, sans pour autant pouvoir s'affranchir d'un recours à des images. Un kantien parlerait de représentation, dans la réalisation d'un modèle. Nous sommes d'accord avec Boltzmann et Cassirer qui en rapporte l'opinion : cette façon d'opposer formalisme et image ne rend justice ni au formalisme ni à l'image.

Dans le cadre de la philosophie transcendantale, il suffirait de souligner que le formalisme mathématique, s'il peut être pensé sans excitation des sens, ne peut toutefois se faire sans le travail de l'intuition sensible et que l'image, même si elle peut faire intervenir les impressions des sens, ne se construit pas sans un recours au concept. Une image de l'atome reste une représentation. Maintenant, reste à savoir ce qui différencie le formalisme des équations différentielles des images d'atomes qui hantent les théories physiques, question à laquelle nous tenterons de répondre dans le prochain chapitre.

Encore une fois, on peut objecter que le fait de la science ne doit pas être confondu à l'espoir d'établir le vrai savoir, ne pouvant présumer que l'humanité n'arrivera jamais au génie qui pourrait s'affranchir des *fausses catégories pour réaliser pleinement les idées*; et ainsi retomber dans les critiques hégéliennes qui ne peuvent imaginer un discours sans clôture. [cf. Kojève (1973)]

Pour notre part, nous serions plutôt tentée de croire qu'il y a le concept comme guide (ou condition) de la représentation – et à ce titre les catégories limitatives permettent tout autant la représentation – et le concept comme *fondement négatif* de l'idée. Certes, il apparaît possible de donner une première résolution des antinomies par une synthèse des catégories dans les catégories. Cependant, plus haut, nous faisons état d'une dialectique comme déconditionnement de la raison qui s'affranchit ainsi de ces mêmes catégories. Or ce déconditionnement et la synthèse catégoriale ne doivent pas être identifiés.

En fait le problème de la cosmologie que tentent de dessiner les antinomies. loin de proposer la synthèse sous l'idée de communauté, de limitation ou d'autre chose. nous met en garde contre la tentation de penser le monde comme limitation de l'espace et du temps. Ainsi, après ce long détour, nous en revenons au commentaire de Philonenko. Dire, sous le mode des catégories, que la tension entre le fini et l'infini peut être résolue par l'idée de limitation, ce n'est pas dire que le monde soit limité dans l'espace et le temps, par exemple, mais seulement dire que le phénomène peut être ainsi pensé. En fait, l'erreur de penser un monde fini ou infini en extension. c'est donner à l'espace un statut ontologique qu'il n'a pas chez Kant. l'espace n'étant qu'une forme *a priori*. Et ce commentaire vaut également pour le temps.

Le déconditionnement de la dialectique transcendantale serait alors cet affranchissement des formes sensibles et le conflit de la raison serait bel et bien généré par l'infiltration de cette formalisation dans tout ce qu'elle pense. Nous ne savons penser le monde qu'en ce qu'il se présente à nous, le « à nous » n'étant pas innocent, tout naïf devant ce monde et prêt à le recevoir sans préjugé ou préjugement.

Que nous dit donc la dialectique transcendantale? Peut-être seulement que l'expérience se forme sous tous les modes catégoriaux et ne doit en privilégier aucun; et que si la combinatoire des concepts de l'entendement et des formes de l'intuition sensible est finie, et que donc nous pouvons espérer une science complète en ce sens. il reste que cette combinatoire n'est qu'un étalement des conditions de l'expérience. Peut-on maintenant véritablement opérer et achever le projet de cette dialectique, c'est-à-dire le déconditionnement de la raison? Nous affranchir de notre sensibilité une fois pour toute? Kant ne le croyait pas même s'il défendait la valeur de ce projet : comme un idéal qu'on se fixe parce que l'humain a besoin d'un phare pour continuer à naviguer.

Ce qui nous fait penser à cette histoire que racontent les maîtres du non-dualisme hindou (*advaita vedanta*) : il était une fois un homme qui vit briller au loin une

lumière. De l'éclat qu'il percevait, il conclut qu'il y avait là un monceau de pierres précieuses. Aussi, l'homme prit sa besace pour aller chercher le trésor. Il marcha pendant des jours, puis des mois en direction de l'éclat. Durant ce périple, il accumula une somme importante de rencontres, de connaissances et d'expériences, et sa marche solitaire lui donnait tout le temps de les méditer. Cependant jamais il ne parvenait à mettre la main sur les pierres. Et puis, un jour l'homme comprit qu'il n'y avait pas de trésor, mais seulement cette lumière. Or il n'en éprouva aucune tristesse, car il avait bien vécu.

## 2 FONCTIONS ANALYTIQUES ET STRUCTURE CAUSALE

*The answer that an epistemology of science gives to the problem of causality never stands alone but always depends on a certain assumption as to the nature of the object in science. These two are intimately interconnected and mutually determine each other. We can never understand the significance and basis of the causal concept of a given period or of a given tendency in scientific thought unless we ask about the concept of physical « reality » that is presupposed (...)*

Ernst Cassirer<sup>49</sup>

*It seems likely that this process of increasing abstraction will continue in the future and that advance in physics is to be associated with a continual modification and generalisation of the axioms at the base of the mathematics rather than with a logical development of any one mathematical scheme on a fixed foundation.*

Paul Dirac<sup>50</sup>

### 2.1 LA MÉCANIQUE QUANTIQUE COMME RÉALISATION DU RATIONALISME

On nous présente souvent une mécanique quantique en rupture avec la physique, fondant cette séparation sur une prétendue violation du déterminisme. Cette façon de présenter cette théorie, puis toutes les disciplines innovatrices en regard de la physique d'avant le XX<sup>ième</sup> s., a rendu possible toute une littérature qui culmine d'une

---

<sup>49</sup> *Determinism and Indeterminism in Modern Physics*, 1936, 6.

<sup>50</sup> *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*, 133 (1931), 60-72, cité dans *Vladimirov* (1979), v

certaine façon avec les travaux de T. Kuhn, proposant l'idée d'une science révolutionnaire, caricature de l'histoire sanglante des transitions de régimes politiques. Mais en fait, l'histoire des sciences nous apparaît beaucoup plus subtile, et si elle s'écrit bien souvent à partir de l'étonnement qui succède à certaines de ses découvertes et que nous pouvons nommer « paradigmes » les engagements d'une communauté à les approfondir, il existe peut-être une autre façon d'en caractériser les mouvements, relançant l'idée d'une dialectique qui à chaque époque se rééquilibre. Cette science ressemblerait dans son déploiement beaucoup plus aux « sphères » de Kant, lesquelles se différencient *intérieurement* suivant une articulation architectonique, qu'à cet arbre dont les branches s'élancent vers le ciel en oubliant ses racines.

Si nous invoquons dans ce second chapitre l'histoire de la physique, c'est que ce récit, si nous adoptons une approche critique, doit être considéré comme la base de nos considérations. *Le fait de la science* se manifeste dans cette histoire et, ainsi, notre compréhension de ce fait dépend de notre vision de cette histoire. Celui qui souscrit à une vision progressiste, linéaire et discontinue de l'histoire ne pourra se lasser d'en rechercher les points de rupture et les conflits, introduisant les idées d'ancien et de nouveau, discréditant la première au profit de la seconde. Cependant, une approche dialectique, si elle n'efface pas l'idée de saut, intégrera ces transitions comme autant d'étapes de l'élargissement d'une certaine conscience qui, s'enrichissant en connaissances, ne nie toutefois pas la pertinence des énoncés anciens, y reconnaissant les fragments qui constituent sa vision d'aujourd'hui.

Il est vrai que depuis Galilée, Descartes, Newton et Leibniz une nouvelle méthode d'investigation de la nature et de son langage s'est développée, méthode dont le raffinement a été poursuivi par Huygens, Lagrange, Laplace, Fourier, Maxwell, Faraday, Lorentz, Gauss et Riemann, pour ne mentionner que ceux-là. De même, il est vrai que les méthodes analytiques qui constituent le langage commun de ces physiciens peuvent être considérées comme un progrès dans l'histoire de la pensée

abstraite. Mais sommes nous justifiés d'affirmer que la mécanique quantique est en rupture avec tout cela ? Ou ne rendrait-elle pas encore plus manifestes les difficultés qui autrefois pouvaient encore être mises en veilleuse, non parce qu'elles étaient sans importance, mais parce qu'il y avait encore tellement à faire avant de tenter de résoudre ces difficultés?

Dans le précédent chapitre, nous avons vu que Kant, à travers sa *Critique de la raison pure*, aurait tenté de mettre un peu d'ordre dans cette physique qui, déjà à son époque, n'était pas sans apories et contradictions. Nous avons vu qu'un des motifs de cette critique était de trouver une façon de synthétiser les théories physiques en apparence contradictoires des Newton, Leibniz et Descartes et que l'articulation de cette synthèse a donné le tableau structuré des catégories, mais aussi qu'elle a obligé Kant à repenser la nature de l'espace, du temps et des concepts. Maintenant, nous voulons démontrer que la physique du XX<sup>ième</sup> n'est pas sortie de ce programme, qu'au contraire, elle l'a réalisé, faisant résolument du principe de causalité, mais aussi des concepts tels que la substance ou la quantité, des catégories de l'entendement, ce qui rend caduque et non avenue toute tentative d'*ontologiser* une représentation particulière de la substance, d'attribuer à la quantité une réalité indépendante de l'acte de mesure, mais aussi toute lecture dogmatique du déterminisme, cette autre façon de dire « causalité », ce qui ne veut pas dire que ces concepts n'aient plus aucun droit de citer dans le discours scientifique, bien au contraire.

Grete Hermann [cf. Hermann (1934), 94 *sq.*]<sup>51</sup> et Ernst Cassirer [Cassirer (1936), 3 *sq.*], voient dans les résultats de la mécanique quantique plus qu'une remise en question du déterminisme classique : ils y voient la possibilité d'un approfondissement du criticisme kantien. Mais reprenant l'opinion de Cassirer dont

---

<sup>51</sup> Dans son autobiographie *La partie et le tout : Le monde de la physique moderne*, [163-173] Heisenberg résume les grandes lignes du débat qui eu lieu en 1933 à Leipzig entre Grete Hermann, lui et ses collègues physiciens dont, notamment, Landau et Weizsäcker. Il est intéressant de voir comment Heisenberg, dans sa relation de ce débat, nous laisse entendre que G. Hermann, malgré son allégeance au néo-kantisme, semble donner à l'idée de cause un caractère réaliste. Pourtant dans l'opuscule qu'elle écrivit suite à ce débat, cette position n'apparaît pas.

nous avons cité le texte en exergue, ce résultat que l'on pourrait tirer d'une interprétation de la mécanique quantique ne signifie pas que les physiciens d'avant l'introduction des quantas n'aient pas souscrit à un certain dogmatisme et, conséquemment imposé une direction particulière à leur programme de recherche. En outre, si la philosophie transcendantale donne à la causalité un sens très général, pour ne pas dire universel, le physicien, lui, dans son individualité, ne peut que rarement donner corps à cet universel, s'attachant plutôt à l'étude d'un ordre de phénomènes caractérisé par quelques schèmes spécifiques.

Laplace, dans sa pratique, n'échappe pas à ces contraintes de la recherche et si, nous le dénonçons d'emblée, ce n'est toutefois pas pour le lui reprocher. Notre motif ici est bien plutôt d'inviter à faire la distinction entre le Laplace praticien de la physique mathématique et le Laplace sortant de cet univers de rigueur pour s'élancer dans celui d'une spéculation quasi poétique, imaginant l'inimaginable, invoquant ce qui pourtant sera toujours par-delà *l'incarnation du Logos*, distinction que nous devrions d'ailleurs rechercher chez tous les autres physiciens qui seront également ici appelés à comparaître. Toutefois cet appel à distinguer l'œuvre de la raison du fruit poétique, ne constitue pas une invitation à privilégier la raison sur la poésie ou la poésie sur la raison, mais plus simplement à rappeler que si le poète inspire parfois l'homme de science et qu'il arrive à l'homme de science de suggérer un lexique au poète, le passage de la poésie à la science sera toujours une transformation ou, plus radicalement, un saut, dont on ne pourra jamais tout à fait prévoir l'altitude. Mais il est un curieux phénomène qui sème le trouble dans les consciences : parfois le passage du poétique au scientifique se fait si doucement que la transition nous échappe et, alors, la métaphysique devient ontologie.

## 2.2 *Le démon de Laplace : de la probabilité à l'incertitude*

En page 2 de son *Essai philosophique sur les probabilités* (1814), Laplace écrivait quelques lignes qui allaient profondément marquer l'histoire des sciences. Ce n'étaient que quelques lignes, entre d'autres lignes, qui ne faisaient pas un paragraphe. Et pourtant, cette phrase unique allait générer bien des commentaires et des débats. La voici :

*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 est assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule, les mouvemens(sic) des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir comme le passé, serait présent à ses yeux.*  
[Laplace (1814), 2]

Une certaine tradition, que Cassirer fait remonter à un discours prononcé en 1872 par du Bois-Reymond<sup>52</sup>, veut que toutes les motivations de l'esprit scientifique classique se trouvent résumées dans cette célèbre formule. Si bien que lorsque nous abordons le problème des sciences, il est devenu presque impossible de ne pas se pencher au moins une fois sur son énoncé, même si nous aurions envie d'écrire comme Cassirer : « *I begin with this picture of the Laplacean spirit, not because I consider this introduction logically appropriate or as particularly suitable psychologically, but for exactly the opposite reason.* » [Cassirer (1937, 1956), 3]

En fait, nous constaterons assez rapidement que cette tradition a pour ainsi dire gommé de cette formule toutes les formes du conditionnel qu'elle contient pour ne retenir que l'énoncé caricatural d'une intelligence omnisciente à laquelle l'intelligence humaine s'identifierait. En faisant abstraction de ces conditionnels, cette tradition s'est endormie dans un confortable rêve de certitude et n'a pu

---

<sup>52</sup> Cf. Émil du Bois-Reymond, *Über die Grenzen des Naturerkennens*, 1872; mentionné dans Cassirer (1937, 1956), 4.

qu'éprouver une grande consternation lorsque, à son réveil, il ne lui est plus resté que les expressions multiples du probable, la certitude s'étant évanouie en ne laissant dans les consciences qu'un plus ou moins vif sentiment de nostalgie.

Laplace, quant à lui, ne fut pas un dormeur et, en rétrospective, il est presque injuste de lui attribuer la paternité de ce rêve. Pour réhabiliter la mémoire de ce physicien mathématicien, ce qui au départ n'était pourtant pas notre intention, nous citerons un extrait de l'introduction de cet essai, afin qu'apparaisse clairement le contexte de son énonciation, ce qui jettera une toute autre lumière sur le problème :

*Cet Essai philosophique est le développement d'une leçon sur les probabilités, que je donnai en 1795, aux Écoles Normales où je fus appelé comme professeur, et qui parut dans le Journal des Séances de ces écoles. J'ai publié depuis peu, sur le même sujet, un ouvrage ayant pour titre : Théorie analytique des Probabilités. J'expose ici, sans le secours de l'analyse, les principes et les résultats généraux de cette Théorie; en les appliquant aux questions les plus importantes de la vie, qui sont en effet, pour la plupart, que des problèmes de probabilité. (...) Je désire que les réflexions répandues dans cet Essai, puissent mériter l'attention des philosophes, et la diriger vers un objet digne de les occuper. [Laplace (1814), 1]*

La formule de Laplace n'apparaît donc plus comme le message central du mathématicien. Au contraire, Laplace voulait par le biais de cet ouvrage attirer l'attention des philosophes sur la notion de probabilité, parce que « *les questions les importantes de la vie* » ne sont, « *pour la plupart, que des problèmes de probabilités* », questions qui englobent, entre autres, le jeu, la démographie, l'évaluation d'un témoignage et les théories physiques.<sup>53</sup>

---

<sup>53</sup> Le professeur David Aubin, maître de conférences à Paris VI et spécialiste d'histoire des mathématiques, nous faisait remarquer que Laplace adhérait au programme de Newton et à son ontologie atomiste, citant les articles de Dahan-Dalmedico, Chabert et Chemla [*Chaos et déterminisme*, Seuil, 1992] Cette discussion ayant eu lieu alors que nous terminions cette rédaction, nous n'avons pas eu ni les ressources ni le temps d'en intégrer les arguments et les conclusions. Aussi avons nous l'air plus indulgent avec Laplace que nous aurions dû l'être. Toutefois, et malgré que cette remarque donne un ton un peu plus dogmatique à Laplace, nous continuons de croire que le physicien mathématicien avait une vision peut-être plus générale que ce que nous pensons habituellement lorsque l'atomisme est invoqué. Souscrivant à l'atomisme de Newton, il est possible qu'il avait une conception

Cette section vise donc à débusquer les chimères d'un certain déterminisme soutenu par ce que G. Hermann nomme, non sans sarcasme, le *démon de Laplace* [Hermann (1935, 1996), 94], démon dont, pourtant, Laplace lui-même se serait bien ri. En fait, nous rangeant à l'opinion de Cassirer, le débat du déterminisme est un faux débat dans le cadre duquel serait confondues la causalité et une de ses représentations par une sorte d'hypostase ou réification du concept [Cassirer (1937, 1956), 8] : car dire que l'univers est causal, que rien ne s'y produit sans raison – véritable principe de la science –, ce n'est pas affirmer que l'univers est composé de corps aux frontières impénétrables dont la dynamique se réduit à la perturbation de trajectoires entièrement définies dans ce que nous appelons un espace réel. Et même si Laplace, suivant Leibniz et sa théorie des indiscernables, pose que deux effets distincts ne peuvent survenir d'un contexte identique – sans quoi il nous faudrait admettre le hasard, l'arbitraire, la magie ou les miracles –, nulle part il ne conclut que nous puissions identifier avec certitude les causes des phénomènes, les événements physiques étant trop complexes pour que nous puissions en arriver à une définition parfaite.

En fait, Cassirer relève dans ce débat plus qu'une hypostase de la causalité, mais la confusion qui y est maintenue entre les arguments expérimentaux, épistémologiques et métaphysiques. C'est peut-être ce qui arrive lorsqu'on érige au rang de principe ce qui au départ n'est qu'une sorte de tableau impressionniste, car le déterminisme dont il est question ici, s'il se cristallise dans cette formule, n'est peut-être en somme qu'une métaphore placée là, entre l'énoncé du principe de raison suffisante, le constat des succès de l'astronomie et cet autre constat, peut-être plus important encore, que le discours scientifique, en toute rigueur, s'il peut s'assurer du probable, ne peut que spéculer sur les certitudes. En fait, Cassirer l'affirme en écrivant : « *For Laplace*

---

*fluxiste* des équations différentielles et qu'ainsi l'objet de cette mathématique ne serait pas les êtres *atomiques* qui composeraient l'univers, mais leur mouvement, donnant à l'analyse non pas une portée ontologique (dans le sens de Parménide), mais dynamique, revenant ainsi à notre discussion du premier chapitre. Certes, cette façon de concevoir le mathématique ne règle pas le problème des singularités, mais c'est justement le but de notre mémoire que de mettre en lumière l'incontournable dualisme des théories physiques, l'impossibilité de faire l'économie des sauts.

*himself the idea of this formula was hardly more than an ingenious metaphor by means of which he sought to make clear the difference between the concepts of probability and certainty.* » [Cassirer (1937, 1956), 4] Pour reprendre notre distinction du début de ce chapitre, la communauté humaine allait confondre le poète et le scientifique, attribuant à la métaphore le statut de principe.

Dans la littérature qui s'occupe de ce problème, les défenseurs d'une science exacte et *omnipénétrante* ont déployé toutes sortes de stratégies, mais qui en bout de course visent toutes à rétablir cette idée que l'esprit humain puisse à travers les phénomènes retrouver l'essence des choses. Que l'on dénonce le caractère a-causal de la mécanique quantique, son incohérence ou son incomplétude, nous verrons que cette dénonciation est le fait d'une lecture particulière du rationalisme, rationalisme dont Cassirer écrit :

*The causal demand of Kepler and Galileo, of Descartes and Leibniz expressed no more than the conviction of the identity of mathematics and nature. Mathematical thought is no mere empty game of the intellect : it does not move in a narrow world of self-made concepts. On the contrary, it touches the very foundations of reality.* [Cassirer (1937, 1956), 12]

Pourtant, poser le rapport intime d'une mathématique avec la réalité, ce n'est pas tout dire du rationalisme classique. L'histoire des sciences nous apprend en effet que la conception des mathématiques a grandement évolué depuis Descartes.<sup>54</sup> Si la grande innovation de cette époque est d'avoir su appliquer dans une certaine mesure les nombres réels et leur relations possibles aux données de l'observation, des mathématiciens ont également *construit* d'autres entités et leurs relations, lesquelles vivent dans d'autres espaces que celui dans lequel nous nous repérons à l'aide d'une

<sup>54</sup> Pour saisir cette évolution, il suffit de consulter les ouvrages des grands mathématiciens des derniers siècles, parmi lesquels, outre Laplace, nous retrouverons Lagrange, de Moivre, Poisson, Euler, Gauss, Riemann, Borel, Poincaré, etc., noms qui sont facilement repérables, puisque la plupart ont servi à baptiser des méthodes et des théorèmes mathématiques. Pas un physicien ne s'est pas servi un jour d'un laplacien, des crochets de Poisson, du nombre d'Euler, d'une gaussienne, d'une géométrie riemannienne, comme il existe un théorème de Heine-Borel, des transformations de Poincaré, etc.

règle et d'un compas. Si nous interrogeons ces mathématiciens, ils affirmeraient peut-être que ces raisonnements (et ces calculs) sont tout aussi mathématiques que ceux qui sont permis par une théorie des fonctions réelles analytiques : et qu'ils le sont peut-être même davantage, parce que cette mathématique-là nous donne accès à un monde d'abstractions plus grand encore, lequel n'est pas tributaire de ce que nous pouvons projeter sur une feuille de papier à coups de crayon. En effet, dans le cadre de ces nouvelles mathématiques, les points et les lignes générés par une géométrie euclidienne, les règles d'inférences qui nous permettent d'y associer des algèbres, n'ont plus rien à voir avec une ontologie de corps solides et de trajectoires *réellement* continues, le monde balistique des obus et des boules de billards.

Par exemple, dès le moment où nous accordons à une fonction parabolique des solutions imaginaires (e.g.  $x^2+1=0$ ), le rationalisme nous dicte d'intégrer dans nos conceptions de la réalité ces nombres imaginaires et les relations qu'ils permettent, surtout si ces nombres et ces relations nous aident à élaborer des modèles qui nous permettent de mettre de l'ordre et du beau<sup>55</sup> dans nos expériences. La mécanique quantique, même si elle a recours à des espaces encore plus abstraits, ne contrevient pas à ce rationalisme. Ce qu'elle remet en question, c'est l'ontologie elle-même, cette croyance que la réalité est composée d'atomes, petites entités insécables, multiples, mais pour le reste, en tout point semblable à l'idée parménidienne de l'Être.

---

<sup>55</sup> L'idée du *beau* comme guide scientifique, même si nous n'avons pas eu la chance de la retrouver dans les écrits philosophiques qui nous sont tombés sous la main, ne devrait peut-être pas être omise. Invoquant encore une anecdote d'étudiant, un professeur de physique nous avait dit un jour, commentant la révolution copernicienne, que l'héliocentrisme l'avait emporté sur le géocentrisme beaucoup plus pour des raisons d'esthétique et de simplicité de calcul qu'autre chose, le traitement des épicycles étant devenu par trop laborieux. Et à vrai dire, il avait raison. En effet, il existe un modèle plus précis encore, la théorie de la gravitation, dans le cadre duquel, on peut bien concevoir un centre, mais ici un centre de masse qui, bien que très près du centre du soleil, ne doit pas être confondu avec ce dernier, car ce centre est défini par la moyenne pondérée de l'astre, des planètes, des satellites, des astéroïdes et autres corps qui composent le système solaire. Dans ce cadre, l'héliocentrisme est rendu caduque, car même le soleil tourne autour de quelque chose, certes une abstraction mathématique, mais cela reste une *autre chose*. Et si nous concevons la dynamique d'un système plus vaste encore, nous constatons que ce centre lui-même est imprimé d'un mouvement, qu'il se dirige selon l'apex tout en tournoyant emporté par la rotation de la galaxie, cette dernière participant à la dynamique d'un amas galactique qui fait partie d'un super amas, etc. Une étude de l'astronomie, en définitive, nous oblige à revoir sans cesse nos repères.

Deux types de critiques sont adressés à la mécanique quantique : la première concerne son apparente violation du déterminisme, tentant d'y débusquer des incohérences conceptuelles [cf. les minutes de la Conférence de Solvay (1927)]; la seconde, sa présumée incomplétude [E.P.R. (1935) ; Bohr (1935)]. En rétrospective, on pourrait conclure que ces deux moments de la critique ne sont en fait que deux façons de dire la même chose : cette théorie ne permet pas de fonder une métaphysique des corps.

Mais une étude approfondie des modèles pré-quantiques ne donnerait peut-être pas au rêve des atomistes plus de consistance. Rappelons-nous seulement quelques éléments d'histoire des sciences: la théorie corpusculaire de la lumière, qui a été énoncée par Newton sur le modèle de la gravitation universelle, ne peut rendre compte du phénomène de réfraction, même le contredit, car la lumière qui, selon ce modèle, devrait être accélérée dans un médium est, dans les faits, décélérée. [Cf. loi de Snell-Descartes] On passe rapidement sur cette anecdote de l'histoire des sciences, qui pourtant força Huygens à forger sa théorie ondulatoire. On retiendra plutôt le prix Nobel de Einstein qui lui fut attribué pour son observation de l'effet photoélectrique, phénomène qui relança l'idée d'une lumière corpuscule, désormais appelé « photon ». Pourtant, ce modèle, même s'il réintroduit l'idée d'une lumière localisable, nous oblige à la concevoir d'une curieuse façon, la lumière devenant ces petits paquets d'énergie chevauchant les crêtes d'une onde infinie – reprise abstraite du fameux rêve d'Einstein qui se voyait chevauchant un rayon lumineux –, nous laissant dans l'embarras de définir la relation du cavalier à sa monture. En somme, le dualisme que plusieurs ont reproché à la mécanique quantique lui préexistait. Aussi nous nous demandons si ce n'est pas plutôt le monisme qu'il faudrait remettre en question, du moins nos façons de le définir.

Néanmoins, le déterminisme classique a fait école et, comme le mentionne Cassirer, il fut largement invoqué dans le cadre des débats qui entourèrent l'émergence des théories quantiques. [Cf. Cassirer (1936), voir aussi Jammer (1966)] En outre, bien

des décennies plus tard, on présentera toujours aux étudiants de physique une mécanique quantique en violation d'avec le déterminisme et c'est la dénonciation de cette supposée transgression qui piquera la curiosité. Certes lorsque l'on décrète comme Langevin que « *le déterminisme est la base nécessaire de toute science* » [in Kojève (1932), 259]<sup>56</sup>, dire que la mécanique quantique le viole met en péril le statut scientifique de cette dernière.<sup>57</sup> Pourtant on peut remettre en question le décret lui-même ou, plus prudemment, commencer par se demander ce qu'il veut dire au juste.

Voyons maintenant ce qu'en tire Kojève tout en notant que le manuscrit dans lequel il a consigné ses raisonnements ne fut pas publié de son vivant et qu'il y a peut-être d'excellente raison pour cela<sup>58</sup>.

*(...)1° Pour formuler l'idée du déterminisme causal Laplace introduit la notion d'une « Intelligence », d'un sujet connaissant. Cette « Intelligence » possède, certes une faculté de connaître qui dépasse infiniment (le monde est supposé être infini) celle de l'homme.*

<sup>56</sup> Notons toutefois qu'ici Langevin ne défend pas une vision atomiste de la réalité physique, bien au contraire. Kojève souligne lui-même que le physicien était prêt à « *renoncer à l'individualité [de l'électron] et conserver ainsi le causalisme* ». [Kojève (1932, 1990), 260] Mais le philosophe refuse de considérer plus avant la proposition de Langevin pour une raison très hégélienne : le causalisme invoqué par le physicien est kantien, c'est-à-dire qu'il est fondé sur le fait de la science et non sur une vérité externe, par-delà, transcendante. Or nous dit Kojève, et c'est là tout son argument, une telle façon de concevoir la causalité ne le convainc pas, parce qu'elle nous obligerait à considérer l'astrologie comme science et la destinée humaine comme principe. À notre tour de ne pas être convaincu et pour deux raisons : l'origine du raisonnement astrologique se perd dans la nuit des temps (argument d'ignorance) et il manque à l'astrologie une méthode de vérification rigoureuse, méthode qui, si elle lui était appliquée, donnerait des résultats que nous ne sommes pas en mesure d'anticiper. En somme, nous craignons la facilité de l'argument qui rejette d'emblée l'astrologie plus par préjugé qu'autre chose. Cela dit, cela ne fait pas de nous un défenseur de l'astrologie pour autant. Mais il reste dommage pour Kojève d'avoir fait la sourde oreille à la proposition de Langevin.

<sup>57</sup> À l'époque nous considérons déjà que cela aurait été faire un bien grand sacrifice que de renoncer à cette théorie, considération qui tenait bien plus à une intuition naïve qu'à autre chose, qu'à un sentiment que nous sommes tentés de qualifier d'esthétique, étant ravis par les possibilités que laissait poindre la théorie. Voilà un argument bien peu philosophique, mais il y a dans le choix d'une perspective plutôt qu'une autre – ou d'un objet de considération – des raisons qui ne sont pas toujours logiques ou rationnelles. Nous devons admettre que tout notre travail ne visait qu'une seule chose : rattrapper la mécanique quantique, comprendre comment, malgré les préconceptions, il demeurerait possible de la considérer comme science. Certes, nous aurions pu faire comme bon nombre de physiciens et faire la sourde oreille à ce débat. Plutôt nous avons voulu comprendre les motifs de cet ostracisme potentiel.

<sup>58</sup> Cette publication posthume de l'essai de Kojève, en définitive, devrait plutôt intéresser ceux qui voudraient écrire une biographie philosophique de l'homme que ceux qui se penchent sur les débats de la physique moderne.

*Mais la différence est seulement quantitative et non qualitative : l'Intelligence de Laplace connaît le monde en lui-même et non en le comparant à d'autres « mondes »; le monde lui est donné de la même manière qu'il est donné à l'homme – lui est donné, pour ainsi dire, « du dedans ». Sa connaissance a un caractère « temporel »: elle contemple le monde non pas sub specie aeterni, mais d'un point de vue pour lequel les notions de passé, de présent et d'avenir ont un sens. Ainsi l'affirmation par Laplace du déterminisme causal universel revient à l'affirmation de la possibilité de prévoir l'évolution postérieure et antérieure en partant de la connaissance d'un état momentané, pour une intelligence semblable à celle de l'homme, mais indéfiniment élargie: 2° la prévision est détaillée. On peut prévoir non seulement l'évolution du monde dans son ensemble, mais encore celle de n'importe lequel de ses éléments. D'ailleurs, tous les éléments sont solidaires, et aucun d'eux ne peut changer sans modifier le reste: 3° la prédiction est exacte. On peut connaître exactement et complètement l'état du monde à un moment donné, et prévoir tout aussi exactement et complètement, à l'aide de lois générales, son état à n'importe quel autre moment. Il n'y a donc rien d'indéterminé : les prévisions exactes portent sur toutes les questions qui ont un sens physique. [Kojève (1932), 48-49]*

Ce commentaire appelle à la critique de plus d'une façon. En fait, nous serions tentée d'écrire que Kojève tombe dans tous les pièges et que c'est en cela que son commentaire peut intéresser.

D'abord, Kojève pose que la seule différence qui existerait entre l'Intelligence fictive et l'intelligence humaine est de l'ordre de la quantité. Pourquoi? Kojève ne le dit pas explicitement. Mais suivons l'hypothèse selon laquelle cette affirmation reposerait sur l'idée d'un monde infiniment étendu. Pourtant, il n'est pas évident que le monde envisagé par Laplace soit infini dans ce sens et que ce soit cette infinité du monde qui fonde la différence entre cette intelligence fictive et l'intelligence humaine, en ce que si la vision de la première englobe l'univers entier, celle de la seconde n'en éclaire qu'une perspective, n'en englobe qu'une portion tout en supposant que ce fragment d'univers, toutefois, peut lui être entièrement donné. En somme, si nous nous permettons cette métaphore, c'est la même *lumière* que percevrait et l'intelligence fictive et l'intelligence humaine. En supposant trop vite que cette différence n'est que quantitative, i.e. que l'intelligence humaine a un pouvoir limité de contenir les données du monde et, donc, elle ne peut tenir en tête le registre infini des états pour un moment de tous les êtres – et nous ne parlons même pas de ses capacités limitées de calcul –, Kojève force une interprétation.

En qualifiant la différence de strictement quantitative, le philosophe introduit l'idée d'une identité qualitative des intelligences, leur attribuant à tort une même nature, ce qui lui permet d'affirmer que « *le monde lui est donné de la même manière qu'il est donné à l'homme* » Pourtant rien dans l'essai de Laplace ne permet une telle conclusion. Tout ce qui est dit de leur rapport est que « *l'esprit humain offre dans la perfection qu'il a su donner à l'astronomie, une faible esquisse de cette intelligence.* » Laplace ne glosant pas davantage sur la nature de cette « faiblesse ». [Laplace (1814), 2-3]

Nous croyons en fait que cette partie du commentaire de Kojève repose sur une compréhension erronée de l'analyse mathématique, comme si cette discipline était d'emblée donnée à l'homme, par science infuse, et que son achèvement se résume à l'analyse de fonctions réelles continûment différentiables, alors qu'à en croire les travaux de Lagrange, cette partie de l'analyse n'est qu'un compromis en attendant autre chose, parce que les techniques de calcul développées à son époque ne permettent pas d'aborder des problèmes plus complexes, par exemple d'établir les solutions des équations aux différences finies<sup>59</sup>. [cf. Lagrange (1813)]

Mais en présumant que n'est analytique que le continu réel, qu'à travers ce formalisme, l'esprit humain a progressivement et continûment accès à un infini, i.e. de proche en proche et sans saut, c'est comme si par le biais de cette mathématique, l'esprit humain était invité à se saisir de cette mystérieuse faculté que certains nomment intuition intellectuelle et qui permettrait la connaissance intuitive, cette forme de connaissance sans médiation, finalement créatrice, qui n'a pas besoin d'arrêter le temps pour faire le point. Comme nous l'avons vu dans le chapitre

---

<sup>59</sup> Avec l'invention et le perfectionnement des ordinateurs, les physiciens ne sont plus confinés aux techniques du calcul analytique, bien que nous ne puissions reprocher à Kojève d'avoir omis, en 1932, ce dernier détail. Notons cependant que même avec les super-ordinateurs d'aujourd'hui, il semble qu'on ne peut traiter avec précision des systèmes physiques constitués de plus de 15 particules.

précédent, Kant ne la croit pas humaine, mais il faut dire que l'hégélianisme de Kojève lui fait peut-être croire qu'une telle faculté nous est impartie<sup>60</sup>.

Notre critique peut sembler par trop spéculative, parce que Kojève ne dit pas explicitement que l'identité qualitative des intelligences tient au pouvoir mathématique qu'elles partageraient. Pourtant, lorsque l'on pose qu'il y a d'un côté les états physiques caractérisés par des nombres tirés de mesures et de l'autre des lois dites universelles identifiées aux expressions réelles analytiques; et que l'on distingue entre identité quantitative et qualitative, associant la quantité au mesurable et la qualité à la relation, l'identification de l'identité qualitative des intelligences en termes de pouvoir mathématique nous semble aller de soi, d'autant plus que dans le cadre du rationalisme, c'est justement le mathématique qui est posé comme fondement de la connaissance et de la réalité et qui, par cette double fondation, permet de conclure en l'adéquation du savoir et du réel.

Notons également qu'il est curieux que, plus loin, Kojève précise que l'intelligence de Laplace ne saisit pas les choses *sub specie aeterni*, mais dans la temporalité, distinguant un avant et un après maintenant [cf. Kojève (1932, 1990), 48], commentaire qui nous semble trahir Laplace, puisque sa formule se termine bien par les mots suivants : « *l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux* », ce qui, à notre avis, ressemble beaucoup à une abrogation de la temporalité, l'avenir et le passé se confondant dans le présent.

En fait, le commentaire de Cassirer nous semble beaucoup plus près de ce que nous pouvons lire dans le texte de Laplace. Il écrit : « *The Laplacean formula does no more than establish the empirical employment of a given concept and then extend this employment into the unconditioned in that it pushes this employment beyond the limits always present in*

---

<sup>60</sup> Pour notre part, nous n'adhérons pas à cette vision mystique des mathématiques et nous ne croyons pas que Laplace y eût souscrit lui-même. En tout cas cette mathématique ne serait pas analytique puisqu'elle donnerait immédiatement la synthèse; et c'est à ce demander s'il ne vaudrait pas mieux parler ici de *matematica theoria* comme les Pères de l'Église parlaient de *phusike theoria*, cette contemplation des choses dans leur essence divine.

*experience and frees it finally from all empirical restrictions.* » [Cassirer (1937, 1956), 22] Or, Cassirer adhérant à l'entreprise critique, il faut comprendre que même la temporalité constitue, non pas un en-soi, mais seulement une condition de l'expérience, ici un mode de la réceptivité. Ainsi, la transgression des conditions de l'expérience (empirique) projetera le concept lui-même (ici le principe de raison suffisante) hors du temps; d'un point de vue kantien, cette projection revient à vider le concept de toute *substance*.

Certes, la formule de Laplace parle de « *soumettre les données de l'expérience à l'analyse* », ce qui à prime abord nous donne l'impression que cette intelligence procède à quelque chose, se déploie dans une temporalité. En fait, Laplace, par sa formule, nous plonge en plein paradoxe, Kant nous dirait, « en pleine antinomie », là où le fini et l'infini tentent d'établir un dialogue. Mais qui dit « tentative », ne dit pas « succès ».

Kojève, lui, succombe ici au dualisme des concepts en ne considérant qu'une lecture du causalisme. Cette attitude peut surprendre<sup>61</sup> considérant que dans son commentaire sur Kant, Kojève passe beaucoup de temps à expliquer ces antinomies et en particulier à nous révéler le vide créé par l'application des existentiels<sup>62</sup> à l'Être, cette application générant, en fait, plus que des paradoxes, c'est-à-dire qu'elle fait place tout bonnement à la contradiction en établissant des arguments du type « cercle-carré », disant pour un temps ce qui est aussi éternel, confondant être et existant [Kojève (1973)]<sup>63</sup> En posant la réalité d'une intelligence infinie, mais procédurale, il y a fort à parier que l'on tombe dans ce type de contradiction. Mais Kojève fait le saut en donnant un caractère absolu à ce qui dans les faits, n'est qu'une méthode expérimentale, laquelle impose à celui qui l'utilise d'établir des conditions

<sup>61</sup> Mais il faut dire que l'essai sur le déterminisme précède de 40 ans celui sur Kant.

<sup>62</sup> I.e. les concepts empiriques, lesquels n'ont de sens que dans un cadre spatio-temporel

<sup>63</sup> Ce mode de la contradiction nous rappelle un vers célèbre de Paul Éluard, « *La terre est bleue comme une orange. Jamais une erreur les mots ne mentent pas* », le poète libérant par la contradiction les mots de leur référence.

d'application et, même, lui permet d'omettre des termes de convergence – ces petits restes jugés négligeables mais dont la théorie du chaos a fait le battement d'aile d'un papillon –, qui pourtant sont peut-être les ponts vers cet infini tant recherché.

Ainsi Kojève donne ses deux versions de la formule du déterminisme. La première se lit comme suit :

*Formule subjective : Si nous possédons, 1) une connaissance expérimentale rigoureusement exacte de l'état physique du contenu d'un volume fermé quelconque absolument isolé de toute influence extérieure, au moment  $t_0$ , et, 2) une connaissance théorique de la loi causale appropriée, nous pouvons, en introduisant les données expérimentales dans la théorie, prévoir exactement l'état physique qu'avait ou qu'aura ce contenu à n'importe quel moment  $t$ ; si le volume n'est pas isolé, la prévision pour le moment  $t$  (postérieur à  $t_0$ ) ne pourra être faite que si nous connaissons toutes les influences que subit le volume pendant la période de temps écoulée entre  $t_0$  et  $t$ . [Kojève (1932), 254].*

La seconde :

*Formule objective : tous les contenus isolés (ou subissant toujours les mêmes influences extérieures), qui réalisent à un moment quelconque de leur évolution la même configuration momentanée, réalisent aussi nécessairement les mêmes configurations antérieures et postérieures : – les mêmes « causes » ont toujours et partout les mêmes « effets ». [ibid.]*

D'abord ce qui nous agace dans ces formules que Kojève considère comme équivalentes à la formule de Laplace, mais qui à notre avis n'en restreignent que le sens, est l'utilisation de la locution « *connaissance expérimentale exacte* »; ensuite son évocation de « *volumes fermés absolument isolés* » ou « *de volumes non fermés et isolée, mais pour lesquels nous connaîtrions toutes les influences extérieures* ».

Premièrement, parler de connaissance expérimentale exacte n'a pas de sens pour Laplace.<sup>64</sup>, l'exactitude expérimentale n'étant atteignable qu'à la limite d'une expérience infinie :

---

<sup>64</sup> Si quelques physiciens ont espéré établir des vérités, ceux-ci étaient probablement plus théoriciens qu'expérimentateurs, grands utilisateurs et amateurs de mathématiques, se fiant davantage à ces mathématiques pour leur apporter quelque révélation que sur ce qui se passe dans un laboratoire.

*Les phénomènes de la nature sont le plus souvent enveloppés de tant de circonstances étrangères, un si grand nombre de causes perturbatrices y mêlent leur influence; qu'il est très-difficile, lorsqu'ils sont fort petits, de les reconnaître. On en peut alors y parvenir, qu'en multipliant les observations; afin que les effets étrangers venant se détruire, les résultats moyens mettent en évidence ces phénomènes. On conçoit par ce qui précède, que cela n'a lieu rigoureusement que dans le cas d'un nombre infini d'observations: dans tout autre cas, les phénomènes ne sont indiqués par les résultats moyens, qu'avec une probabilité d'autant plus forte, que les observations sont en plus grand nombre, et dont il importe d'apprécier la valeur. [Laplace (1814), 49]*

Mais encore là, le seul argument du nombre ne suffit pas, car dans le cadre d'une théorie des probabilités, cet accroissement du nombre, s'il augmente la probabilité d'une réponse plus précise à la question que l'on pose aux phénomènes, n'offre pas non plus de certitude, cette certitude ne pouvant être établie qu'à l'infini. Nous pourrions ajouter que l'*expérience infinie* n'étant pas réalisable, l'infini devient le *toujours inachevé* de toute expérience et, de là, de toute science, ceci nous rappelant à l'analyse kantienne de l'expérience que nous avons développée dans notre précédent chapitre.

Ensuite, tous les physiciens s'accordent à penser qu'un volume fermé absolument isolé n'est qu'une fiction, utile certes, mais qui ne sera jamais qu'une fiction. Quant à dire la possibilité d'une connaissance totale de toutes les influences extérieures, n'est-ce pas qu'une façon de déplacer le problème?

Plus haut, Kojève avait associé loi causale et structure analytique. [Cf. Kojève (1932), 49] Or dans son essai, Laplace pose les expressions analytiques comme énoncé « *d'une méthode* » qui permet de ramener sous des « *lois générales* » – et non pas « *universelles* », il faut le souligner– le comportement des « *phénomènes observés* ». Ici, Laplace ne dit rien de l'essence des expressions analytiques (et encore moins de leur présumé calque de la chose en soi) ni du pourquoi l'esprit humain ne pourra jamais atteindre l'infini bien qu'au sujet du passage du fini à l'infini, Laplace écrit ceci :

*Le passage du fini à l'infiniment petit, répand un grand jour sur la métaphysique du calcul différentielle. On voit clairement par ce passage, que ce calcul n'est que la comparaison des coefficients des mêmes puissances des différentielles, dans le développement en série, des fonctions des indices augmentés respectivement de différentielles indéterminées. Les quantités que l'on néglige comme étant d'un ordre d'infiniment petits, supérieur à celui que l'on conserve, et qui semblent par cette omission, ôter à ce calcul la rigueur de l'algèbre, ne sont que des puissances des différentielles, d'un ordre supérieur à celui des puissances dont on compare les coefficients, et qui par là, doivent être rejetées de cette comparaison; ensorte que le calcul différentiel a toute l'exactitude des autres opérations algébriques. [Laplace (1814), 33]*

Ce passage nous éclaire sur un point : les expressions analytiques correspondent bien à des fonctions comme séries de puissances, fonctions dont nous étudierons les formes dans notre section sur le théorème de Taylor.

Mais tout ça ne nous dit pas comment le monde serait donné à l'intelligence fictive de la même manière qu'il est donné à l'homme, et qui plus est, « *du dedans* ». En fait nous continuons de soupçonner Kojève de forcer dans l'énoncé de Laplace cette idée d'une intelligence créatrice, alors que, en définitive, le motif de Laplace, comme il apparaît d'entrée de jeu, ne semble être qu'une exploitation du principe de raison suffisante tel qu'énoncé par Leibniz dont, en plus, on aura évacué toute connotation téléologique, en ramenant le principe de raison suffisante à l'idée de cause efficiente qu'il pose comme axiome et dont on retrouve la formule : « *qu'une chose ne peut pas commencer d'être, sans une cause qui la produise* » [Laplace (1814), 2] Le but de Laplace n'est pas de re-crée le monde en le re-présentant, mais d'en discerner les causes.

Il nous faut revenir ici aux prémisses-mêmes du raisonnement du mathématicien, lesquelles ne sont pas à rechercher bien loin, puisqu'elle apparaissent dans les deux paragraphes qui précèdent l'énoncé du déterminisme. L'hypothèse du déterminisme, même si c'est une hypothèse forte et dont on ne voudrait pas faire l'économie, vise d'abord à évacuer l'idée attribuée aux épicuriens d'un hasard aveugle.

Que Laplace dénonce la tentation de s'en remettre au « *hasard aveugle des épicuriens* », a peut-être un sens ontologique, mais cette dénonciation ne rend pas entièrement compte des conditions de l'expérience et des méthodes mathématiques qui permettent de les formaliser. Même si, par sa formule, Laplace rêve d'une connaissance totale du monde, le rêveur n'est pas dupe de son rêve et sait bien, comme on le constate à la lecture de son essai, que sa pratique réelle de physicien est entravée par des conditions insurmontables. En somme, dire qu'il ne faut pas admettre d'entrée de jeu le concours du hasard, ce n'est pas dire que, en définitive, nous puissions entièrement l'éradiquer de nos conceptions; et invoquer ce hasard n'est peut-être qu'une façon de dire notre ignorance des causes infimes qui pourraient rendre compte des différences infimes entre les choses, notre incapacité de comprendre tous les liens qui les unissent, parce que dans ce monde où toute chose est solidaire de toutes les autres, les rapports sont d'une complexité qui dépasse les capacités de notre entendement. Laplace écrit donc : « *De l'ignorance des liens qui les unissent au système entier de l'univers, on les fait dépendre de causes finales, ou du hasard, suivant qu'ils arrivaient et se succédaient avec régularité, ou sans ordre apparent; mais ces causes imaginaires ont été successivement reculées avec les bornes de nos connaissances (...)* » [Laplace (1814), 2] écorchant au passage les explications téléologiques, faisant de la régularité de certains événements le fait des lois physiques et non pas d'un quelconque projet supérieur; et de l'extraordinaire le résultat de circonstances rares, mais non miraculeuses. En outre, ce passage spécifie que le combat contre l'ignorance est conditionné par les limites du savoir.

Suivant en ceci Leibniz, il maintient que « *la volonté la plus libre ne peut sans motif déterminant, (...) donner naissance (aux actions même les plus indifférentes); car si toutes les circonstances de deux positions étant exactement les mêmes, elle agissait dans l'une et s'abstenait d'agir dans l'autre, son choix serait un effet sans cause (...)* » [Laplace (1814), 2] En fait, et d'entrée de jeu, Laplace pose que si de petits événements semblent vouloir échapper aux grandes lois de la nature, ce n'est pas parce qu'ils y échappent

en effet, mais parce que nous, humains, ne savons reconnaître « *les liens qui les unissent au système entier de l'univers.* »

Cette part d'ignorance ferait du calcul des probabilités la seule méthode authentiquement humaine. Laplace écrivant plus loin : « *La probabilité est relative en partie à cette ignorance, et en partie à nos connaissances.* » [Laplace (1814), 4]

Kojève semble comprendre tout cela alors qu'il écrit : « *l'Intelligence de Laplace n'est qu'une fiction, et que personne n'a jamais pensé que la physique puisse vraiment atteindre la connaissance que cette Intelligence est supposée posséder. Mais si la prévision laplacienne est un but infiniment éloigné, c'est aussi un but infiniment approchable.* » [Kojève (1932), 49] Pourtant il persiste à attribuer à Laplace cette idée selon laquelle la connaissance humaine est de même nature que celle de cette intelligence fictive, i.e. une connaissance du « monde en soi » [*ibid.*, 281]; et de poser que l'acceptation de « *la formule de Laplace [permet] à la physique [de postuler] par cela même l'existence d'une structure déterminée [causale] du monde réel qu'elle étudiait.* » [*Ibid.*, 49], structure, nous le répétons, qu'il associe aux fonctions analytiques [*ibid.*, 51].

C'est donc dire que la structure causale exacte est basée sur un processus d'inférence analytique qui lie les « états temporels » d'un système. Kojève mentionne bien que le déterminisme causal nécessite une dissymétrie des variables d'espace et de temps, i.e. que la prévision se fait dans le temps à partir d'une « mesure » des configurations spatiales du système. [Kojève, 50] Comme nous l'avons vu, cette dissymétrie est nettement établie dans l'esthétique transcendantale de Kant où le temps est fixé comme un absolu, i.e. que « *le temps est une représentation nécessaire qui joue le rôle de fondement pour toutes les intuitions* » [CRP, 126], alors que toute représentation de l'espace doit être « *originellement une intuition* ». [*ibid.*] Ainsi, Kant considère les postulats fondamentaux de la géométrie comme issus « de la conscience de leur nécessité ». Ce qui implique que la notion d'espace est dépendante de l'intuition du temps, laquelle, nous le rappelons, est cette *conscience*. D'où la dissymétrie.

Mais revenons au concept de fonction analytique.

*La différence entre fonctions analytiques et non analytiques consiste en ceci que seules les premières peuvent être construites complètement à partir d'un élément donné. Or, appliqué aux séries des configurations momentanées du monde, ceci veut dire que les séries « analytiques » (ou « déterminées ») sont prévisibles, et que les séries « non analytiques » (ou « chaotiques ») ne le sont pas. [Kojève, 53]*

Nous devons nuancer ces propos en spécifiant d'abord qu'un système est analytiquement déterminé si nous possédons la connaissance de chacune des données correspondant à chacun des degrés de liberté du dit système; et ensuite, qu'une série statistique, si elle n'engendre pas de modèle de prédiction univoque, n'est pas non plus chaotique<sup>65</sup>. [cf. *Ibid.*, 207]

### 2.3 DEUX THÉORÈMES

*Pour des raisons hors de notre contrôle, nous avons dû abréger cette section.. Contrairement à ce qui avait été annoncé, nous ne donnerons donc pas une critique des théorèmes de Cauchy et de Taylor à travers une tentative de comprendre ce que veulent dire les notions de topologie, de métrique, de convergence, de continuité et de différentiabilité; et d'en arriver à mieux cerner leurs limites d'application. Nous tenons toutefois à donner ici quelques-unes de nos intuitions, ceci afin de préserver la cohérence de notre mémoire. En effet, certaines parties de notre travail deviendraient incompréhensibles au lecteur sans elles.*

---

<sup>65</sup> Par « chaotique » on entend ici « désordonné », qui ne doit pas être confondu avec son acception plus moderne. En effet, les mathématiciens ont depuis quelque temps formulé une théorie du chaos, mais on peut se demander si un système pour lequel on peut poser des algorithmes de construction, même s'ils ne peuvent être résolus analytiquement, constitue vraiment un système chaotique, puisqu'un algorithme est toujours la représentation d'un ordre au moins formel s'il n'est pas causal.

D'abord, nous avançons que le langage privilégié par la physique moderne étant les mathématiques, il n'était peut-être pas inutile de rechercher dans ce langage un équivalent de la causalité ou, du moins, un type de structure d'inférence qui véhiculerait l'idée de liens causaux entre les événements physiques.

Consultant des ouvrages d'histoire de la science, nous y apprenions que le théorème d'*existence et d'unicité des solutions des équations différentielles* dont la première facture est attribuée à Cauchy [1830] pouvait être considéré comme une réponse positive à l'idéal de Laplace, i.e. une tentative de donner une forme mathématique au déterminisme classique [cf. Dahan-Dalmedico (1992)] Cependant, cette formule du déterminisme ayant été tiré de considérations sur l'énoncé philosophique du *principe de raison suffisante* [cf. Laplace (1814), Kojève (1932); v. aussi Leibniz (*Monad.: Théod.*), Schopenhauer (1847)], nous devons nous demander si le théorème de Cauchy ne réduisait pas ce principe philosophique de la même manière que l'idéal de Laplace lui imposait une lecture mécaniste.

Partant de l'énoncé de ce théorème et y reconnaissant une forme générale qui aurait pu englober le théorème de Taylor – ce dernier permettant une définition de la notion d'analyticité pour les fonctions réelles – [cf. Marsden (1974), Spivak (1980), nous tentions de voir dans cet énoncé quelle pouvait être la place du temps. Après une série de raisonnements et de considérations, nous en arrivions à la conclusion que le temps dans le théorème de Cauchy n'avait possiblement qu'un caractère paramétrique, c'est-à-dire qu'il ne devrait pas être identifié à une variable (ou observable, si nous utilisons la terminologie de la physique quantique) à laquelle nous pourrions faire correspondre une quantité physique (i.e. mesurable), mais que, en tant que paramètre, il ne servait qu'à garantir la cohérence de la représentation; et que, en ce sens, il n'avait peut-être pas d'autre signification que ce temps transcendantal que nous propose Kant, i.e. le temps comme idée de succession.

En outre, nous défendions que suivant cette piste, la paramétrisation temporelle pouvait être considérée comme une caractéristique locale, en supposant le principe du

prolongement analytique en théorie des fonctions, nous ne pouvions toutefois pas faire abstraction des coupures de temps qu'un tel principe impliquerait et que, tenant compte de ces coupures, la paramétrisation temporelle ne pouvait préserver la continuité qu'à l'intérieur des intervalles définis par ces coupures. Pensant que nous pourrions faire correspondre ces coupures à l'acte de mesure, cette piste d'investigation nous semblait prometteuse pour la résolution du problème qui nous intéresse. D'autant plus intéressante, que considérant l'introduction par Borel de la notion de recouvrement, nous pourrions traiter l'espace réel de la même manière que les autres espaces. Les sections qui suivent exploitent d'ailleurs cette conception.

En outre, nous y proposons<sup>66</sup> que la convergence n'était pas une propriété de l'arithmétique, mais de la topologie. Sachant que l'analyticité des fonctions dépend de la convergence des séries polynomiales qui permettent le calcul de ces fonctions [cf. Spivak], nous tirions que l'analyticité d'une fonction était vérifiée pour autant que cette fonction conservait la topologie de son domaine de définition et que, dans ce cadre, le temps en tant que paramètre n'était ni plus ni moins qu'une façon de dire les parties et la structure de ces espaces. Aussi la conception contemporaine de la géométrie, trouvant son fondement dans la topologie, il s'agirait de démontrer qu'il suffit de vérifier qu'une fonction conserve la structure topologique de son domaine de définition pour qu'elle soit considérée comme analytique. En d'autres termes, la fonction ainsi définie ne serait ni plus ni moins que la reconnaissance du caractère isomorphe de deux espaces.

Ainsi, nous défendions l'idée que le théorème de Cauchy, même s'il avait été énoncé pour des fonctions définies dans un espace réel (sans coupure), pouvait être appliqué dans d'autres espaces locaux, eux, construits suivant l'idée de juxtaposition, mais de juxtaposition d'autres intervalles dont la structure interne n'aurait pas à être calquée sur le modèle des réels, bien que ces espaces locaux pourraient être considérés

---

<sup>66</sup> La pertinence de cette proposition nous a été confirmée par le professeur David Aubin de l'Institut de Mathématiques de Jussieu (Université Pierre-et-Marie-Curie – Paris 6).

comme des sous-espaces compacts. En somme, nous défendons l'idée que ce n'est pas l'espace global comme juxtaposition des espaces qui supporterait la représentation causale, mais ses sous-espaces locaux.

En outre, cette méditation nous amènerait à remettre en question le *dogme cartésien* de la correspondance entre l'espace et les nombres réels, partant de l'hypothèse que si le nombre permet de nommer et d'analyser les parties d'un espace et leur agencement, le rapport du nombre à l'espace serait du même type que celui qui lie le concept aux choses.

Cela dit, nous nous apprêtons à utiliser ces *intuitions* dans notre entreprise de comprendre le sens de la théorie des fonctions généralisées, formalisme dont se sert la mécanique quantique.

#### 2.4 LA CAUSALITÉ DANS LES ESPACES D'HILBERT

Depuis les travaux des Taylor et Cauchy, les mathématiciens n'ont pas chômé. Lorsque Kojève suggère une correspondance, voire même une identité entre les fonctions analytiques et les structures causales, il mentionne bien les travaux de Borel sur les fonctions quasi-analytiques, qui comme les fonctions analytiques sont *données toutes entières dès qu'est donné un élément*, mais ne juge pas pertinent d'intégrer dans sa discussion les conséquences de l'existence de telles fonctions sur notre compréhension de la causalité. [cf. Kojève (1932), 51 et 126 n.7] À notre avis, ce jugement de non-pertinence est malheureux, car si, comme nous le suggérons plus haut, la causalité tient plutôt au caractère injectif d'une application qu'à un schème particulier lié à une topologie réduite à sa métrique, la généralisation de Borel, au contraire, est plus que pertinente.

Nous ne discuterons pas ici des travaux de Borel, nous contentant de signaler que ceux-ci, toutefois, par la fondation d'une théorie générale de la mesure dénombrable, ont permis d'affranchir l'analyse du *dogme euclidien* en introduisant la notion d'ensemble de mesure non-nulle, mais qui dans le cadre des travaux de Cauchy et Taylor est plutôt anachronique. En introduisant cette dernière notion dans l'univers mathématique et en défendant, en opposition aux méthodes analytiques, des méthodes constructives en mathématique, Borel et ses successeurs bouleverseront complètement la pensée mathématique. [Bourbaki]

Ce qui suit tient de ce bouleversement. Mais avant de plonger dans ce nouvel univers, nous ferons une brève escale dans le domaine de l'analyse spectrale.

#### 2.4.1 *Une première généralisation : l'analyse spectrale de Fourier*

L'analyse spectrale de Fourier a été introduite pour faire face aux difficultés d'intégration des équations de diffusion de la chaleur. En effet, Fourier constata dans le cadre de ses recherches sur la chaleur, que ce type de phénomène échappait à la description mécaniste newtonienne. [Cf. Fourier (1822), ij-ii] Or cette nouvelle branche de l'analyse nous ouvre une nouvelle perspective. Si les résultats précédents reposaient sur l'idée de segment dont le prolongement est une ligne au sens d'Euclide, Fourier propose une autre façon de décortiquer les figures, cette fois par l'utilisation des fonctions trigonométriques.

Les fonctions trigonométriques, d'une certaine façon, sont liées à la géométrie d'Euclide par le théorème de Pythagore. Seulement, la trigonométrie impose de nouvelles conditions à l'application de ce théorème. Certes, on peut définir les fonctions trigonométriques à partir des différents ratios des côtés d'un triangle rectangle inscrit dans un cercle de rayon unitaire et donc reconstruire les relations entre les fonctions trigonométriques à partir du théorème de Pythagore, mais cette représentation même à partir du cercle unitaire impose des bornes à l'image de ces

fonctions auxquelles les fonctions de type polynomial ne sont pas contraintes. leurs images pouvant se projeter à l'infini, si on peut dire.

Pourtant ce cercle unitaire, qui nous donne l'impression d'un espace fini. donne accès à un autre infini. En effet, on pourra parcourir la circonférence de ce cercle infiniment. Néanmoins ce parcours nous fera repasser par les mêmes points encore et encore, ce qui se traduit par la propriété suivante des fonctions périodiques:  $f(x+T) = f(x)$  pour une constante  $T > 0$  [cf. Tolstov (1962), 1]. Les fonctions trigonométriques sont donc bornées et périodiques. Elles s'annoncent donc parfaites pour le traitement des phénomènes quasi cycliques et à amplitudes bornées, comme l'oscillation d'un pendule ou tout autre mouvement harmonique.

Dans le cadre de l'analyse spectrale, donc, plutôt que de considérer les constructions rendues possibles grâce à l'idée de segment linéaire, on considérera les constructions trigonométriques. Ainsi on peut construire des séries qui sont les analogues des séries de Taylor, soient les séries de Fourier :  $\sum_{k=0}^{\infty} a_k \cos kx + b_k \sin kx$ . Tout comme pour les séries de Taylor, il existe un certain type de fonctions dont on pourra obtenir de bonnes approximations à partir de leur expansion en séries de Fourier.

Pourtant, la forme des séries de Fourier ne fait pas intervenir la notion de dérivée comme c'était le cas dans les séries de Taylor, alors que les constantes des séries de Taylor étaient données par l'évaluation des différentielles de la fonction à approximer. Plutôt, les coefficients sont donnés par des intégrales, appelées intégrales de Fourier. Ici nous ne donnerons la forme de ces intégrales que pour des fonctions de période  $2\pi$  [cf. Tolstov (1962), 13] :

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx dx$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nx dx$$

Pourtant, il ne faudra pas se laisser bernier par cette différence de représentation, sachant que les différentielles des fonctions trigonométriques sont des fonctions trigonométriques et que l'intégration est un analogue de la sommation pour des espaces continus.

Mais, cette méthode a le désavantage de ne permettre que le traitement de fonctions périodiques ou de fonctions pour ainsi dire tronquées pour lesquelles nous n'aurions besoin d'une approximation que pour un domaine borné. Fourier a toutefois généralisé sa méthode pour pouvoir traiter par l'analyse spectrale des fonctions qui ne sont pas nécessairement périodiques et qui ne sont pas définies dans un domaine borné. Il s'agit de la méthode des transformées de Fourier qui, dans le cadre de ce travail, est pertinente puisqu'elles interviennent de façon cruciale en mécanique quantique. En effet, la connexion entre les variables canoniquement conjuguées est donnée par de telles transformations. [Cohen-Tanoudji *et alii*, ] Ces transformées sont de la forme suivante [cf. Tolstov (1962), 190] :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(u)e^{ixu} du$$

et permettent de trouver l'expression de  $f$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} F(u)e^{-ixu} du$$

Nous ne pénétrons pas plus avant dans ce formalisme. Pour ce travail, il suffira de reconnaître quelles sont les formes élémentaires qui permettent ce type d'analyse comme le segment de droite permettait l'analyse construite sur la base d'une représentation géométrique euclidienne. Dans le cadre des séries de Fourier, l'intégration des fonctions trigonométriques semblent vouloir prendre la place des dérivées, alors que dans la méthode des transformées de Fourier, c'est l'intégration

*fonctionnelle* des formes de type  $e^{ix}$ , l'introduction de ces dernières formes constituant les premiers signes du bouleversement dont nous parlions plus haut.

En effet, si les fonctions trigonométriques peuvent être considérées comme des restrictions d'un espace réel, ces fonctions restent définies dans une topologie qu'on pourrait qualifier de localement euclidienne. Mais l'introduction de formes imaginaires dont l'*archétype* est la forme  $e^{i\pi\theta}$  lance un réel défi à notre conception de la notion d'espace topologique. Si les fonctions trigonométriques nous permettent de faire tourbillonner  $\mathfrak{R}^n$  dans une boule unitaire,  $e^{i\pi\theta}$  que l'on peut aussi écrire  $\cos \pi\theta + i \sin \pi\theta$  où  $i = \sqrt{-1}$  permet la définition d'espaces pour lesquels la métrique de base sera définie par la relation  $d(x, y) = \sqrt{x^2 - y^2}$  et dont l'espace de la relativité restreinte, appelé espace de Minkowski, n'est qu'un exemple.

Nous concluons cette section par la remarque suivante : un résultat important de l'analyse complexe consiste dans l'énonciation du théorème des résidus. Ce théorème permet d'approximer une fonction par une série de Laurent convergente même si elle n'est pas régulière en certains points pour autant que ces points soient dénombrables [cf. Nehari(1952), 122], la notion de régularité d'une fonction complexe étant l'analogue de la notion de différentiabilité pour une fonction réelle. [Cf. *ibid.*, 59] Ce théorème permet donc l'analyse de fonctions même si elles comportent des singularités, résultat, nous le répétons, d'une très grande importance. D'un point de vue topologique, l'analyse complexe permet ainsi le traitement d'espaces troués.

### 2.4.2 Une seconde généralisation : les fonctionnelles bilinéaires ou distributions

Une autre branche de l'analyse permet la construction d'un nouveau type d'objets : les fonctionnelles bilinéaires ou distributions<sup>67</sup>, aussi appelées fonctions généralisées. Ces objets, dont la représentation élémentaire est la fonction de Dirac notée  $\delta(x)$ , ont été introduits justement en raison des problèmes que soulèvent la mécanique quantique. La théorie qui définit ces objets nous projette dans un espace d'abstraction telle que les représentations géométriques habituelles ne nous seront d'à peu près aucun secours. En fait, cette théorie débute par un paradoxe qui a d'abord profondément rebuté les mathématiciens : *une fonction qui n'est définie non-nulle qu'en un seul point est pourtant intégrable*. En fait,  $\delta(x)$  n'est pas une fonction au sens classique, mais ce qui est appelé une fonctionnelle. [Vladimirov (1979), 5; Cohen-Tanoudji, 103]

De façon générale, une fonctionnelle  $\varphi(x_\alpha)$  est définie telle que  $\varphi(x_\alpha) = \int \delta(x - x_\alpha) \varphi(x) dx$  où  $\varphi(x)$  est une fonction  $C^\infty$ . D'une certaine manière ce formalisme permet de projeter une fonction dans un point ou une collection de points, les  $x_\alpha$  étant indicés, ce qui n'est pas sans rappeler la notion de réduction du paquet d'ondes qui suggère que lors d'une mesure, une entité  $|\psi\rangle = \sum a_i |\psi_i\rangle$  est réduite, selon la probabilité  $\|a_i\|^2$ , à l'un de ses états propres  $|\psi_i\rangle$ . [cf. Cohen-Tanoudji (1988), 220 sq.]

L'espace dans lequel sont définies les fonctionnelles est l'espace des fonctions  $C^\infty$ , i.e. infiniment différentiables. En fait, dans le cadre d'une théorie de la mesure et en

<sup>67</sup> Bien que l'on reconnaisse le recours à une théorie des distributions dans le formalisme de la mécanique quantique, nous ne croyons pas ce formalisme soit le propre uniquement de cette physique, puisque même les modèles classiques sont inférés sur la base de valeurs moyennes calculées à partir d'un échantillon de mesures, donc d'une distribution [cf. Kojève (1932), 118]. Notons que les relations de commutation de la mécanique quantique sont les analogues des crochets de Poisson que l'on retrouve en mécanique classique. [Heisenberg (1930), 86]

raison des problèmes de renormalisation, il faudrait s'en tenir à l'espace généré par les fonctions de carré intégrable ( $\mathfrak{L}^2$ ), précisant qu'il en est ainsi parce que ces fonctions sont isomorphes aux fonctions ou mesures de probabilités (dénombrables)  $\sigma$ -additives. Notons toutefois que cet espace  $\mathfrak{L}^2$  est un sous-espace de l'espace de fonctions généralisées et que, ainsi, toutes les propriétés de ces dernières sont préservées [cf. Vladimirov (1979), 17]; et qu'il constitue également un espace d'Hilbert noté  $\mathcal{H}$  [Halmos(1957), 20]

Les éléments de cet espace sont des fonctions, c'est donc dire des entités complexes, en tout cas, en apparence, plus complexes qu'une boule ouverte spatialement homogène et isotrope comme peuvent être conçus les nombres réels. Les éléments de l'espace  $\mathfrak{L}^2$  ressembleraient plutôt à une colonie de microorganismes déformables et dynamiques, peut-être même solidaires, si cette *métaphore des marais* nous est permise. Certes, à la base, ces fonctions de carré intégrable sont décrites dans le cadre d'une *géométrie réelle*, d'où elles tirent leurs propriétés *analytiques*, et nous pourrions donc en déduire que nous n'avons pas besoin d'autres espaces que l'espace euclidien. C'est sans compter avec le processus même de *généralisation fonctionnelle*, qui, nous le rappelons, plaque ces fonctions dans des sortes de singularités appelées *mesures dénombrables*. En somme, une fonction qui est généralisée devient une entité *inséparable*, un *tout infragmentable*, et il serait absurde de dire quelque chose du genre « il y a un quelque chose qui vit dans ce fragment-ci de la fonction ».

Reprenant le cas concret de la mécanique quantique, ce qui en constituerait l'objet ne serait pas une projection particulière d'un état, sa mesure, mais l'état lui-même, i.e.  $|\psi\rangle$ . En concevant les choses de la sorte, nous arrivons au résultat peut-être surprenant pour certains: si ce qui est l'objet de l'espace de la mécanique est  $|\psi\rangle$  et que pour le cas précis de la description de l'électron le  $|\psi\rangle = |\psi_+\rangle \oplus |\psi_-\rangle$  où les  $|\psi_+\rangle$  forment une base orthonormée dans l'espace de spin, on pourrait conclure qu'il est

absurde de parler d'un électron isolé, mais que le véritable objet de la description quantique est le couple électronique *spin up-spin down*<sup>68</sup>, peu importe son *étendue* dans un prétendu espace réel.<sup>69</sup>

En somme l'inséparabilité transforme complètement notre compréhension de l'espace. De l'idée de point qui le fondait au départ, il faudrait peut-être passer à celle de localité, comme les intervalles de Heine-Borel, mais dans un sens qui permette au concept de localité d'englober des espaces infinis, aussi infinis que les fonctions qui y vivent. Et ce type d'espace permet le maintien de la causalité si celle-ci est assimilée au caractère injectif des fonctions, car, rappelons-le, l'espace des fonctionnelles conserve les propriétés *structurales* des fonctions analytiques. [Halmos (1957)]

Ajoutons qu'ainsi, les fonctionnelles obéissent également au théorème d'existence et d'unicité des solutions des équations différentielles, mais seulement localement dans le sens précisé plus haut. Localement, il existe donc une *paramétrisation temporelle* de la géométrie. Notons que ce résultat nous semble aller tout à fait dans le sens des travaux de Y. Gauthier sur la notion d'observateur local, bien que nous y sommes parvenue par un chemin différent.

---

<sup>68</sup> Notons que dans l'équation de Schrödinger  $\frac{-\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + V(x)\psi + \vec{B} \cdot \vec{S}\psi = i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t}$ , le spin  $\vec{S}$  intervient comme observable couplée au champ magnétique  $\vec{B}$ . Il est facile toutefois de confondre ce spin  $\vec{S}$  avec ses composantes  $S_x$ ,  $S_y$  et  $S_z$ , confusion qui, à partir de l'analyse des expériences de Stern-Gerlach, nous laisserait croire que nous pouvons fixer une fois pour toutes la valeur du spin. En fait, la fixation de l'état spin par rapport à une composante, laisse la valeur des autres composantes de spin incertaines comme nous l'apprennent les relations de commutation  $[S_i, S_j] = i\hbar \epsilon_{ijk} S_k$ . [Cf. Cohen-Tanoudji et alii (1977), 397 et 386 sq.]

<sup>69</sup> Ce cas est l'illustration du *principe d'exclusion de Pauli*, principe à la base des statistiques de Fermi-Dirac, lesquelles rendent compte du comportement global des entités de spin demi-entier, dits *fermions*, ces derniers comptant pour tous les états de la matière. En physique des particules, une autre catégorie d'entités est introduite, appelées *bosons*, lesquelles ne sont pas régies par le principe d'exclusion de Pauli. Seulement, ces entités ne sont pas matérielles à proprement parler, mais correspondent aux phénomènes d'interaction, parmi lesquels les *rayonnements électromagnétiques* qu'on appelle aussi *lumière*. Il y aurait encore beaucoup à dire de cette simple observation.

Et peut-être pourrions-nous très bien rendre compte de la notion de stabilité chimique par l'inséparabilité du couple électronique *spin up-spin down*, nous rappelant que la chimie nous indique que les composés moléculaires ont tendance à se former par une sorte de volonté à s'approprier l'électron qui leur manque pour former ce couple, nous référant à la notion de valence.

### 2.4.2.1 Paramétrisation dans un espace d'Hilbert

L'existence d'une paramétrisation des *cellules* des espaces d'Hilbert fait appel à la notion d'opérateur unitaire  $U(t)$ . Originellement, deux modèles des phénomènes quantiques se sont développés parallèlement, soient: le formalisme de Schrödinger qui ne fait appel qu'au modèle ondulatoire révisé dans un champ vectoriel complexe; et l'algèbre matricielle de Heisenberg. Or, Schrödinger a fourni une preuve de leur équivalence mathématique [Ann. Phys. [4] 78 (1926)], laquelle est à la base de la théorie des transformations de Jordan-Dirac [von Neumann (1955), 17ff] unifiant les deux représentations. Fort de cette preuve, il nous est permis de raisonner d'abord sur le contenu du formalisme de Schrödinger, sans nécessairement aborder la théorie matricielle, pour ensuite trouver confirmation de nos intuitions dans le cadre plus général de la théorie des transformations.

D'un ensemble de mesures  $\{\Psi_\mu\}$ , on peut construire une fonction d'onde

$$\psi = \psi(q_1, \dots, q_{k+1})$$

où les  $q_i$  sont des variables référentielles.  $\psi$  représente alors une combinaison des états stationnaires possibles d'un système physique plongé dans des conditions de mesure définies dès qu'est conçue la règle de construction de  $\{\Psi_\mu\}$ , i.e. que  $\psi$  peut être exprimé en termes des états propres  $\psi_n = \psi_n(q_1, \dots, q_{k+1})$  tel que  $\psi = \sum_n a_n \psi_n$ ;

$a_n$  sont les coefficients choisis de telle sorte que  $\exists M > 0 \ni \|\psi\| \leq M$ . Les variables de configuration  $q_i$  désignent habituellement la position de la mesure, mais peuvent également inclure le temps  $t$  comme paramètre. Dans le cas particulier où l'on considère les états stationnaires  $\psi_n$ , cette dernière variable n'apparaît pas explicitement, mais on peut construire une phase tel que  $\psi_s = e^{-i\lambda t} \psi$  où  $\lambda$  est un paramètre propre, et dans ce cas particulier,  $\lambda$  correspond à la valeur de l'énergie

mesurée du phénomène que nous avons noté par  $[\Psi_\mu]$ . Or, si cette dépendance en  $t$  retrouvée à travers cette phase arbitrairement posée confère à  $\psi$ , son caractère analytique, on peut démontrer que cette phase géométrique n'est pas observable.

L'équation fondamentale de la mécanique quantique, suivant le formalisme de Schrödinger, se lit comme suit :  $i\partial_t\psi_t = H\psi_t$ , où  $H$  est l'hamiltonien (que l'on peut interpréter comme étant le bilan énergétique - potentiel et cinétique) du système. Or,  $H$  n'est pas nécessairement exprimé dans la base des états propres (ou stationnaires)  $\psi_n$ , puisque, *a priori*, nous ignorons tout du système sous observation, outre le fait que, ressemblant à une multitude d'autres systèmes sur la base de la connaissance desquels nous avons construit  $\psi = \sum_n a_n \psi_n$ , on cherche à prédire les probabilités de retrouver le système observé dans ce même état en posant que cette probabilité  $p_n = \|a_n\|^2$ , où les coefficients complexes  $a_n$  sont des nombres associés à la fréquence avec laquelle on a observé ces systèmes dans l'état  $\psi_n$ .

Toutefois, il existe une transformation linéaire  $U$  nous permettant de substituer à  $H$  un  $\bar{H}$  qui, lui, est exprimé dans la base  $\{\psi_n\}$  tel que  $H = U\bar{H}U^{-1}$ . Alors,

$$i\partial_t U\psi = \bar{H}U\psi$$

En vertu de l'équation générale de Schrödinger, on obtient le résultat supplémentaire  $\psi_t = U\psi_0$ .  $\bar{H}$  étant diagonale, il s'agit de résoudre l'équation aux valeurs propres  $[i\partial_t - \mathbf{I}\lambda]U\psi = 0$ . La solution triviale de cette dernière équation n'introduit pas de phase. Par contre, les solutions non-triviales sont de la forme  $e^{-i\lambda t}$ , laquelle est appelée la phase géométrique. (L'opérateur  $U$  est conséquemment appelé opérateur d'évolution.) Ce qu'il faut reconnaître, c'est que la donnée empirique, celle qui est construite directement de l'expérience, est l'état  $\psi$  et non  $\psi_t$ . La relation  $\psi_t = U\psi_0$  n'apparaît que par artifice mathématique, du fait que l'on veut représenter  $H$  dans la

base des états propres  $\{\psi_n\}$ . En introduisant ce facteur de phase, on remplit donc le premier critère d'analyticité. [Jauch (1968), 151ff; von Neumann, 14ff]

En fait, une fonctionnelle est dite causalement analytique si et seulement si 1) sa première dérivée temporelle  $\partial_t \psi_s$  est définie partout où  $\psi_s$  est définie, et 2)  $t$  est défini partout sur les réels, i.e. que  $t$  s'étend continûment sur un intervalle des réels. Toutefois, ces deux conditions ont un statut ontologique différent. La première est issue de la définition même d'analyticité, alors que la seconde repose sur un présupposé métaphysique, i.e. que l'on pose le temps continu a priori, avant toute observation empirique. En d'autres termes, nous concevons l'idée d'une causalité en mécanique quantique du seul fait de la conjonction de ces conditions, l'une mathématique, l'autre métaphysique.

La fonctionnelle  $\psi$  n'est donc rigoureusement qu'une superposition des états possibles d'un système posé comme loi en passant de la notion de fréquence ( $a_n$ ) à celui de probabilité ( $p_n$ ), et  $U$  n'est qu'une expression mathématique qui fait intervenir l'idée que l'état du système est indéterminable avant la mesure. La notion d'analyticité peut toutefois être considérée sous un autre rapport. Il s'agira en fait de retenir la nature fonctionnelle de la description du système et, alors, ce paramètre  $t$  n'est que local et n'a de *réalité* qu'entre les mesures.

Le temps de la mécanique quantique ne serait donc pas le temps, mais un temps comme idée de la succession des états causalement liés; ces états ne correspondant pas à différents phénomènes, mais constituant, par superposition, *un phénomène*. En fait ce temps régit le mode de superposition et non les états. Ce seraient les poids de ces états qui évolueraient et non les états eux-mêmes, les états, en somme, n'étant que les vecteurs d'une base de l'espace *quantique*. *Ainsi compris, nous aurions véritablement affaire avec un temps transcendantal.*

### 2.4.2.2 Transformation des bases vectorielles propres

Nous voulons attirer l'attention sur un des résultats de la théorie des fonctions généralisées : « *A remarkable property of the class of generalized functions of slow growth is that the operation of the Fourier transform does not take one outside that class.* » [Vladimirov (1979), 106], sachant que les *fonctions généralisées à croissance lente* sont toutes fonctionnelles linéaires continues [*ibid.* 94]

Mais si nous voulons terminer cette section par une brève discussion sur les transformées de Fourier, c'est qu'elles ont une application toute particulière en mécanique quantique : elles permettent de définir la connexion entre les observables  $\bar{X}$  et  $\bar{P}$  ou tout autre couple de variables canoniquement conjuguées.

Le vecteur d'état  $\psi$ , solution de l'équation de Schrödinger, peut être représenté dans une base de vecteurs  $|r\rangle$ , mais également dans celle des vecteurs  $|p\rangle$ . Ces représentations sont alors notées respectivement  $\psi(r) = \langle r|\psi\rangle$  et  $\overline{\psi(p)} = \langle p|\psi\rangle$ . Or, les «  $\psi(r)$  et  $\overline{\psi(p)}$  » sont reliés par une transformée de Fourier tel que :  $\langle r|p\rangle = \langle p|r\rangle^* = (2\pi\hbar)^{-2/3} e^{i p r / \hbar}$ , ce qui implique que  $\psi(r) = (2\pi\hbar)^{-2/3} \int d^3 p e^{i p r / \hbar} \overline{\psi(p)}$  et  $\overline{\psi(p)} = (2\pi\hbar)^{-2/3} \int d^3 r e^{i p r / \hbar} \psi(r)$  [Cf. Cohen-Tanoudji (1980), 145-148]

Dans le cadre de ce résultat, il faut bien comprendre que  $|p\rangle$  correspond à l'impulsion qui n'est l'analogie de la quantité de mouvement classique  $p = m \frac{dr}{dt}$  qu'à une jauge près, i.e.  $p = m \frac{dr}{dt} + qA(r,t)$  où  $A(r,t)$  est un potentiel scalaire. Ce qui permettra de définir l'hamiltonien quantique (en analogie avec l'hamiltonien classique) de la manière suivante :  $H(t) = \frac{1}{2m} [P - qA(R,t)]^2 + V(R,t)$ . Notons aussi que le vecteur

vitesse de la mécanique quantité n'aura pas la forme  $v = \frac{P}{m}$ , mais bien plutôt la suivante :  $V = \frac{1}{m}(P - qA)$ <sup>70</sup>. [*ibid.*, 224-225]

En fait, ces différents résultats nous font apercevoir toute la difficulté de reprendre les façons *intuitives* les différentes quantités qui entrent dans les définitions des *lois quantiques*. La quantité de mouvement qui, en physique classique, s'obtenait par une dérivation temporelle de la trajectoire de la particule composée avec sa masse n'a plus de sens. En fait, l'impulsion qui en serait l'analogue, apparaît dans le formalisme comme une quantité (ou observable) première qui ne fait l'objet d'aucune dérivation, si ce n'est qu'elle peut être mise en relation avec la position du système par une transformée de Fourier où, notons le bien, le temps n'apparaît d'aucune façon.

Remarquons en outre que la dépendance temporelle de l'hamiltonien quantique n'apparaît qu'en vertu de son invariance de jauge, le paramètre  $t$  n'étant explicité que dans la forme des potentiels scalaires  $A(R,t)$  et  $V(R,t)$  qui sont introduits essentiellement en raison de cette invariance, résultat que nous obtenions déjà à partir de notre discussion sur l'opérateur d'évolution. Notons toutefois que l'invariance de jauge de l'hamiltonien n'est pas une propriété unique au formalisme quantique : elle apparaît également dans sa forme classique. Il faudrait certes accorder plus d'espace de réflexion à cet aspect de la théorie, mais pour l'instant nous devons nous contenter d'en évoquer le problème, ici l'important n'étant que de remarquer que le paramètre  $t$  est en somme évacué de la définition de l'observable d'impulsion. Mais si ce résultat peut surprendre, il existe une façon simple de le comprendre : *En mécanique quantique, le caractère premier de l'impulsion nous est clairement révélé pour la raison peut-être trop simple que l'impulsion étant mesurable, elle n'a pas besoin d'être dérivée.*

---

<sup>70</sup> On n'obtient un analogue quantique de la vitesse que par correspondance de la quantité de mouvement avec l'impulsion à une jauge près. Vu de cette manière, on pourrait dire que considérant l'impulsion comme représentation élémentaire, la vitesse n'est qu'une notion dérivée.

Qu'est alors l'impulsion? Nous n'avons pas de réponse définitive à offrir si ce n'est que, intervenant dans la définition de l'hamiltonien et, plus précisément, dans l'écriture des termes qui se réfèrent à l'énergie cinétique, l'impulsion ressemblerait à la capacité d'un système à *contenir* de l'énergie cinétique. Ce qui nous amène à cette dernière remarque : le formalisme de la mécanique quantique fait une sorte de bilan énergétique où la notion de trajectoire réelle n'a pas à intervenir. Cette caractéristique, toutefois, n'est pas le propre de la mécanique quantique, mais de toute théorie reposant sur les formalismes d'Hamilton et de Lagrange, formalismes dans lesquels la trajectoire d'un système peut être interprétée comme solution *optimum* de l'action, selon le *principe de moindre action*. Cassirer précise à propos de ce dernier principe que les physiciens qui l'ont introduit, puis développé, n'avaient aucune prétention métaphysique. [Cf. Cassirer (1936), 47 *sq.*] C'est donc dire que l'énoncé du principe de moindre action n'impliquerait d'aucune manière la réalité de la trajectoire.<sup>71</sup> C'est d'ailleurs la beauté de ce formalisme de nous affranchir de la nécessité d'établir des trajectoires réelles pour les systèmes physiques comme nous l'apprenons à la lecture du manuel de Goldstein sur la mécanique classique. [Goldstein (1980)] En somme, ce n'est plus le mouvement d'une particule qui nous intéressera, mais la dynamique pure d'un système.

Ceci nous amène pourtant à un paradoxe : le paramètre  $t$  que nous définissons plus haut comme paramètre local semble sortir de cette localité pour se transplanter dans les potentiels de jauge, lesquels semblent avoir une étendue à l'extérieur de la mesure.

<sup>71</sup> D'ailleurs, l'idée d'une trajectoire réelle est plutôt étrange, étrangeté qui apparaissait déjà à l'esprit des philosophes de l'Antiquité et du moyen âge lorsqu'il demande si le mouvement est autre chose que le mobile. En effet, dans un traité attribué à Ockham l'opinion commune selon laquelle le mouvement est autre chose que le mobile – « ... *quia communis opinio est, quod motus, tempus et locus sunt quaedam res aliae a mobili et locato,...* » [Ockham (TS), 32] – est questionné, ce, suivant Aristote qui, dans sa *Physique* écrivait : « *Ensuite, il n'y a pas de mouvement hors des choses; en effet, ce qui change, change toujours ou substantiellement, ou quantitativement, ou qualitativement, ou localement; or on ne peut trouver, nous l'avons dit, de genre commun à ces sujets du changement qui ne soit ni individu particulier, ni quantité, ni qualité, ni aucun des chefs d'affirmation; par suite il n'y aura ni mouvement, ni changement en dehors des choses qu'on vient de dire, puisqu'il n'y a rien hors de ces choses.* » [Aristote, *Physique III*, 200b32-201a2] Ce qui, toutefois n'est pas une négation du mouvement comme Parménide et, à sa suite, Zénon d'Élée l'aurait voulu. En somme, il y a bien longtemps que cette question a été posée.

Il faudrait donc éventuellement répondre à cette autre question : *Que sont ces potentiels? À quoi correspondent-ils?*

En somme, on pourrait aussi dire que la théorie des fonctions généralisées tente de sauver l'idée de continu malgré la réalité d'une mesure discrète. Mais cette autre formulation pourrait nous avancer sur une nouvelle piste : *les fonctions généralisées sauvent l'idée de connexion dans le phénomène en tant que le phénomène est le système et non une quelconque partie de ce système.*

## 2.5 CONCLUSION

Le développement que nous avons suggéré dans ce chapitre visait à établir deux chose : 1) D'abord que le déterminisme est une des applications du concept de causalité, qui a pu d'abord être pensé à partir de l'idée d'une substance multiple, mais homogène et compact, représentable par l'idée de point géométrique, appelé alors *atome*, mais qui éventuellement aura trouvé d'autres applications à partir d'autres représentations du concept de substance (vu alors comme mode de représentation de la continuité) ou de tout autre catégorie. Ce premier point se résume par le fait d'une diversification de la représentation de l'espace, du passage d'une géométrie euclidienne à l'idée plus générale de topologie, passage réalisé par la modification de l'idée de nombre qui, à partir des travaux de Borel, de ponctualité est devenue d'abord intervalle *lisse*, puis intervalle *texturé*.

Mais cette multiplicité de la représentation spatiale, en définitive, ne remet pas en cause le postulat kantien de la transcendantalité de l'espace pour autant qu'on consente à se débarrasser une fois pour toutes de cette idée selon laquelle l'espace transcendantal *est* l'espace euclidien, même si, historiquement, cette identification

aura été proposée par Kant lui-même. D'ailleurs, nous pourrions nous demander si ce que Kant appelait *espace euclidien* avait le même sens qu'il a aujourd'hui. Remarquons que tout notre développement reposait sur une vision très contemporaine de la physique mathématique, vision où la diversification de l'appareil analytique a demandé l'introduction de toute une nouvelle terminologie qui n'aurait pu qu'être étrangère à Kant. Par exemple, l'idée de métrique comme mode de discrimination des espaces n'existe pas encore en 1781, non plus que l'idée d'une classification topologique des représentations de l'espace selon le nombre de singularités qui y apparaissent.

D'ailleurs, il sera intéressant de constater que dans un ouvrage de géométrie différentielle comme celui de Do Carmo, les espaces riemanniens, pour être représentés, sont plongés dans un  $\mathfrak{R}^n$  d'une dimension supérieure à l'espace riemannien étudié, même si dans l'analyse de ce dernier on ne sortira pas de lui. C'est comme si ce  $\mathfrak{R}^n$  servait de contenu à tous les espaces ou plutôt qu'il était posé là comme un rappel de ce que l'espace étudié ne sera jamais qu'un espace parmi tant d'autres, en fait, que *la représentation géométrique est déjà le produit d'un schème*, que c'est une représentation. Alors est-il nécessaire de rappeler que l'espace transcendantal de Kant, comme forme de l'intuition sensible et, donc, comme condition de l'expérience, ne peut être une représentation. Donc, à partir du moment où nous représentons un espace euclidien, par exemple, en lui associant une métrique ou en y faisant courir des droites infinies, nous ne sommes plus dans le pur espace de l'esthétique transcendantale qui, nous le rappelons encore une fois, guiderait la représentation géométrique par la stricte règle de juxtaposition.<sup>72</sup>

---

<sup>72</sup> Nous nous devons ici de signaler les travaux critiques de Cassirer sur la question, en particulier les sections 1 à 4 de la première partie de sa monographie de 1923, *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und der Wissenschaft der neueren Zeit*, bien que Cassirer n'intègre pas encore dans sa réflexion les points apportés par la nouvelle atomistique. Nous ne nous sommes pas appuyés sur cet ouvrage pour défendre les positions de ce chapitre, l'ayant consulté après coup, mais nous y avons trouvé, en particulier en ce qui a trait à la critique de la géométrie et de l'expérience un esprit très semblable à celui qui s'est profilé tout au long de notre propre réflexion.

Deuxièmement, nous sommes arrivée à l'idée que le temps est une notion ambivalente, parfois paramètre, parfois principe d'unité calqué sur l'unité de la conscience ; que le temps, en fait, n'est souvent défini que localement, à l'intérieur des éléments de la représentation géométrique et que, dans les théories physiques, il n'a pas de statut ontologique, mais que, comme forme de l'intuition sensible, il garantit au formalisme son unité ou plutôt sa cohérence. En tout cas, c'est ainsi que le temps apparaît dans le théorème d'existence et d'unicité des solutions des équations différentielles. D'une certaine façon, le temps est ici, en tant que paramètre continu, le principe de l'analyse. Rappelons à cet effet, que l'identification du temps comme principe de l'arithmétique ou de la cinématique – en analogie à l'identification de l'espace comme principe de la géométrie – ne va pas de soi. Aussi nommer le temps comme principe de l'analyse mathématique est peut-être plus juste et plus général dans la mesure où l'analyse mathématique, englobe tous les modes de preuves qu'ils soient, entre autres, constructivistes ou inductifs

Mais nous concluons véritablement par cette dernière observation : la mécanique quantique suggère que les observables cinématiques et dynamiques sont deux modes de représentations distincts, bien qu'une relation puisse être établie entre elles, ici les relations d'indétermination de Heisenberg. Cette indétermination ne fait en aucun cas intervenir l'idée de temps, notant que la relation d'indétermination reliant temps et énergie est problématique, puisque ce temps n'a pas le statut d'observable.

Or la causalité ne trouvant d'application propre au sens de la philosophie transcendantale que dans le cadre du *donné* de l'intuition sensible – intuition dont les formes sont le temps et l'espace, dans ce qu'ils permettent la géométrie et l'analyse, mais non en ce qu'ils se réfèreraient à une quelconque ontologie – les relations d'indétermination de Heisenberg ne diraient rien de la causalité.<sup>73</sup> Si un tel raisonnement tient la route, alors l'indéterminisme de la mécanique quantique n'a

<sup>73</sup> Notons d'ailleurs que suivant l'interprétation de Heisenberg lui-même, les relations d'indétermination indiqueraient une impossibilité d'obtenir à la fois une description spatio-temporelle des choses et une description causale de ces mêmes choses. [Cf. Heisenberg (1930), 53]

plus le même sens. Il n'est plus la brèche qui laisse s'infiltrer le hasard aveugle des épicuriens, mais autre chose. Il n'est plus le trait d'irrationalité dont la possibilité fit tressaillir Planck lui-même, mais fait référence à la multiplicité non réductible des représentations des phénomènes. L'indéterminisme devrait donc être conçu comme, non pas une déchirure dans la continuité du phénomène, mais comme le constat que le phénomène apparaît selon différentes modalités. En termes kantien, le phénomène comme substance n'est pas uniquement déterminable. Mais cette non-unicité de la détermination du phénomène relève du concept de substance et non de celui de causalité.

Ceci est-il cohérent avec l'idée qu'à un effet ne correspond qu'une et une seule cause ? Notons ici que, dans un cadre transcendantal, la causalité comme catégorie s'applique au phénomène et non à la *chose physique*. Si, comme nous le proposons, le phénomène quantique est la fonction d'onde, alors dans un de ces modes de représentations, la fonction d'onde est causale, puisque nous pouvons lui appliquer un opérateur d'évolution uniquement déterminé. L'indéterminisme ne concernerait que l'impossibilité d'entièrement définir la chose physique, il n'atteindrait pas la cohérence d'un de ces modes de représentations. Vu de cette manière, la mécanique quantique devient une confirmation de la philosophie transcendantale de Kant à un degré que nous n'espérons même pas.

Maintenant, ce résultat pourrait-il donner un éclairage nouveau à notre compréhension de la physique dite classique ? En mécanique classique, il est vrai que, par exemple, la position et la quantité de mouvement (ce qui n'est pas l'impulsion, rappelons-le) peuvent-être reliées par une dérivation temporelle :

$p = m \frac{dx}{dt}$ . Ici nous n'avons aucune référence pour supporter notre raisonnement.

Mais revenant à l'expression polynomiale dans laquelle s'insère ces objets de description, on constate que le  $x$  n'est pas la position du système, mais une variable géométrique dont la première forme peut correspondre à la position, cette première

forme étant le premier terme de l'expression polynomiale : et la seconde à la quantité de mouvement, l'expression polynomiale ne définissant ni une position ni une quantité de mouvement, mais une trajectoire.

Dans la définition de l'impulsion, c'est comme si on réduisait celle-ci à la quantité de mouvement plus un reste,  $p = m \frac{dr}{dt} + qA(r,t)$ . Aussi posons-nous la question suivante : *se pourrait-il que ce reste ne soit pas autre chose qu'une référence aux autres termes de l'expression polynomiale ? Et si cela était, l'impulsion serait-elle l'analogue de la trajectoire, mais un analogue potentiel plutôt que manifeste ? Ce pourrait-il que la notion de trajectoire ait été supplantée par celle de l'impulsion en ce que l'impulsion suggère l'initiation ou la possibilité d'un changement, alors que la notion de trajectoire ne peut que figer ce mouvement ? En somme, la physique se serait-elle enfin dotée d'un formalisme qui, à l'image des humains qui l'ont pensé, ne connaît pas l'avenir, mais peut spéculer sur ses possibilités ?*

### 3 CONCLUSION : COMPLÉMENTARITÉ, SYMBOLE ET DIALECTIQUE EN MÉCANIQUE QUANTIQUE

*It has been said that the modern attitude to nature is so different from that of previous times that all our relationships to her, even those of the artist, must now be based on a new set of premises.*

Werner Heisenberg<sup>74</sup>

*Quelle indulgence ne devons-nous pas avoir pour les opinions différentes des nôtres; puisque cette différence ne dépend souvent que des points de vue divers où les circonstances nous ont placés! Éclairons ceux que nous ne jugeons pas suffisamment instruits; mais auparavant, examinons sévèrement nos propres opinions, et pesons avec impartialité, leurs probabilités respectives.*

Simon de Laplace<sup>75</sup>

Comme le signale C. Chevalley sous la rubrique *image/représentation intuitive* de son glossaire, plusieurs physiciens germanophones se seront ralliés au « *Zurück zu Kant* » de Helmholtz, faisant de la philosophie transcendantale leur grille d'analyse de l'expérience scientifique. Et si les références à Kant chez Bohr sont plus discrètes, chez Heisenberg, l'influence est nettement reconnue. [cf. Glossaire *in* Bohr (1958), 458 *sq.*] Aussi la volonté de ré-instaurer un dialogue entre la physique contemporaine et la philosophie transcendantale n'est-elle pas injustifiée.

---

<sup>74</sup> *The physicist's conception of Nature*

<sup>75</sup> *Essai philosophique sur les probabilités* (1814), pp. 6-7.

Précisons toutefois que c'est dans le cadre de l'Interprétation de Copenhague de la mécanique quantique que l'influence kantienne se ferait le plus sentir. Or il a été bien peu question de cette interprétation jusqu'à présent, du moins de manière explicite. Aussi nous consacrerons les premières pages de cette conclusion à une évocation de ses principes et à l'explicitation des liens que nous pouvons tracer entre ceux-ci et les éléments de la philosophie transcendantale tels que nous les avons exposés dans notre premier chapitre et à la lumière des résultats que nous avons obtenus dans notre deuxième chapitre concernant les théorèmes de Cauchy et de Taylor.

D'abord, l'interprétation de Copenhague repose essentiellement sur trois idées. Il s'agit des principes de correspondance, d'inséparabilité<sup>76</sup> et de complémentarité proposés par Bohr. Ces idées sont en intime connexion avec les relations d'indétermination<sup>77</sup> de Heisenberg, la première comme incitatif à l'élaboration de la mécanique matricielle dans le cadre de laquelle ces relations s'imposent d'elles-mêmes, et les deux autres comme principe d'interprétation de cette même mécanique.

Le principe de correspondance, qui fut pensé dès 1925, n'est pas habituellement cité comme élément de l'interprétation de Copenhague. Toutefois, en l'étudiant de plus près, il nous apparaît qu'il pourrait-être considéré comme une formulation particulière

---

<sup>76</sup> Dans ce qui suit, le principe d'inséparabilité a été mis de côté. Toutefois, notons qu'il peut être interpréter comme l'absence de démarcation (ou frontière) uniquement déterminée entre l'objet et le sujet physique, appelant à concevoir désormais le système physique comme bien plutôt la relation de l'objet et du sujet. En terme d'action, cela reviendrait à dire que le clivage entre agent et patient (la cause et l'effet) n'est pas fixe, mais relève du processus même d'objectification, processus qui est le fait du sujet. En fait, nous voyons ici se profiler le danger d'une confusion entre le niveau épistémologique (propre au sujet) et un autre niveau, celui où la distinction entre les objets s'opère. Mais pour lever cette confusion, il nous faudrait revenir à l'énoncé même du problème qui à pousser Bohr à proposer l'idée d'inséparabilité. Nous sommes toutefois peut-être tombée dans ce piège alors que dans notre deuxième chapitre, nous nous sommes servi de ce principe dans un sens particulier, lui imposant la lecture suivante : l'objet de l'expérience physique est le système et non ses éléments, l'introduction de la notion d'élément n'étant justifiée qu'en regard d'une analyse de l'expérience. La possibilité d'appliquer le principe d'inséparabilité aux constituants de l'objet lui-même, alors que ce principe n'aurait été formulé que pour souligner la difficulté de distinguer nettement l'objet du sujet, resterait à justifier. À ce propos, nous n'avons pas encore atteint un niveau de clarté satisfaisant.

<sup>77</sup> Des relations d'indétermination de Heisenberg sera tiré un autre principe : le principe d'indétermination. Or, il ne faudrait pas confondre les relations et ce dernier principe, les relations ne spécifiant que les restrictions théoriques qu'une variable impose sur une autre variable, alors que le principe reste ouvert aussi bien aux critiques épistémologiques qu'aux propos métaphysiques.

du principe de complémentarité. Si nous suivons cette hypothèse, force nous serait de conclure, que l'interprétation de Copenhague précéderait, par l'énoncé du principe de correspondance, la mise en forme de l'appareil analytique (*viz.* la mécanique matricielle de Heisenberg), Heisenberg n'arrivant à une forme satisfaisante qu'un an plus tard. Cet argument *génétique* n'est pas innocent. S'il tient la route, il fait de l'interprétation de Copenhague le pendant conceptuel obligé de la mécanique quantique non relativiste, comprenant à la fois, sous la forme de ses principes, son *alpha* et son *oméga*.

D'après Bohr lui-même, le principe de correspondance est « *l'expression de la tentative que nous faisons, 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 (1930), 35] Or, les deux théories dont parle Bohr sont la théorie spectrale de l'atome et la théorie mécanique. La théorie spectrale permet, de l'étude des raies d'émission et d'absorption électromagnétiques des atomes, de donner une expression harmonique de l'énergie des états stationnaires. La seconde, qui est aussi appelée le modèle planétaire, permet de fixer ces énergies suivant les lois de la mécanique. Bohr constate que les valeurs déterminées par la théorie spectrale correspondent *asymptotiquement* aux valeurs données par le modèle planétaire. [Bohr (1930), 33 *sq.*]

Mais le modèle planétaire (aussi appelé « atome de Bohr » [c. 1913]), s'il associe aux états stationnaires des orbites analogues à celles des orbites planétaires, comporte la difficulté suivante qu'un électron en orbite étant une charge en mouvement, il devrait produire un rayonnement continu et éventuellement, perdant de l'énergie cinétique par cette émission, s'effondrer sur le noyau. Ce modèle ne rend donc pas compte de la discontinuité des spectres atomiques ni de la stabilité de l'atome. La seule description mécaniste ne pouvait donc suffire.<sup>78</sup>

---

<sup>78</sup> Soulignons en fait la difficulté même de la mécanique céleste à justifier l'apparition d'orbites planétaires. En effet, prenant le cas du système solaire, la théorie universelle de la gravitation, rend-elle

En fait, par le constat de cette insuffisance, nous mettons peut-être le doigt sur un problème fondamental de la science physique, lequel n'a toujours pas été résolu : est-ce que les lois contiennent d'emblée l'énoncé des conditions initiales? En d'autres termes, est-ce que ces conditions peuvent bénéficier d'une justification théorique? Ou, ne sommes-nous pas réduits à ne les approcher que par le biais de l'expérience, n'étant jamais capables, par exemple, de dériver les valeurs de  $c$  ou de  $h$  que d'un ensemble de mesures toujours à préciser.<sup>79</sup>

Quant au modèle spectral, il ne permettait pas davantage de comprendre l'émergence des discontinuités d'émission/absorption. Pas plus que le modèle planétaire il ne répond à la question pourquoi ces valeurs de l'énergie et pas les autres. Toutefois la théorie harmonique introduit la notion de modes, lesquels peuvent être dans des rapports discrets les uns avec les autres. On a donc superposé l'idée de rayonnement harmonique aux états stationnaires, pensant ainsi lever la difficulté. Mais surimposer une idée sur une autre est difficilement une garanti d'unité de l'image résultante, encore faut-il justifier cette surimposition.

Aussi le principe de correspondance revient sur ce problème de la science rencontré encore et encore depuis la naissance de la physique mathématique : D'un côté, il y a le rayonnement qui est bien décrit par les théories harmoniques (ou ondulatoire); de l'autre côté, il y a des structures matérielles qui discrétisent ce rayonnement.

---

compte de la particularité de la distribution des masses que ce système a adopté? Nous ne le croyons pas. L'hypothèse de Kant-Laplace concernant la formation du système solaire à partir de l'accrétion de la nébuleuse originelle laisse le mystère entier à savoir pourquoi la terre, mais aussi toutes les composantes de ce système, là plutôt qu'ailleurs, laissant la voie libre à toutes les spéculations, en particulier, à l'action d'une intelligence supérieure, la terre ne pouvant être ailleurs si nous voulons rendre compte de l'émergence de l'espèce humaine.

<sup>79</sup> Notons toutefois qu'à ce titre, certains physiciens comme Lévy-Leblond, pose l'hypothèse que, par exemple, la constante  $c$  qui apparaît dans les équations de Maxwell, et puis dans la relativité restreinte, ne doit pas être confondu à la vitesse de la lumière. En fait, cette constante serait une sorte d'effet naturel des invariants du groupe de Lorentz, groupe qui ne caractériserait pas uniquement le rayonnement électromagnétique. [Lévy-Leblond (1976)]

Le problème du corps noir qui avait été solutionné par Planck au prix d'introduire la notion de quanta d'énergie n'est qu'une variation sur ce même thème. Encore une fois, nous constatons que le rayonnement, qui théoriquement doit pouvoir prendre indifféremment toutes les valeurs des énergies, subit une sorte de contrainte structurale qui donne à l'étalement du spectre une distribution dont la forme dépendra de la température du corps noir. Or la notion de température reçoit en mécanique statistique une définition qui dépend de la structure globale du volume d'énergie qu'elle caractérise. [Cf. Reif (1965)]

En somme, on pourrait dire que la mécanique quantique tente de solutionner le problème de l'interaction entre l'énergie et la matière, de rendre compte de la structure de cette matière à partir des informations données par le rayonnement. Autrement dit, la mécanique quantique tenterait d'*unir* Newton et Fourier, faisant d'elle une première tentative d'unification des théories physiques, bien qu'on la présente rarement comme tel.

Le projet de la mécanique quantique ainsi entendu, on ne comprendra plus très bien cette volonté quasi inébranlable de vouloir faire triompher une image sur l'autre, par exemple, l'onde sur le corpuscule. Fourier le suggérait déjà : la mécanique newtonienne ne peut rendre compte des *phénomènes caloriques*. [Fourier (1822)] Mais inversement, on voit mal comment expliquer les structures matérielles à partir de l'idée de chaleur (et sa généralisation en terme de rayonnement électromagnétique ou de tout autre véhicule d'interaction), bien que les théories plus tardives permettent, à partir du formalisme ondulatoire et de ses généralisations (cordes et membranes)<sup>80</sup>, de construire des structures qui, sans être permanentes ou rigides, bénéficient toutefois d'un *temps de vie* suffisamment grand pour rendre compte d'une certaine stabilité dans la nature. En fait, il suffit de comprendre qu'il est possible de construire

<sup>80</sup> Ici nous parlons bien d'un modèle ondulatoire généralisé. Si le modèle élémentaire est celui tiré de l'équation du mouvement d'un pendule et qui permette les séries de Fourier, par exemple, nous disposons maintenant de formes beaucoup plus complexes, que ce soit les polynômes de Legendre, Laplace, L'Hermite ou Laguerre, pour ne citer que ceux-là.

une superposition d'ondes telle qu'elle présente une sorte de renflement (le paquet d'onde) qui se propage durant un certain temps, le temps de l'étalement du paquet d'onde, jusqu'à sa dissolution.<sup>81</sup> Naturellement, un tel constat rend la tentation de privilégier le modèle ondulatoire généralisé presque irrésistible, faisant des structures matérielles des épiphénomènes du rayonnement.

Pourtant, dire la matière comme épiphénomène n'est pas une raison de la discréditer, même si elle dit le fini dans un univers infini.<sup>82</sup> En fait, l'être humain ne peut rien dire de ces *ondes généralisées* en dehors de l'expérience qu'il en fait sous la contrainte de sa propre matérialité<sup>83, 84</sup>. Admettant que la substance élémentaire de la réalité est ce rayonnement, reste que c'est notre structure, même vue comme fragment de ce rayonnement, qui l'informe. Ce sont les structures qui révèlent la multiplicité formelle de *la chose*, mais seulement d'après leurs propres modalités.<sup>85</sup> En d'autres

---

<sup>81</sup> Le modèle des solitons est un exemple de ce que le modèle ondulatoire généralisé permet. Pour un aperçu de la théorie des ondes classiques, voir [Pearson (1966)]. On trouvera dans [Cohen-Tanoudji (1980)] la transposition de ce modèle en mécanique quantique.

<sup>82</sup> La théorie des cordes ou des membranes ne lève pas cette difficulté, puisque celles-ci doivent également poser des conditions limites, i.e. des coupures qui discrétiseront ce qui, dans la représentation, peut toujours admettre un plus grand que. En outre, il semblerait, mais il nous faudrait le vérifier, que les relations d'indétermination de Heisenberg s'y retrouveraient, seulement il faudrait additionner la longueur de la corde à la constante de Planck et conséquemment retrouver des relations d'indétermination encore plus grande que ce que proposait la mécanique quantique non-relativiste! En somme, penser la structure matérielle comme fragment d'univers, c'est toujours découper cet univers, c'est toujours admettre la possibilité d'un quelque chose à côté.

<sup>83</sup> Par matérialité nous entendons la structure et non la substance.

<sup>84</sup> Croire autre chose serait faire preuve d'un hubris incroyable comme le dénonçait déjà Voltaire par la bouche de son Micromégas, cet habitant du système de Sirius, qui se fâche presque de l'arrogance de ces petits terriens qui ne disposent que de cinq sens, alors que lui en a près de mille sans pour autant parvenir à se sentir tout à fait satisfait des expériences qu'il a su en tirer. [cf. Voltaire (1752)]

<sup>85</sup> Une expérience acoustique nous en convaincra si nous consentons à l'analogie. Frappant la corde du do moyen d'un piano à queue dans lequel nous aurons disposé au préalable des petits bouts de papiers sur chaque corde, nous constatons que seules les bout de papier reposant sur les cordes correspondant aux harmoniques du do seront imprimées d'un mouvement. En somme, le mouvement de la corde de do ne peut être *perçu* que par les autres cordes qui partagent avec elles au moins la partie supérieure de ses modes propres. Si nous pouvions transporter ce phénomène dans tous les ordres matériels, il faudrait en déduire que les structures matérielles ne peuvent *recevoir* que ce qu'elles ont déjà.

Mais l'expérience de la corde de do, nous dit également que la *non-résonance* des autres cordes n'est pas la démonstration de leur *non-existence*, mais seulement que la vibration de cette corde de do ne permet d'aucune manière de détecter *toutes* les cordes. Transposé au monde atomique, ce mode des atomes ne peut rien nous révéler des autres modes possibles.

termes notre matérialité est fondamentale pour nous, elle nous instruit et doit donc entrer dans nos catégories cognitives, même si nous pouvons imaginer qu'elle procède d'une autre chose qui n'a pas à être entièrement déterminé par elle. Les contraintes de la structure doivent donc également être pensées.

Certes, le principe de correspondance qui met en relation la représentation harmonique (potentiellement infinie ou inachevée) avec les contraintes de la représentation atomique (ces contraintes étant représentées par les orbites électroniques) tout en insistant sur l'idée de dualité (insistance qui donnera subséquemment le principe de complémentarité sur lequel nous reviendrons plus tard) ne convaincra pas ceux qui pensent que, dès lors que l'imagination construit une image (e.g. un modèle mathématique), ce modèle doit nécessairement correspondre à quelque chose.<sup>86</sup> Mais comme nous ne nous occupons pas ici de métaphysique, il nous faut prendre en considération l'idée de structure, même si, sur un plan ontologique, elle s'avérait n'être que secondaire.

Comment alors sont pensées ces structures? Dans notre deuxième chapitre, il nous est apparu que l'idée de nombre devait en quelque sorte être prise comme symbole des *entités structurales*.

Revenant à la théorie des fonctions généralisées – qui, nous le rappelons, est né de la mécanique matricielle de Heisenberg – nous retrouvons l'idée de nombre (e.g. les nombres quantiques) dans le processus de projection des fonctions dans des localités, ce que fait l'application des fonctionnelles de Dirac sur ces fonctions. Cette application n'a peut-être en somme pour résultat que d'imposer des structures dans

---

<sup>86</sup> Cette dernière approche veut que, par exemple, le tachyon (une particule qui voyage à des vitesses *supraluminiques*) existe, parce qu'il peut être inféré des transformations de Lorentz. Mais la détection de telles particules est fort problématique en ce qu'elles n'auraient aucun potentiel d'interaction avec la matière ordinaire, affichant des comportements *anti-naturels*, si nous pouvons utiliser une telle expression, comme d'être accélérées lorsque bloquée par de la matière *naturelle*!

ces différents *lieux*, structures qui, notons-le, peuvent être aussi bien continues que discrètes<sup>87</sup>. Mais ces structures ne sont pas uniquement déterminées et déterminables.

Nous arrivons ici au problème de la mesure. Reprenons la suggestion d'Heisenberg à l'effet qu'il serait impossible d'obtenir à la fois une représentation causale des événements et une représentation spatio-temporelle. [Heisenberg (1932), 53] La représentation causale, nous l'avons vu, reposerait sur l'idée qu'un objet se transforme continûment lorsqu'il est libre de toute interaction, ce qui, nous ajouterions, reviendrait à dire que la causalité est l'expression conceptuelle de l'inertie<sup>88</sup>. Or comme nous l'avons suggéré, une solution au problème de la causalité en mécanique quantique pourrait être de rendre cette causalité « locale »<sup>89</sup>. Conçu de la sorte, la structure causale serait préservée dans ce *lieu* jusqu'à ce que ce *lieu* soit violé. L'acte de mesure, de ce qu'il implique une interaction, ne peut être conçu que comme une brisure du *lieu* qui porte la structure. C'est à ce prix, pourtant que des parcelles de ces structures nous serons livrés. En somme, les représentations causales seraient dérivées des mesures de l'interaction.

En mécanique quantique, on parlera de *l'effondrement du paquet d'onde*. Pourquoi une entité mesurée donne une valeur plutôt qu'une autre, quel est le rapport entre cette valeur et la chose mesurée reste un mystère entier si ce n'est que cette valeur devait y être inscrite d'une manière ou d'une autre. Si le paquet d'onde était une superposition réelle d'onde, la mesure, qui serait comme de plaquer une note précise

---

<sup>87</sup> L'usage du continu et du discret décrit ici respectivement la dynamique des particules libres et de celles *confinées* dans un « puit de potentiel » [Cohen-Tanoudji (1980)] Nous écrivons ici « confinées » en italique, parce que *l'effet tunnel* nous suggère que l'électron ne subit pas un confinement absolu, les probabilités qu'il *échappe* aux contraintes « classiquement déterminé », il faut le préciser, n'étant pas nulles.

<sup>88</sup> Cette suggestion est surprenante, si nous oublions que l'inertie n'est pas l'expression d'une fixité, mais la caractérisation d'un changement qui, pensé strictement du point de vue de la spatialité, devient mouvement continu, i.e. un mouvement à vitesse constante.

<sup>89</sup> Nous devons reconnaître que cette expression est ambiguë, puisque la causalité einsteinienne est aussi une expression dite « locale » de la causalité. Seulement la *localité* telle que nous l'entendons ici se réfère aux *lieux* constitutifs de l'espace transcendantale (représenté en mécanique quantique par des espaces d'Hilbert) et non aux sous-espaces d'un espace concret comme le veut l'interprétation relativiste

(revenant à notre analogie de la corde de piano) nous permettrait de prédire avec certitude quelles harmoniques supérieures pourraient être entendues. La mécanique quantique ne semble pas permettre cela. Lorsque l'on parle de réduction du paquet d'ondes (ce qui est la même chose que de parler de son effondrement), de tous les modes possibles un seul se manifesterait.

C'est une difficulté qui pourrait toutefois être levée si, prenant le phénomène de la *signature spectrale* des atomes, nous considérons le phénomène comme étant le spectre dans sa globalité et non une raie spectrale isolée des autres. On objectera à cette façon de concevoir le phénomène qu'il est possible de mettre sur pied une expérience dans le cadre de laquelle, les *photons* émis par la structure atomique peuvent être détectés un à la fois. Nous contre-objecterons que pour ce faire, il a fallu d'abord *étaler* le spectre, i.e. faire passer le rayonnement à travers une autre structure (que ce soit un prisme ou un réseau), passage qui aurait imposé un déphasage aux différentes fréquences de ce rayonnement supposé provenir des états vibratoires de l'atome et que l'isolement des photons n'est peut-être à attribuer qu'à ce déphasage. Mais peu importe l'explication que nous pourrions donner de cette réduction, n'empêche que dans la pratique, la mesure assigne une valeur discrète à une structure, *réduit* donc un complexe à quelque chose de simple.

Nous pourrions avancer que la valeur qui est obtenue de cette mesure constitue la représentation spatio-temporelle. La philosophie transcendantale pourra jeter un éclairage intéressant sur la question. Dire « représentation spatio-temporelle » dans un cadre kantien, serait ni plus ni moins dire « ce qui est tiré de l'intuition sensible, ce qui informe [de] la matérialité ». Dans un cadre physique, la représentation spatio-temporelle pourrait être assimilée à l'acte de mesure et aux valeurs qu'on en tire, précisant toutefois que si tel était le cas, cette représentation ne serait pas une représentation de l'espace et du temps, mais bien une représentation spatio-temporelle des phénomènes, donnant la matière du phénomène, mais non encore la forme,

matière qui pourtant devra être subséquemment conceptualisée.<sup>90</sup> C'est dire que la mesure en elle-même ne dit rien si elle n'est la mesure de quelque chose. En effet,  $X=x$ , ne dit rien d'autre que « il y a eu une impression en  $x$ , ». Mais ici nous nous heurtons à une difficulté, car dire  $P=p$ , ne dit rien de différent.

D'une certaine manière, considérant la relation d'indétermination pour la position et l'impulsion, cette difficulté nous invite à ne pas trop facilement succomber à la tentation d'identifier l'observable  $X$  à la représentation spatio-temporelle et l'observable  $P$  à la représentation causale. Il faudra d'autant plus résister à cette tentation que si nous y succombons, alors nous ne saurons plus comment comprendre le sens des analogues des relations d'indétermination pour les composantes de spin, par exemple.

En fait, cette difficulté peut-être levée si, faisant la nette distinction entre l'observable et le résultat de mesure, et remplaçant le qualificatif de causal par celui de conceptuel, nous identifierions l'observable à la représentation conceptuelle et le résultat de mesure à la représentation spatio-temporelle, cette dernière étant comprise comme le signe d'une matérialité. Et il est alors plus facile de comprendre que l'observable  $X$ , bien qu'elle se manifeste dans l'espace ordinaire, du point de vue transcendantal est dérivée de la notion de corpuscule, et que l'observable  $P$ , se manifestant tout autant dans l'espace ordinaire, fait référence à l'image ondulatoire.

Ce raisonnement est compatible avec les conclusions que nous avons tirées dans le cadre de notre second chapitre. En effet, la fonction qui décrit la trajectoire d'un point peut tout autant être discrétisée par la fonctionnelle de Dirac que le sont les fonctions harmoniques, cette application fonctionnelle évoquant le processus de la mesure. Pourtant, n'est-ce pas la mesure elle-même, en tant qu'elle est discrète, qui donne l'idée de corpuscule? C'est une question fort importante et, malheureusement, la solution ne nous apparaît pas clairement, si ce n'est que la conception traditionnelle

---

<sup>90</sup> Voir au sujet d'une conception opérationnelle de la mesure [Bridgman (1927) et Bridgman (1936)]

de l'espace réelle est intimement liée à l'ontologie atomiste classique. Cela dit, Heisenberg lui-même ne succomba pas à la tentation d'identifier l'observable de position à la représentation spatio-temporelle. Sa solution est simple : les relations d'indétermination se manifestent dans le cadre de la description spatio-temporelle; et la causalité (comme tout autre concept) ne correspond qu'à un schéma mathématique qui ne dit ni l'espace ni le temps (au sens ordinaire).

Au terme de sa discussion sur cette séparation, Heisenberg écrit fort à propos :

*En ce qui concerne la théorie de la relativité, les vieilles discussions philosophiques sur les problèmes de l'espace et du temps se sont montrées très profitables à cette adaptation. D'une manière analogue, pour la physique de l'atome, on peut tirer parti des discussions, fondamentales dans toutes les théories de la connaissance, sur les difficultés associées à la division du monde en sujet et objet. [Heisenberg (1923), 53]*

Que nous enseigne donc les relations d'indétermination de Heisenberg si elles ne disent rien de la causalité? Que sont-elles pour la science? En fait, si nous considérons ces relations comme étant le cœur de la théorie quantique, ce qui est en fait inévitable, nous comprendrons que cette théorie est une théorie de l'action. Ce n'est donc ni l'objet dans sa situation par rapport au système de l'univers ni une sorte de loi d'inertie régissant son évolution qui serait élémentaire, mais l'idée d'action elle-même. Cette conclusion fera plaisir aux empiristes en ce qu'elle pose pour élémentaire le constat même d'une modification du phénomène avec pour seule contrainte le fait d'une action discrète. La chose qui pose ou qui subit l'action devient secondaire, bien que nous ne pourrions nous en passer; et elle ne pourra être définie qu'en relation à cette action. Ainsi, la représentation causale ou, plus généralement, conceptuelle, devient cette résistance à l'action et la représentation spatio-temporelle la mesure de la *réaction*. En procédant à une telle lecture de la théorie quantique, les

idées mêmes d'atome ou de mode harmonique deviennent secondaires et, en fait, n'ont d'importance que parce qu'ils donnent une base de représentation à l'action.<sup>91</sup>

Ce n'est là pourtant que repenser les conclusions de Heisenberg. Pour lui, les observables qui correspondent dans le formalisme à ce qui est physique ne sont pas des calques de la chose, mais des symboles qui réfèrent à la chose. [Cf. Bohr (1932)] Cette façon de dire la relation des observables à la réalité physique est tout à fait conforme à l'épistémologie kantienne si nous faisons correspondre à la notion de symbole celle d'Idée telle que proposée par Kant.

Or qu'est-ce qu'un symbole ou une Idée? Dans notre premier chapitre nous arrivions à la conclusion qu'il y a deux types d'Idées qui correspondent aux deux façons de traiter les concepts. Il y a l'Idée comme synthèse conceptuelle et l'Idée comme produit du déconditionnement. De la synthèse conceptuelle, il faudrait spécifier qu'elle n'est pas unique. En effet, reposant sur une sorte de combinatoire logique, toutes les combinaisons doivent être considérés et leur négation. Concrètement, la synthèse conceptuelle permet aussi bien la représentation d'une substance infinie que finie, unique que multiple, elle peut penser le plein (réalité) comme le vide (néant). Notons également au passage que la négation elle-même est polysémique, comme le suggère Kant par sa table des rien [CRP, 327 sq.], ce qui, considéré, enrichirait d'autant la combinatoire.

---

<sup>91</sup> Il est intéressant de noter que dans les mécaniques lagrangienne et hamiltonienne, qui sont d'abord des modèles *ergodiques* (énergétiques) en opposition à la mécanique newtonnienne qui est plutôt dynamique, la notion d'action devient centrale avec, justement, les différentes formes que revêt le théorème de moindre action. Or ce théorème constitue une espèce d'axiome du choix pour la physique, car en définitif, il apparaît que dans l'univers mathématique la détermination d'une action ne permet pas la détermination univoque du *trajet* que cette action fera prendre à l'objet qu'elle perturbe. C'est pourquoi, on doit choisir le trajet le plus économique en terme d'énergie, celui de la moindre action. Mais la correspondance entre le trajet de moindre action et la *trajectoire réelle* de l'objet dépend, elle, d'un autre principe, celui de la conservation de l'énergie. Mais lorsque l'on regarde de plus près les raisons qui ont prélué à l'énoncé de ce dernier principe, on constate qu'elles reposent sur un ensemble de condition très strictes qui ne sont que rarement (pour ne pas dire jamais) remplies dans la nature. [Goldstein (1980)] Or la mécanique quantique n'est ni plus ni moins qu'une version généralisée de la mécanique hamiltonienne, comme il apparaît de manière évidente à partir de l'équation de Schrödinger.

Néanmoins, la synthèse conceptuelle ne donnant qu'un autre concept, l'Idée de premier type ne serait donc qu'un concept. Ici, pourtant, il serait tentant de donner un statut particulier à ces Idées en vertu de leur *complexité conceptuelle*. À cette tentation, toutefois nous tenterons de faire obstacle en suggérant que cette complexité n'est qu'une apparence issue de l'analyse catégoriale des concepts, les catégories devenant le découpage de l'espace des concepts, une sorte de base, comme les espaces vectoriels sont générés par une base de vecteurs, si on nous permet cette analogie avec les mathématiques.

Ainsi, l'Idée de premier type serait la finalité de la science; l'Idée de second type, le départ de la métaphysique, mais d'une métaphysique qui ne s'occupe plus des manifestations empiriques, qui est non pas au-dessus de la physique (et des autres sciences), mais par-delà. Les symboles tels que conçus par Heisenberg seraient des Idées de premier type.

Nous concentrant maintenant sur le principe de complémentarité, Chevalley avance que selon Bohr « *le terme de complémentarité ne dit pas ce qu'il veut dire* ». Il aurait, semble-t-il préféré le terme de « réciprocité », mais, malheureusement, ce terme aurait déjà été utilisé ailleurs. Chevalley interprète cette préférence comme le signe d'une insistance sur l'idée « d'exclusion mutuelle » plutôt sur « l'association » des traits descriptifs dans la constitution de l'objet. [in Bohr (1958), 396] Chevalley poursuit en écrivant : « *Comme pour la causalité, l'analyse de Bohr relève ici strictement d'une « critique de la connaissance » et il ne s'agit pas d'établir de manière positive le fondement d'une nouvelle ontologie.* » [ibid., 397] Pourtant, quelques lignes plus loin, il est question du problème de la « constitution de l'objectivité » et de « synthèse rationnelle » qui, en passant, serait étrangère à tout mysticisme<sup>92</sup>.

---

<sup>92</sup> Nous ne voyons pas la pertinence d'invoquer le mysticisme dans ce contexte. L'énoncé d'une synthèse rationnelle dont parle Bohr n'a rien à voir avec cela, même s'il ne l'écarte pas. Si nous suivons l'analyse que nous avons donnée des différents niveaux de la dialectique transcendantales, la synthèse rationnelle qu'évoque Bohr se situe au premier niveau des Idées, dans la synthèse

Ce commentaire nous laisse perplexe. D'abord parce que l'idée de complémentarité chez Bohr ne peut vouloir dire cette stricte exclusion comme si les modèles logiquement incompatibles étaient sans lien aucun. Bien au contraire, les limites mêmes d'un modèle semblent être définies par son complément logique. D'ailleurs, si nous consultons le texte de Heisenberg de 1932, nous voyons bien que la critique du modèle corpusculaire y est donnée en relation au modèle ondulatoire et *vis et versa*.<sup>93</sup> Chevalley relève bien que Bohr veut donner un sens nouveau à l'idée de complémentarité, mais si nous consultons le texte même de Bohr auquel Chevalley se réfère, on lira :

*Une conséquence immédiate de cette situation est que des observations sur le comportement d'objets atomiques, faites à l'aide de dispositifs expérimentaux différents, ne pourront généralement pas être rassemblées à la manière habituelle de la physique classique. En particulier toute expérience ayant pour but de fixer les coordonnées d'espace et de temps d'un électron dans un atome impliquera inévitablement entre l'atome et les instruments et les instruments de mesure un échange essentiellement incontrôlable d'impulsion et d'énergie, qui annihilera complètement les remarquables régularités de stabilité atomique dues au quantum d'action. Inversement, toute recherche de pareilles régularités, dont la description même implique la conservation de l'impulsion et de l'énergie, nous imposera, en principe, de renoncer à localiser dans l'espace et le temps les électrons individuels de l'atome. Loin d'être contradictoire, les différents aspects des phénomènes quantiques qui apparaissent ainsi dans des conditions expérimentales exclusives l'une de l'autre, doivent considérés comme «complémentaires», en donnant à ce mot un sens nouveau. Ce point de vue de la «complémentarité» ne signifie nullement que l'on renonce arbitrairement à une analyse détaillée des phénomènes atomiques; il est au contraire l'expression d'une synthèse rationnelle de toute la somme d'expérience accumulée dans ce domaine, expérience qui excède les limites dans lesquelles se trouve confinée l'applicabilité du concept de causalité. [Bohr (1958), 174-175]*

Dans ce texte nous notons que « l'exclusion » ne concerne pas les représentations tirées de l'expérience, mais bien les conditions d'expérimentations. Cela signifie que si nous devons renoncer à quelque chose, ce n'est pas à la possibilité d'une théorie

---

conceptuelle, et ne concerne pas du tout les Idées de deuxième type, qui, nous le concédons, comme déconditionnement ouvrirait peut-être la voie à une forme de mysticisme

<sup>93</sup> Certes, on pourra objecter que l'opinion de Heisenberg ne doit pas être confondue à celle de Bohr. Mais vue leur étroite collaboration (Heisenberg ayant été l'étudiant de Bohr), en particulier durant ces années, il y a fort à parier que l'un était au courant des publications de l'autre et y ait mis son grain de sel.

qui tiendrait compte de tous les cas possibles, mais à la possibilité de réaliser un dispositif expérimental qui nous livrerait tout de la chose qui est visée par cette expérimentation. Si l'expérimentation ne permet pas une connaissance complète de cette chose, Bohr pense cette connaissance possible par le biais de la « *synthèse rationnelle* ». Mais, en précisant que l'expérience cumulative excède ce que permettrait l'application du concept de causalité (mais nous avons vu qu'il s'agirait plutôt de l'application de tout les concepts)<sup>94</sup>, il suggère que cette augmentation de l'expérience devrait faire intervenir en toute logique quelque chose d'autre, mais, ici, Bohr n'est pas spécifique.

Poser la complémentarité comme invitation à la synthèse rationnelle, ne procède pas d'une stricte critique de la connaissance, mais d'une approche critique, ce qui n'est pas la même chose. Si cette invitation ne nous fait pas entrer dans une nouvelle ontologie, sur ce point nous sommes d'accord, elle n'est pas non plus que négative, sorte de renoncement devant la difficulté que pose le problème de la limite d'applicabilité des concepts, mais bien plutôt positive, considérant la possibilité d'un savoir synthétique. En fait, par l'énoncé du principe de complémentarité, Bohr en plus d'affirmer la multiplicité représentationnelle, nous donne l'idée que ces représentations ne sont pas isolées les unes des autres, vivant dans des espaces sans commune mesure. La complémentarité, bien au contraire, est l'énoncé d'une unification possible, seulement non pas uniquement d'un point de vue logique, mais d'un point de vue rationnel, dont nous avons vu, en référence à la philosophie transcendantale, que cette rationalité dispose d'une méthode supplémentaire, celle de la dialectique.

Quelle est la nature de la dialectique? S'il est facile de décrire la représentation en terme d'une unité logique, les Idées de la dialectique sont autrement plus difficiles à cerner. C'est pourquoi, dans ce cadre, il faudrait mieux parler de tension logique que d'unité. La complémentarité en ce qu'elle tient ensemble les représentations issues de

---

<sup>94</sup> Cette approche est également adoptée par Schopenhauer [1847; 1859].

l'expérience n'est certes pas une promesse d'en arriver à une représentation nouvelle, bien que ce peut devenir l'indicateur de la possibilité d'un type nouveau de connaissance.

De même se pose le problème de la nature de la synthèse conceptuelle. Ici, il nous faudra distinguer entre les productions d'un schématisme et cette synthèse. Si le schématisme permet la représentation monologique, par l'application d'une représentation de l'espace-temps aux concepts, cette deuxième synthèse doit être plus vaste. En fait, le schématisme ne se manifesterait que dans un concept à la fois et non dans la synthèse conceptuelle. En conséquence, la synthèse rationnelle dont parle Bohr, et l'utilisation ici du terme « rationnel » n'étant peut-être pas innocente, ne concernerait pas l'entendement au sens de Kant, mais bien la raison qui, comme nous l'avons vu, partant des concepts de l'entendement, en étend le champ d'application. Or si nous suivons toujours la philosophie transcendantale, les représentations ne sont pas des produits de la raison, mais de l'entendement.

L'interprétation de Copenhague a fait l'objet de débats et de beaucoup de méfiance. D'une certaine façon, elle connaîtra le même destin que la philosophie transcendantale. Comme la philosophie de Kant, elle aura ses Cohen, mais aussi ses Fichte, ses Hegel et ses Heidegger. Plusieurs ont travaillé à retrouver un principe ontologique qui permettrait de lever l'ambivalence quantique, dénonçant son caractère provisoire, incomplet ou trop formel. Que l'on parle de variables cachées ou d'univers parallèles, l'irritant est le même : les tenants de Copenhague renonceraient trop facilement à la promesse d'un savoir intégral et se contenteraient trop bien du mystère et de l'indicible. Mais comme nous venons de le voir, c'est une fausse accusation.

En fait, l'interprétation de Copenhague a un quelque chose d'intellectuellement très séduisant : elle nous propose une autre sorte de défi. Plutôt que de nous acharner dans une quête d'images, elle nous invite à une autre façon de voir, comme Kant nous invitait à une autre façon de faire la métaphysique. Plutôt que de penser l'objet, elle

relève le défi de penser notre relation aux objets sous un mode actif plutôt que passif. En mécanique quantique comme en philosophie transcendantale, le sujet n'est plus le réceptacle inerte d'une sorte l'élixir de sapience. C'est sa relation même au monde et à lui-même qui est le principe de son savoir, transportant cette relation dans tout ce qu'il conçoit.

Cependant, ainsi que le souligne Chevalley, Bohr aurait été piégé dans les débats que sa réflexion a générée, en particulier dans ceux qu'il aura entretenus avec Einstein, dont Chevalley, dans un commentaire assez dur, mais somme toute justifié, dit qu'il avait une « *compréhension déformée de la complémentarité* ». Ce piège aurait empêché Bohr de consacrer tout le temps qu'il aurait fallu pour mener sa réflexion à terme, nous privant des conclusions philosophiques qu'il aurait encore pu tirer de son interprétation. [Chevalley *in* Bohr (1958), 407-408]

Cela dit, il ne faudrait pas en conclure que le débat fut tout à fait infructueux. Il aura permis de préciser bien des notions et sans ce débat, force est de croire que bien des avancées techniques n'auraient pas été faites, comme, par exemple, la formulation des inégalités de Bell et les tests que la formalisation du rapport entre probabilités classiques (comprendre booléennes) et probabilités quantiques a rendu concevable et réalisable. [Cf. Bell (1964 *in* 1987); Aspect (1985)]

Certe le projet de démontrer la possibilité d'une lecture transcendantale de la mécanique quantique est ambitieux et, en définitive n'a d'intérêt que si nous pouvions étendre cette lecture à toutes les théories physiques contemporaines. Loin de nous la prétention d'avoir mené à terme une telle entreprise.

D'abord, notre compréhension de la philosophie transcendantale demeure fragmentaire, nous étant borné aux seules sections de la *Critique de la raison pure* qui nous apparaissaient avoir une pertinence évidente. En outre, pour ne pas trop nous embrouiller dans la profusion de débats qui ont fait suite à l'œuvre de Kant, nous nous sommes concentrer sur les seuls commentaires qui se trouvaient bien plutôt

confirmer certaines de nos intuitions que de les contredire. Au hasard de nos lectures, il s'est avéré que nous retrouvions ces confirmations chez les néo-kantiens. Ce qui fut un soulagement, nous indiquant que nos réflexions allaient, si ce n'est dans le bon sens, au moins dans un sens reconnu. D'ailleurs nous devons souligner cette très grande chance que l'un d'entre eux, en l'occurrence Ernst Cassirer, se soit lui-même penché sur le problème du déterminisme en mécanique quantique. Pourtant, nous ne pouvons même pas dire que ce travail ait fait de nous une spécialiste de l'interprétation néo-kantienne et ce n'était, de toute façon, pas le but. En fait, tout ce que nous espérions était de trouver dans la philosophie en général des éléments qui pourraient nous aider à comprendre le problème du déterminisme et plus précisément de la causalité en physique.

Pourquoi alors avoir choisi Kant plutôt qu'un autre? Ce choix fut dicté par cette simple suggestion du philosophe : il y a d'un côté les phénomènes qui sont connaissables et de l'autre le noumène qui ne l'est pas. Or l'interprétation de Copenhague suggère cette même distinction entre les phénomènes physiques, qui peuvent faire l'objet d'une description, bien que jamais complète en elle-même, et la réalité qui échappe à la représentation en vertu du principe d'indétermination de Heisenberg. En outre, Kant propose une définition de l'objectivité qui repose sur la constitution même du sujet. Or, l'interprétation de Copenhague replace au cœur du procès scientifique ce même sujet en considérant l'objet physique non plus comme ce qui est *en soi*, mais comme ce qui apparaît d'après les conditions d'expérimentation qui sont choisies par le sujet. Certes, Kant n'est peut-être pas le seul à avoir défendu de telles hypothèses, mais cette parenté possible entre Kant et les défenseurs de l'interprétation de Copenhague garantirait la valeur philosophique de cette interprétation.

Ensuite, le recours à la philosophie transcendantale, permet une articulation des concepts qui loin d'isoler la mécanique quantique du reste des théories physiques, bien au contraire, permettrait son intégration pleine et entière. Par le secours de la

*dialectique transcendantale* qui, comme nous l'avons vu, pose comme fondamentalement problématique la rencontre de la sensibilité (informée par l'espace et le temps) et de l'entendement (déployé sous les concepts, dont la causalité), il nous était permis de mieux comprendre cette suggestion d'Heisenberg que les théories physiques, dans leurs derniers retranchements, ne peuvent à la fois tenir une description causale, en fait conceptuelle, et spatio-temporelle (sensible) des événements [Heisenberg (1932), 53], mais que pourtant, cette fois selon le principe de complémentarité de Bohr, ces deux types de description sont nécessaires à la description complète de l'expérience physique.

Concluons donc cette section par une citation de Heisenberg qu'il attribue à Weizsäcker :

*L'a priori kantien n'est nullement éliminé de la physique moderne, mais d'une certaine manière il devient relatif. Les concepts de la physique classique – y compris ceux de 'temps', 'espace' et 'causalité' – restent des a priori pour la théorie de la relativité et pour la théorie quantique, en ce sens qu'ils doivent être utilisés pour décrire les expériences, ou – pour être plus prudent – qu'ils sont effectivement utilisés pour cela.* [Heisenberg (1969), 169-170]<sup>95</sup>

\*\*\*\*\*

Nous avons annoncé que nous tâcherions de dégager dans les théories physiques les différentes instances du jugement. Nous voulions qu'apparaisse clairement la distinction à faire entre jugement de perception, jugement conceptuel et jugement rationnel, ce dernier type de jugements supportant la tension des antinomies. Au terme de ce travail, nous réalisons à quel point cette tâche est loin d'être terminée, en tout cas, pas à notre satisfaction. Pourtant à cette heure, nous ne pouvons nous empêcher de nous demander : une telle tâche est-elle réalisable? Au fur et à mesure

<sup>95</sup> Notons que cette citation apparaît dans le cadre du rapport que Heisenberg nous donne de la visite de Grete Hermann aux physiciens qui s'étaient réunis autour de lui à Leipzig entre 1930 et 1932. Il est intéressant d'opposer les conclusions qu'en a tiré Heisenberg à celles que l'on peut retrouver dans le traité que Hermann a écrit suite à cette rencontre [Hermann (1934)].

de ce travail, il nous est apparu que l'idée de rendre compte d'une distinction nette entre les différentes classes de jugements ne se dit peut-être pas.

Dans sa *Critique de la raison pure*, Kant, lui, fait la distinction entre jugement analytique et jugement synthétique. Des premiers, nous dirions que ce sont des jugements qui se mordent la queue, leur déploiement ne donnant rien de plus que ce qui y était déjà si ce n'est la satisfaction d'avoir fait le tour d'une question. Les seconds, eux, restent enveloppés de mystère, car si nous pouvons un peu comprendre ce qu'ils sont lorsqu'ils constituent des jugements *a posteriori*, leur statut nous échappe toujours lorsqu'il est question d'en émettre quelques-uns dans la sphère de l'*a priori*. Par exemple, nous pouvons vérifier qu'un corps étendu est soumis à l'effet de la gravitation, même si, en définitive, rien *a priori* ne nous permet de lier la notion d'espace à celle de poids.<sup>96</sup>

Or lorsque l'on parle de synthèse rationnelle (ou synthèse des concepts), on ne fait peut-être pas autre chose que de pointer dans le sens de la possibilité du jugement synthétique<sup>97</sup> *a priori*, jugement dont la détermination de la possibilité est en fait le but ultime de la *Critique de la raison pure*, sa finalité et sa limite. [Cf. *Prol.*, 37] Aussi nous ne devrions-nous pas trop nous en faire de n'avoir pas su, dans le cadre de

---

<sup>96</sup> À ceux qui seraient tenté de nous rétorquer que la relativité générale résout ce problème *a priori*, nous nous contenterons de leur citer un passage de Weinberg où celui-ci nous met en garde contre la tentation de réifier le continuum d'espace-temps : (...) *Gauss was led to introduce the Gaussian curvature  $K=-2/R$  as the true measure of the departure of two-dimensional geometry from that of Euclid, and that Riemann subsequently introduced the curvature tensor ... to generalize the concept of curvature to three and more dimensions. It is therefore not surprising that Einstein and his successors have regarded the effects of gravitational field as producing a change in the geometry of space and time. At one time it was even hoped that the rest of physics could be brought into a geometric formulation, but this hope has met with disappointment, and the geometric interpretation of the theory of gravitation has dwindled to a mere analogy, which lingers in our language in terms like "metric", "affine connection" and "curvature", but is not otherwise very useful.* [Cf. Weinberg (1972), 147] En fait, il ne faudrait peut-être pas encore et toujours confondre l'espace et le temps de la représentation et les notions de dilatation de la durée des phénomènes et de la contraction des longueurs, phénomènes qui pourraient tout aussi bien s'expliquer en renonçant une fois pour toutes à l'idée de corps solides pour lui substituer celle de corps élastiques, peut-être même pénétrables.

<sup>97</sup> Notons que les jugements synthétiques, selon Kant, reposeraient sur un autre principe que le principe de contradiction. [Cf. *Prol.*, 27 sq.] Il aurait été intéressant d'exploiter ce filon

ce mémoire, rendre compte de la possibilité de ces jugements avec toute la clarté que nous avons espérée.

Nous concluons ce mémoire par la remarque suivante : Dans les faits, le débat sur l'unité du discours physique occupe bien peu les physiciens. Dans leur pratique quotidienne, ce n'est pas le cosmos tout entier et dans ses plus infimes détails qui les occupe, mais seulement des fragments de cette *réalité*. En fait, bon nombre de physiciens iront jusqu'à se demander si la cosmologie est véritablement une science au même titre que la connaissance que leur permettent d'acquérir leurs méthodologies d'enquête et d'analyse et, ce, à juste titre, parce que lorsque l'on interroge les cosmologistes, on réalise qu'une large part de leurs propos sont beaucoup plus spéculatifs que véritablement scientifiques, si on entend par « scientifique » ce qui est appuyé par les faits tirés de l'observation et de l'expérimentation.

Toutefois, la cosmologie scientifique n'est pas une spéculation arbitraire. Son discours obéit à des règles et ses arguments ne peuvent être puisés que dans ce qui n'est pas interdit par les théories physiques actuelles et disposent néanmoins de tout ce que ces théories permettent d'interpolation et d'extrapolation. Et lorsque, recourant à l'imagination, elle crée de nouveaux modèles (comme ceux des cordes et des membranes), ces modèles doivent rendre compte de ce qui a déjà été observé. Ainsi l'imagination cosmologique n'est pas libre.

Mais le cosmos est vaste, c'est le moins qu'on puisse dire, et le découpage auquel on le soumet influe sur la compréhension qu'on en tire. Personne n'a la prétention de saisir l'immensité cosmique. Quant à son découpage, il n'est pas univoque comme, finalement, la mécanique quantique nous le laisse entendre et nous le laissait déjà entendre la philosophie transcendantale. Comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, la cosmologie est affaire de dialectique. Son objet étant le monde, toutes les catégories qui nous permettent de construire les objets qui s'y inscrivent doivent être mises à contribution, même si ces catégories n'opèrent pas sous les mêmes modalités logiques. Dans l'univers de la philosophie transcendantale, les catégories sont autant

de limitations imposées par le sujet à la saisie du réel; et comme la cosmologie vise la totalité, il faudrait pouvoir lever ces limitations, Kant dit par l'épuisement de la série. Mais cette série ne se réfère pas à la totalité des phénomènes. La dialectique n'est pas un discours sur les faits, mais sur les conditions qui nous permettent l'élaboration de ces faits et la série devient alors la série des conditions. La contribution de la philosophie à la science n'est peut-être que ceci : une réflexion sur les conditions d'acquisition du savoir et sur les méthodes qui permettraient d'en tenir les fragments ensemble.

## REFERENCES

- Ahlfors, Lars V.: [1979], *Complex Analysis: An Introduction to the Theory of Analytic Functions of One Complex Variable*, 3<sup>rd</sup>Ed., New York, McGraw-Hill, 331 p.
- Albert, David Z.: [1994], « The Foundations of Quantum Mechanics and the Approach to Thermodynamic Equilibrium » in *Brit. Journ. Phil. Sci.*, 45, pp. 669-677.
- Arthur, Richard: [1994], « Space and Relativity in Newton and Leibniz », *Brit. Journ. Phil. Sci.*, 45, pp. 219-240.
- Aristote : [Mét.], *Métaphysique*, tomes I et II, trad. J. Tricot, Paris, Vrin, 1991.
- Aristote: [Phys.], *Physique*, trad. H. Carteron, Paris, les Belles Lettres, t. I (1990), t. II (1986).
- Aspect, A., P. Grangier, J. Vigue : [1985], « Quantum interference effect for two atoms radiating a single photon », in *Phys. Rev. Lett.* (1985) 54, p. 418
- Bachtá, Abdelkader: [2002], *L'espace et le temps chez Newton et chez Kant*, Paris, L'Harmattan, 418 p.
- Balibar, Françoise: [1985], « Bohr entre Einstein et Dirac », *Rev. Hist. Sci.*, XXXVIII/3-4, Paris, PUF, pp. 293-307.
- Barnes, Jonathan: [1990], *The toils of Scepticism*, Cambridge Univ. Press, Cambridge (Mass.), 161 p.
- Beck, L.W.: [1974], *Kant's theory of knowledge: selected papers from the third International Kant Congress*, édité par Beck, Dordrecht, D. Reidel, 1974, 219 p.
- Bell, J.S.: [1987], *Speakable and unspeakable in quantum mechanics* [Collected Papers], Cambridge Univ. Press, Cambridge (U.S.A.).
- Bergson, Henri: [1922], *Durée et simultanéité. À propos de la théorie d'Einstein*, Paris, PUF, 1967, 216 p.
- Bitbol, Michel: [1996], *Mécanique quantique: une introduction philosophique*, Paris, Flammarion, 471 p.

- Bohm, D.: [1957], *Causality and Chance in Modern Physics*, Londres, Routledge & Kegan Paul, 170 p.
- Bohr, N.: [1932], *La théorie atomique et la description des phénomènes*, Paris, Gauthier-Villars, 111 p.
- Bohr, N.: [1935], « Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete »?, *Phys. Rev.* 48 (October 15, 1935), pp. 696-702.
- Bohr, N.: [1991], *Physique atomique et connaissance humaine*, trad. E. Bauer et R. Omnès; édition établie par Catherine Chevalley, Paris, Gallimard, 641 p.
- Bohr, N.: [Bohr, CW], *Collected works*, general editor: L. Rosenfeld., Amsterdam, North-Holland Pub. Co., 1972, 9 vol.
- Bohr, N., Heisenberg, W.: [1963], *Die Kopenhagen Deutung der Quantentheorie*, Stuttgart, A. Hermann; pour la traduction française, *L'interprétation copenhagienne de la théorie quantique*.
- Borel, Émile:[Borel]. *Oeuvres de Émile Borel*, Paris, Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique, 1972, xvi, 2489 p.
- Born, Max: [1969], *Atomic physics / from the original translation of John Dougall ; revised by the author in collaboration with R. J. Blin-Stoyle.-- 6th ed.--* London : Blackie, [1958, c1957] 445 p
- Bourbaki, N.: [1981], « Espaces vectoriels topologiques » in *Eléments de mathématique*, v.1, ch 1-5, Paris, Masson, 1981.
- Bridgman, P. W. : [1927], *The logic of modern physics*, MacMillan, New York, 228 p.
- Bridgman, P. W. : [1936], *The Nature Of Physical Theory*, Princeton, Princeton university press, 138 p.
- Brunschwig, L.: [1922], *L'expérience humaine et la causalité physique*, Paris, PUF, 1949, 601 p.
- Cartwright, N.: [1989], *Nature's Capacities and their Measurement*, Oxford, Clarendon, 268 p.
- Cassirer, Ernst: [1923], *The problem of knowledge : Philosophy, Science & History since Hegel*, trad. W.H. Woglom et C.W. Hendel, New Haven, Yale University Press, 1950, 334 p.

- Cassirer, Ernst: [1929], *La philosophie des formes symboliques. T. 3. La phénoménologie de la connaissance*, <trad. Claude Fronty>, Paris, Les éditions de minuit, 1972.
- Cassirer, Ernst: [1933], *Substance and Function; and Einstein's Theory of Relativity*, Dover.
- Cassirer, Ernst: [1936], *Determinism and Indeterminism in Modern Physics*, trad. Theodor Benfey, New Haven, Harvard Univ. Press, 1956, 227 p.
- Chevalley, Catherine: [1985], « Complémentarité et langage dans l'interprétation de Copenhague », *Rev. Hist. Sci.*, XXXVIII/3-4, Paris, PUF, pp. 251-292.
- Chevalley, Catherine: [1987], « Albert Lautman et le souci logique », *Rev. Hist. Sci.*, XL/1, Paris, PUF, pp. 49-77.
- Chevalley, Catherine: [1989], « Histoire et philosophie de la mécanique quantique; travaux récents », *Synthèse*, IV<sup>es</sup>. nos 3-4, Paris, Centre international de synthèse (Albin Michel), pp. 469-481.
- Chevalley, Catherine: [1990], « La physique de Heidegger », *les Études Philosophiques*, no.3, Paris, PUF, pp. 289-311.
- Cohen, Hermann : [1907] *Commentaire de la « Critique de la raison pure » de Kant*, traduction et présentation de E. Dufour, Paris, Cerf, 2000, 259 p.
- Cohen-Tannoudji, C., Diu, B., Lanoë, F: [Cohen-Tannoudji (1977)], *Mécanique Quantique*, (tomes I et II), Paris, Hermann.
- Conche, Marcel : [1973], *Pyrrhon ou l'apparence*, Ed. du Mégare, Villier sur Mer (France), 169 p.
- Dahan Dalmedico, Amy: [1992], « Le déterminisme de Pierre-Simon de Laplace et le déterminisme aujourd'hui », *in Chaos et déterminisme*, Paris, Seuil, pp.371-406.
- Damasio, Antonio R. : [1994], *L'erreur de Descartes*, trad. Marcel Blanc, Paris, Odile-Jacob, 1995 (2001), 396 p.
- Dingle, Herbert: [1950], « Theory of Measurement », *Brit. Journ. Phil. Sci.* 1, no.1, pp.5-26.
- Diogenes Laertius, *Lives of Eminent Philosophers*, trad. R.D. Hicks, Cambridge (Mass.), Harvard Univ. Press, Loeb Classical Library, 1931, 2 v.

- Do Carmo, M.P.: [1976], *Differential Geometry of Curves and Surfaces*, Englewood Cliffs (NJ), Prentice-Hall, 503 p.
- Einstein, Podolski, Rosen: [1935] « Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete? », *Phys. Rev.* 47 (May 15, 1935), pp. 777-780
- Einstein, A.: [1956], *La relativité*, Paris, Gauthier-Villars, 183 p.
- Emch, G.G.: [1985], *Mathematical and Conceptual Foundations of 20th-Century Physics*, Amsterdam, North-Holland, 549 p.
- French, Anthony Philip: [1968], *Special Relativity*, New York, Norton. [The M.I.T. introductory series], 286 p.
- Friedman, Michael: [1992], *Kant and the Exact Sciences*, Harvard Univ. Press, Cambridge (Mass.), 357 p.
- Gauthier, Y.: [1991], *De la logique interne*, Paris, Vrin, 140 p.
- Gauthier, Y.: [1992], *Logique interne des théories physiques*, Paris, Vrin, 167 p.
- Gauthier, Y.: [1995], *La philosophie des sciences : une introduction critique*, Montréal, Presse de l'Université de Montréal, 129 p.
- Goldstein, H.: [1980], *Classical Mechanics*, 2<sup>nd</sup> ed., Reading (Mass.), Addison-Wesley, 672 p.
- Halmos, P.: [1957], *Introduction to Hilbert Space*, New York, Chelsea, 114 p.
- Heisenberg, Werner: [1930], *Les principes physiques de la théorie des quanta*, trad. B. Champion et E. Hochard, Paris, Gauthier-Villard et Cie, 1932, 123 p.
- Heisenberg, Werner: [1949], *Two Lectures*, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 61 p.
- Heisenberg, Werner: [1955], *The Physicist's Conception of Nature*, trad. A.J. Pomerans, London, Hutchinson, 1958, 191 p.
- Heisenberg, W.: [1969], *La partie et le tout. Le monde de la physique atomique*, trad. Paul Kessler, Paris, Flammarion, 1972, 335p.
- Heisenberg, Werner: [1974], *Across the Frontiers*, <trad. Peter Heath>, New York, Harper & Row, 229 p.

- Heisenberg, Werner: [1983], *Tradition in Science*, New York, Seabury Press, 141 p.
- Hermann, Grete: [1934], *Les fondements philosophiques de la mécanique quantique*, traduit par Lena Soler et Alexandre Schnell. Paris, Vrin, 1996, 190 p.
- Hermann, Armin: [1971], *The Genesis of Quantum Theory (1899-1913)*, Cambridge (Mass.), MIT Press, 165 p.
- Hilbert, D., « Sur l'infini », [Trad. A. Weil], *Acta Math.* 48, pp. 91-122.
- Hume, David: [EEH] *Enquête sur l'entendement humain*, trad. A. Leroy et M. Beyssade, Paris, GF- Flammarion, 1983, 247 p.
- Hume, D.: [TNH], *L'entendement : Traité de la nature humaine*, trad. P. Baranger et P. Saltel, Paris, Garnier-Flammarion, 1995, 429 p.
- Jackson, J.D.: [1975], *Classical Electrodynamics*, New York, John Wiley & Sons, 848 p.
- Jammer, Max: [1966], *Conceptual Development of Quantum Mechanics*, McGraw-Hill, Toronto, 399 p.
- Jammer, M.: [1974], *The Philosophy of Quantum Mechanics*, John Wiley & Sons, New York, 536 p.
- Jauch, J. M.: [1968], *Foundations of Quantum Mechanics*, Reading (Mass.), Addison-Wesley, 299 p.
- Jauch, J. M.: [1973], *Are Quanta Real? A Galilean Dialogue*, Bloomington, Indiana Univ. Press, 106 p.
- Kant, E.: [CRP], *Critique de la raison pure*, trad. A. Renaut, Paris, GF Flammarion 2001, 749 p.
- Kant, E.: [PPM], *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, [trad. J. Gibelin], Paris, Vrin, 1990, 165 p.
- Kant, E.: [OP] *Opus Posthumus: Passage des principes métaphysiques de la science de la nature à la physique*, traduction, présentation et notes de François Marty, Paris, PUF, 1986, 444 p.
- Kant, E.: [Prol.], *Prolégomènes à toute métaphysique future*, [trad. L. Guillermit], Paris, Vrin, 1986, 171 p.

- Kaufmann, Felix: [1949], « Cassirer's Theory of Scientific Knowledge », *The Philosophy of Ernst Cassirer*, Evanston (Illinois). Library of Living Philosophers Inc, pp. 185-213.
- Kojève, Alexandre: [1932, 1990], *L'idée du déterminisme dans la physique classique et dans la physique moderne*. Livre de poche (Bibliothèque des essais), Paris, 1990, 346 p.
- Kojève, Alexandre: [1973], *Kant*, Paris, NRF-Gallimard, 218 p.
- Kuhn, T.S.: [1970], *The Structure of Scientific Revolution*, [2<sup>nd</sup> Ed.], Chicago, Univ. Chicago Press, 210 p.
- Lagrange, J.L. : [1813] *La théorie des fonctions analytiques : contenant les principes du calcul différentiel, dégagés de toute considération d'infiniment petits, d'évanouissants, de limites et de fluxions, et réduits à l'analyse algébrique des quantités finies*, quatrième édition réimprimée d'après la deuxième édition de 1813 chez M<sup>me</sup> V<sup>e</sup> Courcier, Paris, 427 p., in *Oeuvres de Lagrange*, Paris, Gauthier-Villars.
- Laplace, M. le comte: [1774], *Mémoire sur la probabilité des causes par les événements*, in *Oeuvres complètes de Laplace*, tome 8, pp. 27-65.
- Laplace, M. le comte: [1814], *Essai philosophique sur les probabilités*, Paris, M<sup>me</sup> V<sup>e</sup> Courcier; 96 p.
- Laplace, M. le comte: [Laplace], *Oeuvres Complètes de Laplace*, Paris, Gauthier-Villars, 1878-1912, 14 v.
- Lawden, D.F.: [1975], *An Introduction to Tensor Calculus and Relativity*, 2<sup>nd</sup> ed., London, Chapman and Hall, 193 p.
- Leibniz, G. W.: [*Monad.*], *La Monadologie*, [ed. crit. E. Boutroux], Paris, Librairie Générale Française, 1991, 317 p.
- Leibniz, G. W.: [*Théod.*], *Essais de théodicée*, Paris, Garnier-Flammarion, 1969, 502 p.
- Lenzen, Victor F.: [1944], « The Concept of Reality in Physical Theory », in *Phil. Rev.* vol. LIV, no.4, pp. 321-344.
- C. Lévi-Strauss et A. Weil. : [1973] « La geste d'Asdiwal » in *Anthropologie structurale deux*, Paris, Plon, 1996, pp. 175-233
- Lévy-Leblond, J.-M. : [1976], « One more derivation of the Lorentz transformation », in *Am. J. Phys.*, vol 44, no 3, March 1976. pp. 271-277.

- Lévy-Leblond, J.-M.: [1996], *Aux contraires. L'exercice de la pensée et la pratique de la science*, Paris, NRF-Gallimard, 435 p.
- Malherbe, Michel: [1980], *Kant ou Hume*, Paris, Vrin, 333 p.
- Marsden, J.E.: [1974], *Elementary Classical Analysis*, New York, Freeman, 549 p.
- Merha, Jagdish: [1974], *Einstein, Hilbert, and the Theory of Gravitation: Historical Origins of General Theory of Relativity*, Dordrecht-Holland, 88 p.
- Merleau-Ponty, J.: [1974], *Leçons sur la genèse des théories physiques: Galilée, Ampère, Einstein*, Paris, Vrin, 172 p.
- Morava, J.: [2003], « On the canonical formula of C. Lévi-Strauss », in *ArXiv :math.CT/0306174v2 (11 Jun 2003)*, Cornell University e-print services
- Nehari, Zeev: [1952], *Conformal Mapping*, New York, Dover, 396 p.
- Nerlich, Graham: [1994], *What spacetime explains: metaphysical essays on space and time*, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 283 p.
- Ockham, William : [TS], *Tractatus de Successivis*, édité par P. Boehner, New York, Franc. Inst. Publ., 1944.
- Omnès, Roland : [1994], *Philosophie de la science contemporaine*, Paris, Gallimard, 426 p.
- Parménide : « Fragments » in *Les penseurs grecs avant Socrate : de Thalès de Milet à Prodicos*, traduction, introduction et notes par Jean Voilquin, Paris, GF-Flammarion, 1964.
- Pearson, J.M. : [1966], *A theory of waves*, Boston, Allyn and Bacon, 140 p.
- Petruccioli, Sandro: [1993], *Atoms, Metaphors and Paradoxes: Niels Bohr and the construction of a new physics*, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 241 p.
- Philonenko, A.: [1969], *L'oeuvre de Kant: la philosophie critique*, tome 1, Paris, Vrin, 339 p.
- Philonenko, A.: [1982], *Études Kantiennes*, Paris, Vrin, 212 p.
- Philonenko, A.: [1990], *Le transcendantal et la pensée moderne*, Paris, PUF, 308 p.

- Piskounov, N. : [1987], *Calcul différentiel et intégral*, 11<sup>ème</sup> éd., trad. G. Der-Megreditchian et E. Gloukhian, Moscou, Mir, 1980, 2 v.
- Popper, Karl R.: [1950], « Indeterminism in Quantum Physics », Part I. *Brit. Journ. Phil. Sci.* 1, n.2, pp.117-133; Part II. *Brit. Journ. Phil. Sci.* 1, n.3, pp.173-195.
- Putnam, H.: [1975], *Philosophical Papers (vol. 1): Mathematics, Matter and Method*, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 364 p.
- Reif, F. : [1965], *Fundamentals of statistica and thermal physics*. New York, McGraw-Hill, 651
- Renaut, A.: [1997], *Kant aujourd'hui*, Paris, Aubier, 511 p. [Collection Champs Flammarion]
- « Documentation: Bibliographie se rapportant au concept de complémentarité et à ses prolongements », *Revue d'Histoire des Sciences*, 1985, XXXVIII/3-4, , pp. 353-363.
- Rivelayque, J.: [1992], *Leçons de métaphysique allemande. Kant, Heidegger, Habermas*, (tome II) Paris, Grasset et Fasquelle, 542 p. [Collection dirigée par Jean-Paul Enthoven]
- Rousseau, Jean-Jacques: [1762], *Du contrat social*, présentation de Bruno Bernardi, Paris, GF-Flammarion, 2001, 256 p.
- Schrödinger, Erwin: [1931], « Sur la théorie relativiste de l'électron et l'interprétation de la mécanique quantique », *Ann. Inst. Poincaré*, pp. 269-310.
- Schopenhauer, A.: [1847], *De la quadruple racine du principe de raison suffisante*, trad. J. Gibelin, 4<sup>e</sup> éd., Paris, Vrin, 1983, 164 p.
- Schopenhauer, A.: [1859], *Le monde comme volonté et comme représentation*, trad. A. Burdeau, revu et corrigé par R. Roos, Paris, PUF, 1983, 1434 p.
- Schopenhauer, A.: [1911], *Philosophie et science de la nature*, extrait des *Pererga et paralipomena*, trad. Auguste Dietrich, Paris, Librairie Félix Alcan, 193 p.
- Schulze, : [Aenes.] « Aenesideme or concerning the fondations of the Philosophy of the Elements Issued by Prof. Reinhold in Jena together with a Defense of Skepticism Against the pretentions of the Critique of Reason », trad. G. di Giovanni. in *Between Kant*

*and Hegel. Texts in the development of Post-Kantian Idealism.*  
Albany, SUNY Press, 1985. 400 p.

- Sextus Empiricus, *Outlines of Pyrrhonism*, trad. R. G. Bury, Cambridge (Mass.), Harvard Univ. Press. Loeb Classical Library, 1933, 4 v.
- Spivak, Michael: [1980], *Calculus*, Wilmington (U.S.A.). Publish or Perish Inc., 647 p.
- Tolstov, G.P.: [1962], *Fourier Series*, trad. A. Silverman, New York, Dover, 336 p.
- Strawson, G.: [1989], *The Secret Connexion: Causation, Realism, and David Hume*, Oxford, Clarendon, 291 p.
- van Fraassen, Bas C.: [1980], *The Scientific Image*, Oxford, Clarendon, 235 p.
- van Fraassen, Bas C.: [1991], *Quantum Mechanics: an Empiricist View*, Oxford, Clarendon, 541 p.
- Vladimorov, V.S.: [1979], *Generalized Functions in Mathematical Physics*, trad. G. Yankovsky, Moscow, Mir, 362 p.
- Voltaire : [1752], *Micromégas*, rééd. in *Zadig et autres contes*, préf. F. Deloffre, Paris, Gallimard, 1992.
- von Neumann, J.: [1932, 1955], *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, Princeton, Princeton Univ. Press, 447 p.
- Weinberg, Steven: [1972], *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity*, New York, John Wiley & Sons, 657 p.
- Weinberg, Steven : [1995], *The quantum theory of fields, vol. 1 : Foundations*, Cambridge, UK: Univ. Pr., 609 p.
- Wittgenstein, Ludwig: [1921], *Logisch-Philosophische Abhandlung*, édition bilingue, traduction anglaise sous le titre de *Tractatus Logico-Philosophicus* par C.K. Ogden, London, Routledge & Kegan Paul Ltd, 1922, 1988, 207 p.

## ADDENDA

Le texte d'une conférence donnée à l'Institut Henri Poincaré par Schrödinger en 1931 nous a échappé lors de la rédaction finale de ce mémoire. Pourtant, à plusieurs reprises, nous aurions dû le citer, en particulier en ce qui a trait au problème de la compatibilité des théories quantiques et relativistes, le caractère paramétrique du temps dans l'équation de Schrödinger et l'introduction d'opérateur unitaire préservant la forme générale des distributions lors de leur évolution dans le temps. [Cf. Schrödinger (1931)]

