



HAL
open science

Retour sur la philosophie de la physique quantique d'Ernst Cassirer

Philippe Stamenkovic

► **To cite this version:**

Philippe Stamenkovic. Retour sur la philosophie de la physique quantique d'Ernst Cassirer. Revue d'Histoire des Sciences, 2017, 70 (2), pp.397-426. 10.3917/rhs.702.0397 . hal-01829084

HAL Id: hal-01829084

<https://hal.science/hal-01829084>

Submitted on 14 Feb 2024

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

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

Stamenkovic Philippe
172 rue Gabriel Péri
94400 Vitry-sur-Seine
+33 6 28 91 17 86
philippe.stamenkovic@polytechnique.org

Article soumis à la *Revue d'histoire des sciences* le 04/05/2016, révisé le 21/08/2017.

Retour sur la philosophie de la physique quantique d'Ernst Cassirer

Résumé :

Cet article revient sur la philosophie de la physique quantique d'Ernst Cassirer telle que développée dans son dernier ouvrage épistémologique *Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik* (1936), et sa thèse principale selon laquelle la causalité est conservée dans la théorie quantique, moyennant une re-conceptualisation de son objet. Il étudie la place du principe de causalité dans la hiérarchie de la connaissance physique selon Cassirer, et montre son rôle à la fois constitutif et régulateur, qui est lié à la disparition de la faculté kantienne de l'intuition chez Cassirer. Il passe en revue d'autres caractéristiques (holisme notamment) de la conception cassirérienne de la théorie physique. Il revient en détail sur la manière dont Cassirer parvient à passer d'une interprétation observationnaliste (négative, en tant que manque d'information) à une interprétation constitutive (positive, en tant que nouvelle définition de l'objet) des relations de Heisenberg. Il conclut avec le caractère prometteur de la conception de Cassirer pour faire droit à la théorie quantique, par rapport à une conception du type « relativized a priori » à la Friedman-Kant, ainsi que son caractère précurseur par rapport à ses contemporains (physiciens comme philosophes).

mots-clés : Cassirer, théorie quantique, causalité, déterminisme, a priori.

Ernst Cassirer's Philosophy of Quantum Physics Reconsidered

Abstract :

This article reconsiders Ernst Cassirer's philosophy of quantum physics, as exposed in his last epistemological work *Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik* (1936), and to his thesis according to which causality is conserved in quantum theory, provided its object is re-conceptualized. It studies the place of the principle of causality in Cassirer's hierarchy of physical knowledge, and shows its role both constitutive and regulative, which is linked to the disappearing of the Kantian faculty of intuition in Cassirer. It reviews other characteristics (in particular holism) of Cassirer's conception of physical theory. It analyzes in detail how Cassirer manages to shift from an observationalist (negative, as a lack of information) to a constitutive (positive, as a new definition of the object) interpretation of Heisenberg's relations. It concludes with the promising character of Cassirer's interpretation of quantum theory, in comparison to Friedman's Kant-inspired "relativized a priori", and how he appears as a forerunner with respect to his contemporaries (physicists as well as philosophers).

keywords : Cassirer, quantum theory, causality, determinism, a priori.

L'épistémologie de la physique du philosophe néo-kantien Ernst Cassirer (1874-1945) a récemment fait l'objet d'un regain d'intérêt, en ce qui concerne aussi bien son interprétation de la théorie de la relativité d'Einstein (développée dans son ouvrage *Zur Einsteinschen Relativitätstheorie* publié en 1921, ci-après abrégé en *ZER*)¹ que de la théorie quantique (*Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik*, 1936, abrégé en *D&I*)². En ce qui concerne ce dernier ouvrage, Jean Seidengart³ semble l'avoir, le premier, sorti de l'oubli où l'avait laissé la recension de Philipp Frank (qui avait cherché, à tort, à y voir une illustration et une confirmation des thèses de l'empirisme logique)⁴. Plus récemment, Angelo Cei et Steven French⁵ ont cherché à y voir une illustration du « réalisme structural ontique » qu'ils défendent. Très récemment, Thomas Ryckman⁶ a livré une analyse historiquement et scientifiquement rigoureuse de l'ouvrage. Néanmoins, d'importantes parts de l'ouvrage demeurent inexplorées ou sous-exploitées, ce à quoi cet article entend remédier (au moins partiellement). Comme l'indique son titre, *D&I* s'intéresse principalement au problème du déterminisme et de la causalité (sur la distinction entre ces deux notions, cf. *infra*) dans la théorie quantique. En effet, depuis sa création au milieu des années 20, la théorie quantique annonce la « crise » (voire, pour certains physiciens, l'abandon⁷) du concept de causalité, en raison du processus (non causal) de réduction du paquet d'ondes au moment de la mesure (l'équation de Schrödinger, qui décrit l'évolution temporelle de la fonction d'onde caractéristique d'un système quantique indépendamment de toute mesure, obéissant bien en revanche à une évolution causale).

Plus précisément, comme l'écrit Henri Margenau, physicien et collègue de Cassirer à Yale, dans sa préface à l'édition anglaise de *D&I*, c'est la conception de la mécanique newtonienne en tant que paradigme de la causalité qui a conduit à « la croyance que la mécanique quantique n'est plus une discipline causale »⁸. De fait, il s'avéra que la loi de Newton n'était pas applicable aux particules atomiques : Schrödinger réussit à la remplacer par une nouvelle équation, dont la solution

¹ Ernst Cassirer, *Zur Einsteinschen Relativitätstheorie. Erkenntnistheoretische Betrachtungen* (Berlin : Bruno Cassirer Verlag, 1921). Cf. notamment la présentation de J. Seidengart à sa traduction française de l'ouvrage (*La théorie de la relativité d'Einstein*, Paris : Cerf, 2000), ainsi que l'article de Thomas A. Ryckman, Einstein, Cassirer, and general covariance. Then and now, *Science in Context*, 12/04 (1999), 585-619.

² Ernst Cassirer, *Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik: historische und systematische Studien zum Kausalproblem* (Göteborgs Högskolas Årsskrift, tome 42/3, 1936). Dans ce qui suit, je me référerai à l'édition suivante, qui regroupe *ZER* et *D&I* : Ernst Cassirer, *Zur modernen Physik*, (Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1957). *D&I* a été traduit en anglais par O. Theodor Benfey selon *Determinism and indeterminism in modern physics: historical and systematic studies of the problem of causality* (New Haven : Yale University Press, 1956). Il n'existe pas de traduction française de *D&I* (toutes les citations dans ce qui suit sont traduites par mes soins).

³ Jean Seidengart, Une interprétation néo-kantienne de la théorie des quanta est-elle possible? *Revue de Synthèse*, 106 (octobre-décembre 1985), 395-418. Cf. également quelques passages de Jean Seidengart, Théorie de la connaissance et épistémologie de la physique selon Cassirer, in Jean Seidengart éditeur, *Ernst Cassirer : De Marbourg à New York. Un itinéraire philosophique* (Paris, Cerf, 1990), Actes du colloque de Nanterre (12-14 oct. 1988) ; ainsi que de Jean Seidengart, La physique moderne comme forme symbolique privilégiée dans l'entreprise philosophique de Cassirer, *Revue de Métaphysique et de Morale*, 4 (1992), 491-515.

⁴ Philipp Frank, *Between Physics and Philosophy* (Cambridge, MA : Harvard University Press, 1941), ch. IX. Ce chapitre reprend la recension suivante : Bemerkungen zu E. Cassirer: Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik, *Theoria*, IV, 70 (Göteborg, 1938). Cf. également quelques remarques assez générales (non orientées vers l'empirisme logique) de Dmitry Gawronsky, Cassirer's contribution to the epistemology of physics, in Paul Arthur Schilpp éditeur, *The Philosophy of Ernst Cassirer* (Evanston, Illinois : the Library of Living Philosophers, Inc., 1949), 215-238.

⁵ Angelo Cei et Steven French, On the transposition of the substantial into the functional: bringing Cassirer's philosophy of quantum mechanics into the twenty-first century, in Michel Bitbol, Pierre Kerszberg et Jean Petitot éditeurs, *Constituting Objectivity: Transcendental Perspectives on Modern Physics* (Springer, 2009), 95-115. Cf. également quelques réflexions de Steven French, Symmetry, structure and the constitution of objects (non publié).

⁶ Thomas A. Ryckman, A retrospective view on Determinism and Indeterminism, in J. Tyler Friedman et Sebastian Luft éditeurs, *The Philosophy of Ernst Cassirer: A Novel Assessment* (Berlin/Boston : de Gruyter, 2015), 65-102.

⁷ Pour une mise en contexte historique, cf. Ryckman, *op. cit.* in n. 6, §1.

⁸ In Cassirer (1956), *op. cit.* in n. 2, xvi.

n'est pas spécifiable en termes de position et de quantité de mouvement (mais de fonction d'onde). De plus, Heisenberg découvrit, à travers son principe d'incertitude, que les variables de position et de quantité de mouvement « avaient perdu leur pertinence en tant que quantités universellement observables, car elles ne p[ou]v[ai]ent toutes deux être connues avec précision »⁹. D'après Margenau, « ceci sembla sonner le glas de la causalité, car les états qu'elle impliquait n'étaient ni théoriquement significatifs [à cause de l'équation de Schrödinger] ni disponibles par observation [à cause des relations de Heisenberg] »¹⁰.

Dans ce cadre, l'ouvrage de Cassirer vise principalement à montrer que, contrairement à une opinion couramment partagée à l'époque, la causalité (ou le déterminisme, ce qui pour Cassirer est la même chose) est bien conservée dans la théorie quantique, moyennant une redéfinition du concept d'*objet* physique. En effet, comme le dit Cassirer (et c'est là le fil directeur de son ouvrage), le concept de cause (ou le principe de causalité) est intimement lié au concept d'objet (ou de « "réalité" physique » [*physikalischen Realität*]) présupposé :

La réponse au *problème de la causalité* [*Kausalproblem*] que nous donne une théorie de la connaissance scientifique de la nature [*naturwissenschaftliche Erkenntnislehre*] ne vaut jamais pour elle seule, mais elle repose toujours sur une certaine supposition quant au *concept d'objet* en sciences de la nature [*einer bestimmten Annahme über den naturwissenschaftlichen Objektbegriff*]. Les deux moments sont directement imbriqués l'un dans l'autre et se conditionnent réciproquement. Nous ne pouvons jamais comprendre la signification et le fondement du concept de causalité [*Kausalbegriff*] d'une certaine époque ou d'une certaine orientation de la pensée scientifique de la nature, sans mettre le doigt sur ce point - sans interroger à nouveaux frais le concept de « réalité » [*Realität*] physique qui est présupposé par elle. J'essaierai plus tard de montrer que cette relation vaut aussi pour la mécanique quantique moderne : que, dans la « crise du concept de causalité » qui semble la distinguer, nous avons bien plus affaire à une transformation [*Umbildung*] critique, une nouvelle conception du concept d'objet.¹¹

Cassirer va ainsi montrer que si l'on abandonne le concept classique d'objet physique, la causalité est conservée en mécanique quantique.

1. Causalité et déterminisme

Face à la diversité de leurs acceptions, et à la confusion qui entoure fréquemment leur usage, il n'est pas inutile de définir précisément ce qu'on entend par causalité et déterminisme. La plupart des auteurs distinguent les deux notions. Classiquement, la causalité revient mathématiquement à dire que si l'on considère un système dont l'état est fonction du temps à l'instant t , on peut déterminer son état à l'instant $t + dt$. Il est ici question de l'évolution temporelle générale du système, c.-à-d. de la *loi* temporelle à laquelle il obéit (une équation différentielle fonction du temps). Le déterminisme classique (souvent qualifié de laplacien, cf. *infra*) ajoute à la causalité (l'évolution temporelle causale du système) la connaissance des *conditions initiales*, qui permet de déterminer l'état du système pour tout instant t . Le déterminisme implique ainsi la *prévisibilité* de l'état physique du système considéré (en théorie seulement, car en pratique la prévision parfaite est une exigence plus grande, plus difficile à satisfaire, pour des raisons calculatoires par exemple).

Si l'on revient à la mécanique quantique, on a coutume de dire qu'elle est indéterministe au sens où une *mesure* quantique est un processus aléatoire (contrairement à une mesure en physique classique), c'est-à-dire qu'on ne peut en prévoir le résultat que sous forme statistique (dans le cas d'un grand nombre de mesures) ou probabiliste (dans le cas d'une seule mesure). La mécanique quantique est en revanche bien déterministe en ce qui concerne l'évolution de la fonction d'onde, dont la connaissance à l'instant initial permet, grâce à l'équation de Schrödinger (qui est une équation différentielle du premier ordre par rapport au temps), de la déterminer à tout autre instant.

Comme l'écrit Margenau, la question est de savoir si la fonction d'onde $\psi(x, t)$ peut être considérée comme « véritablement descriptive de l'état d'un système physique » (si elle peut, en

⁹ *Ibid.*, xvii.

¹⁰ *Ibid.*

¹¹ Cassirer (1957), *op. cit.* in n. 2, 138.

d'autres termes, être considérée comme une description *complète* du système), car « malheureusement ψ n'est pas reliée au genre de choses que l'on considère ordinairement comme une variable d'état dans l'ancienne physique »¹². En effet elle ne correspond à rien qui soit mesurable directement. C'est son module carré, la densité de probabilité $\psi^*\psi$, qui est mesurable (puisqu'elle fournit la probabilité de présence de la particule), mais cette probabilité n'obéit, en général, à aucune équation simple, et ne suit pas par conséquent une évolution causale. En définitive, ni ψ ni $\psi^*\psi$ ne permettent de prévoir avec certitude le résultat d'une seule observation, qui n'est donc plus « déterminée par une loi causale »¹³.

Or pour Cassirer, qui parle indifféremment de déterminisme ou de causalité (comme le montre par exemple son exposition historique du « déterminisme métaphysique » de Leibniz, ou du « déterminisme critique » de Kant¹⁴), ce n'est pas tant le résultat de mesure que l'évolution temporelle du système qui importe. Dans la mesure où la mécanique quantique est gouvernée par des lois, elle est bien déterministe (au sens élargi de Cassirer, c.-à-d. causale). Pour Cassirer en effet, l'« authentique indéterminisme » concerne non pas les « évènements individuels » (tels que les résultats de mesure) mais les lois elles-mêmes, conformément à son orientation transcendentale qui interprète l'indéterminisme relativement à la forme de notre connaissance, c'est-à-dire aux concepts et principes, et non à sa matière, c'est-à-dire aux évènements matériels¹⁵. Ce ne serait qu'en l'absence de lois fixes et universelles qu'il faudrait véritablement parler d'indéterminisme, et non pas en l'absence de détermination d'un évènement individuel : « Le "jeu de dés" de la nature prendrait alors une autre forme - il ne s'agirait plus de parvenir à une décision sur le chemin suivi par un électron individuel, mais il s'agirait de la question de savoir si la nature pourrait, à un certain moment, appliquer telle ou telle loi, si elle pourrait changer ses lois "d'un cas à l'autre" d'une manière incontrôlable pour notre connaissance. »¹⁶

Margenau remarque à juste titre que Cassirer ne distingue pas déterminisme et causalité, mais l'interprétation qu'il donne alors de sa conception est inexacte : « Définissant le déterminisme d'une manière similaire à Born¹⁷, il considère comme causes et effets précisément les évènements ou situations que la légalité de la nature permet au scientifique de prédire. La prévision implique toujours un point de départ sous la forme d'une situation connue ; elle relie une situation connue à une situation prévue ; n'importe quel membre de cette paire précédant temporellement l'autre est la cause, le second est l'effet. En ajustant adéquatement la signification de termes lâches comme "évènement", "situation", etc., Cassirer résout l'étrange distinction et fait simplement du déterminisme la doctrine qui affirme l'universalité des relations causales. »¹⁸ Si la dernière phrase est correcte, Margenau attribue improprement à la conception cassirérienne de la causalité la demande de prévisibilité, ainsi que la seule antécédence temporelle de la cause par rapport à l'effet. Pour Cassirer, en effet, la causalité ne saurait se réduire à la prévisibilité, sauf à confondre (comme il arrive à

¹² In Cassirer (1956), *op. cit.* in n. 2, xvii sq.

¹³ *Loc. cit.* En particulier, pour Margenau (comme pour Cassirer), si le rapport de la fonction d'onde avec la mesure est clair dans le cas d'un grand nombre d'observations (interprétation statistique), il demeure problématique dans le cas d'une observation unique.

¹⁴ Cassirer (1957), *op. cit.* in n. 2, 144 sqq. Plus exactement, Cassirer s'efforce de montrer comment le déterminisme métaphysique (chez Leibniz, ou à travers la fiction de l'esprit de Laplace) repose sur une « fausse auto-satisfaction [*Selbstbefriedigung*] » (*ibid.*, 159) de la raison qui tend vers « l'inconditionné » kantien, en ce qu'il enlève au principe de causalité toute possibilité d'application, et donc de signification (on se souviendra en effet que, chez Kant, la « réalisation » d'un concept a pour contrepartie nécessaire sa « restriction »). Au contraire, le déterminisme critique, en limitant l'application du principe de causalité à l'expérience (ou, en ce qui concerne la fiction de Laplace, à un entendement fini, discursif, et non infini, intuitif), lui confère non seulement une signification négative mais bien positive (*ibid.*, 158).

¹⁵ *Ibid.*, 262. Inversement, Cassirer (*ibid.*, 229) critique la tendance, courante, à parler d'« indéterminisme » à chaque fois que des « lois statistiques » sont en jeu : « Ainsi les nouveaux problèmes auxquels menaient le second principe et le développement de la théorie quantique furent traités sous le titre d' "indéterminisme" - un titre qui comporte les plus dangereuses équivoques. »

¹⁶ *Ibid.*, 262.

¹⁷ Ce diagnostic de l'interprétation cassirérienne n'est correct que si l'on prend le déterminisme de Born au sens erroné où l'interprète Margenau, c.-à-d. en tant qu'exigence générale de légalité (ce qui correspond en fait à la causalité au sens de Born, le déterminisme signifiant pour ce dernier la prévisibilité). Cf. Max Born, *Natural Philosophy of Cause and Chance* (Oxford : Clarendon Press, 1949), 8 sq.

¹⁸ In Cassirer (1956), *op. cit.* in n. 2, xi.

notre « ère technique ») la signification logique et pragmatique (basée sur leur seul usage) de nos concepts¹⁹. Du reste même en physique classique, la causalité n'a jamais été conçue si étroitement que l'impossibilité de prévision (*Voraussage*) implique son abandon, puisque cette dernière nécessite en plus la connaissance exhaustive des conditions initiales, et l'idéal laplacien a perdu de sa pertinence dans des domaines comme l'hydrodynamique ou la théorie de l'élasticité. En somme, pour Cassirer, la prévisibilité implique la causalité, mais la réciproque n'est pas vraie²⁰. D'autre part, la seule succession temporelle ne suffit pas, pour Cassirer, à fonder la causalité (comme c'est le cas chez Kant), qui nécessite une analyse des forces en présence, lesquelles se ramènent, une fois enlevées « toutes les représentations accessoires chosales-substantielles » (*alle dinglich-substantiellen Nebenvorstellungen*) aux lois sous-jacentes, qui sont « les véritables composants de la relation de causalité supposée ; mais pour les formuler exactement, la physique doit se servir de son propre langage symbolique, qui est très éloigné du langage des “choses” »²¹.

En résumé, chez Cassirer le déterminisme, c.-à-d. donc la causalité, n'est rien d'autre que « l'exigence de légalité » (*Gesetzlichkeit*) ou de « conformité à la loi » (*Gesetzmäßigkeit*, Cassirer ne faisant pas de distinction entre ces deux notions)²² : « Le caractère constitutif, essentiel de la causalité consiste dans l'exigence universelle de légalité, non dans une instruction sur la manière dont cette légalité peut être acquise et développée en détail. »²³ Et, à la fin de son ouvrage, Cassirer écrit que « [...] les difficultés propres de la mécanique quantique ne reviennent pas à ce qu'elle conduise à un “indéterminisme” radical, à ce qu'elle exige de nous un renoncement au concept de causalité [*Kausalbegriffs*]²⁴. Ce concept reste indemne quant à son “essence” [*Wesen*] aussi longtemps que l'on conçoit cette essence dans sa véritable universalité, c.-à-d. qu'on la pense définie par rien d'autre que par l'exigence de la stricte dépendance fonctionnelle. [...]»²⁵ Si nous pouvons concevoir les événements observables en langage mathématique et les décrire par son moyen avec rigueur, alors le postulat de la “compréhensibilité de la nature” qu'implique en soi le principe de causalité, est rempli. »²⁶ Cassirer emprunte cette dernière expression à Helmholtz, dont il reprend la conception du principe de causalité, vers lequel je me tourne plus spécifiquement maintenant.

2. La place du principe de causalité dans la hiérarchie de la connaissance physique

Pour comprendre la place qu'occupe le principe de causalité dans la conception de Cassirer, il faut revenir brièvement à sa hiérarchisation de la connaissance physique²⁷, dont les couches conceptuelles s'organisent davantage de façon concentrique que pyramidale. Cassirer distingue²⁸ trois

¹⁹ Cassirer (1957), *op. cit.* in n. 2, 201.

²⁰ *Ibid.*

²¹ *Ibid.*, 156.

²² *Ibid.*, cf. par exemple 268.

²³ *Ibid.*, 315.

²⁴ Illustration supplémentaire de l'équivalence, pour Cassirer, entre (in)déterminisme et (absence de) causalité.

²⁵ Entre temps, Cassirer fait notamment référence aux relations de Heisenberg, sur lesquelles je reviendrai : « Si l'on détermine [*setzf*] les éléments de détermination individuels, dont dispose la mécanique quantique, conformément à la seule manière dont ils peuvent être déterminés, selon les principes généraux de la théorie et les frontières définies par les relations d'incertitude, alors il y aura toujours entre eux une relation fonctionnelle qui peut être définie exactement. Alors la “loi causale de la mécanique quantique” est valable, c.-à-d. la proposition que, si à n'importe quel moment certaines grandeurs physiques sont mesurées aussi précisément qu'il est possible en principe, alors il y a à n'importe quel autre moment des grandeurs pour lesquelles le résultat d'une mesure peut être prédit avec précision. » (*Ibid.*, 345 sq.).

²⁶ *Loc. cit.*

²⁷ Déjà traitée par Ryckman, *op. cit.* in n. 6, §4. Dans ce qui suit, je m'intéresserai surtout au principe de causalité, et je soutiendrai, contre Ryckman, qu'il possède un caractère à la fois *constitutif* et *régulateur* - Ryckman (*ibid.*, 75 sq.) ne retenant que ce second aspect.

²⁸ Cassirer (1957), *op. cit.* in n. 2, 161-209.

types d' « énoncés physiques », classés par ordre de généralité croissante, qu'il soumet au principe de causalité :

1. les « énoncés de mesure », qui sont « individuels » ;
2. les « énoncés de loi », qui sont « généraux » ;
3. les « énoncés de principe », qui sont « universels » ;
4. le principe de causalité.

Les trois premiers niveaux sont empiriques, et ne sont pas à l'abri d'une révision en conséquence (qui peut avoir lieu à double sens, d'un niveau plus ou moins fondamental vers l'autre). Seul le quatrième est proprement transcendantal (donc *a priori*).

Le niveau des mesures, loin d'être un simple agrégat de données sensibles sans consistance, possède déjà une structure propre et indépendante - comme chez Kant -, mais cette structure (expérimentale et théorique) est - contrairement à Kant - déjà intellectuelle (théoriquement chargée) et non pas intuitive. Elle résulte d'opérations actives de constitution, et non pas d'une donation passive et immédiate.

Le niveau des lois repose sur différents processus intellectuels : induction à partir de cas individuels en nombre limité, idéalisation à partir de résultats expérimentaux, invariance par translation spatio-temporelle des énoncés (ici le niveau des principes fait déjà ingression).

Le rapport du troisième niveau au second présente une analogie avec le rapport du second au premier : de même que les lois unifient les mesures qui en sont les instances particulières, de même les principes unifient les lois qui apparaissent comme des cas particuliers de principes. Cependant il ne s'agit que d'une analogie, non d'une similitude parfaite : cette généralisation supplémentaire ne repose pas sur des faits particuliers, mais sur la seule « forme » des lois, sur la seule « structure » des équations. Les principes « ne se rapportent pas directement aux phénomènes, mais à la forme des lois d'après lesquelles nous ordonnons ces phénomènes »²⁹. Ils donnent accès à une nouvelle « dimension » par rapport aux lois (par un « saut » logique), tout comme les lois par rapport aux mesures. Cassirer les conçoit comme des principes régulateurs (au sens de Kant), en tant que « règles d'après lesquelles chercher et découvrir des lois »³⁰.

Enfin, le principe de causalité, sommet de la hiérarchie, implique également un « saut » par rapport aux énoncés précédents (des principes, lois, et mesures), mais qualitativement différent néanmoins. En particulier il se distingue de tout autre principe, aussi général soit-il - par exemple du principe d'inertie ou de moindre action, dont les tentatives historiques de dérivation à partir du principe de causalité (ou du principe de raison suffisante, exprimé sous le postulat de l'univocité des événements naturels) ne sont pas convaincantes ; inversement, l'abrogation de l'un de ces principes ne remettrait pas en cause le principe de causalité lui-même³¹. Si Cassirer reprend le caractère transcendantal du principe de causalité, il critique le reliquat de conception substantielle qu'on peut trouver chez Kant (notamment dans la déduction des analogies de l'expérience). Sa conception du principe de causalité est en fait plus complexe que celle de ce dernier, et mérite d'être analysée en détail.

2.1 Le caractère constitutif du principe de causalité

En premier lieu, Cassirer semble conserver, du moins dans certains passages de *D&I*, le caractère *constitutif* (de l'expérience) du principe de causalité (qu'il possède chez Kant³²), même s'il ne l'exprime pas toujours très clairement : « Au lieu d'être conçue comme un énoncé direct sur les choses, [la causalité] doit être conçue comme un énoncé sur la connaissance empirique des choses, sur l'expérience. La crainte qu'elle puisse perdre, par cette médieté, quoi que ce soit de sa signification objective, est contrée par l'analyse critique du concept d'objet. Car celle-ci montre que toute objectivité présente la même liaison caractéristique, et même repose sur cette liaison. L'expérience se présente comme moment définitoire de l'objectivité - et ses conditions s'avèrent ainsi *eo ipso* conditions de possibilité des objets de l'expérience ; elles constituent [*konstituieren*] tout d'abord ces

²⁹ *Ibid.*, 189.

³⁰ *Ibid.*, 188.

³¹ *Ibid.*, 191.

³² Chez Kant, les principes « dynamiques » de l'entendement (dont fait partie le principe de causalité, en tant qu' « analogie de l'expérience »), sont en effet toujours « constitutifs en vue de l'expérience », et « régulateurs de l'intuition ». Cf. *Critique de la raison pure* (Berlin : édition de l'Académie), III, 439 ainsi que 160.

objets. »³³ De façon plus explicite, « le caractère constitutif [*konstitutive Merkmal*], essentiel de la causalité consiste dans l'exigence [*Forderung*] universelle de légalité [*Gesetzlichkeit*], non une instruction sur la manière dont cette légalité peut être acquise et développée en détail »³⁴. De même, Cassirer parle du principe de causalité comme d'une « indication pour la formation de concepts d'expérience déterminés »³⁵ (*Anweisung zur Bildung bestimmter Erfahrungsbegriffe*) en référence directe à sa formulation kantienne en tant que principe de l'entendement pur³⁶. Ce sens apparaît surtout au début de *D&I*, dans la présentation que fait Cassirer du principe de causalité chez Kant³⁷, mais il n'est pas pour autant absent dans la suite de l'ouvrage. En particulier, il est consubstantiel à la hiérarchie mesures-lois-principes précédemment évoquée.

En effet, il importe de voir que, si tous ces niveaux ont bien pour Cassirer une origine empirique (y compris les principes), cette différenciation des niveaux au sein de l'empirique est nécessaire en tant que condition de possibilité de l'expérience elle-même :

Si l'on regarde maintenant encore une fois les couches d'énoncés physiques que nous avons distinguées les unes des autres, et si nous essayons de les caractériser d'un point de vue purement formel et méthodologique, on pourrait dire que les énoncés de mesure sont individuels, les énoncés de lois généraux, les principes universels. On pourrait opposer à cela qu'il s'agit bien dans les trois classes, sans doute, d'énoncés *empiriques*, qui ne sont donc capables d'aucune universalité et nécessité strictes. Mais cette objection repose sur une ambiguïté dans le concept d'empirique même. Nous ne pouvons certes revendiquer pour aucun jugement d'expérience, aussi haut soit-il placé dans l'ordre de la connaissance empirique, le caractère de l'« absoluité », de la validité définitive ; nous devons toujours garder ouverte la possibilité que le progrès de la connaissance nous mène à un complément ou une correction de cette dernière. Mais cela ne signifie en aucun cas que nous devions, au sein de la connaissance empirique, mélanger et niveler toute différence logique. Précisément le *processus* de l'expérience, dont dépend toute possibilité de correction, *ne pourrait être mené à bien par une telle confusion* [mes italiques] : car ce processus ne peut s'accomplir autrement que dans un rythme logique déterminé, dans le triple pas des « faits », des « lois » et des « principes ». Ce rythme exprime une organisation *au sein de la connaissance empirique, qui appartient à son concept complet [vollen] et lui est indispensable* [mes italiques].³⁸

Cette hiérarchisation de la connaissance empirique est donc constitutive de l'expérience pour Cassirer. On peut ainsi considérer que cette différenciation intentionnelle des différents niveaux empiriques représente proprement l'*a priori* (au sens large, éventuellement inspiré de contraintes empiriques) constitutif pour Cassirer : dans la hiérarchie de la connaissance, il y a à la fois des éléments empiriques (comme le dit explicitement Cassirer, cf. ses italiques) et des éléments rationnels (qui résident implicitement dans la *décision* d'élever certains énoncés par rapport à d'autres, pour en faire le cadre conceptuel présumé par ces derniers : c'est cette décision qui correspond à l'élément proprement rationnel).

2.2 Son caractère régulateur

Le plus souvent cependant, Cassirer semble bien concevoir le principe de causalité au sens régulateur strict (de la raison pure). Il ajoute ainsi que « ce postulat ne dit rien d'autre que le progrès que nous avons essayé de décrire en détail est possible sans limitation. Que le processus de traduction des données d'observation en énoncés de mesure exacts, de rassemblement des résultats de mesure en équations fonctionnelles et de réunion systématique de ces équations au moyen de principes généraux soit jamais achevé : cela, le principe de causalité [*Kausalsatz*] ne l'affirme pas. »³⁹ Il précise de même que le principe de causalité n'ajoute rien de nouveau, par rapport à la structure de la connaissance physique exposée précédemment, quant au « contenu », mais seulement

³³ Cassirer (1957), *op. cit.* in n. 2, 195.

³⁴ *Ibid.*, 315.

³⁵ *Ibid.*, 273.

³⁶ Cf. Kant, *op. cit.* in n. 32, III, 239.

³⁷ Cassirer (1957), *op. cit.* in n. 2, 150 *sqq.*

³⁸ *Ibid.*, 191.

³⁹ *Ibid.*, 197.

quant à la « méthode »⁴⁰ (terme associé, chez Kant, à la raison pure). Le principe de causalité est ainsi un « énoncé sur la cohérence systématique des connaissances »⁴¹. En fait : « Ce qu'il exige et présuppose comme axiome est seulement ceci : que la clôture [du processus d'unification en mesures, lois et principes] peut et doit être cherchée, que les phénomènes de la nature ne sont pas tels qu'ils échappent ou s'opposent à la possibilité d'un ordonnancement conformément au processus indiqué. [...] Il affirme que tous ces moments [mesures, lois et principes] se laissent rapporter l'un à l'autre et connecter ensemble, que de cette connexion résulte un système de la connaissance physique, non un simple agrégat de connaissances individuelles. »⁴² Ce statut régulateur strict (en tant qu'il n'est jamais réalisé dans l'expérience) du principe de causalité apparaît explicitement plus bas, lorsque Cassirer, après avoir cité la conception déterministe de Planck du concept de cause (selon laquelle « un évènement doit être considéré comme conditionné de façon causale s'il peut être prédit avec sûreté »⁴³), constate que :

Du point de vue épistémologique, nous nous tenons ici devant un singulier dilemme : un critère de causalité est posé qui [...] ne peut présenter aucun cas de sa vérification et de son application concrète⁴⁴.

Nous sommes libérés de ce dilemme si nous formulons le principe de causalité, conformément aux considérations méthodologiques précédentes, en toute rigueur comme un énoncé sur la connaissance, au lieu de le comprendre comme un énoncé sur les choses et les évènements. Nous devons le penser comme un fil directeur qui nous conduit de connaissance en connaissance, et ainsi seulement médiatement d'évènement en évènement ; comme un principe qui nous permet de ramener les énoncés individuels aux [énoncés] généraux et universels et de les représenter par ceux-ci.⁴⁵

En fait, Cassirer mélange quelque peu les aspects régulateur *de l'entendement* d'une part (principe de causalité), et *de la raison* d'autre part (principe d'unité systématique de la nature, sous toutes ses déclinaisons), que Kant distingue soigneusement. Cette confusion est intimement liée au fait que Cassirer supprime la faculté kantienne de la sensibilité, tandis que Kant distingue :

- les principes régulateurs de l'entendement (comme le principe de causalité), qui sont régulateurs de l'intuition, et *constitutifs par rapport à l'expérience*, c.-à-d. « constitutif[s] par rapport aux concepts empiriques » ;
- les principes régulateurs de la raison (comme le principe d'unité systématique), qui, pourrait-on dire, sont *régulateurs par rapport à l'expérience*, « parce qu'aucun schème correspondant de la

⁴⁰ *Loc. cit.* Cassirer écrit également plus loin que l'*a priori* « [...] doit être entendu au sens purement méthodologique ; il n'est pas basé sur le contenu d'un système d'axiomes déterminé, mais il se rapporte au processus selon lequel, dans la progression du travail théorique, un système se développe à partir d'un autre. Ce processus a sa règle - et celle-ci forme la présupposition et le fondement pour ce que nous pouvons appeler la "forme de l'expérience". » (*ibid.*, 212).

⁴¹ *Ibid.*, 315.

⁴² *Ibid.*, 197. À comparer avec, par ex., le texte suivant de Kant (*op. cit. in n. 35*, III, 428) sur l'unité systématique de la connaissance : « Si nous embrassons du regard l'ensemble de notre connaissance d'entendement, nous trouvons que ce dont dispose proprement la raison et qu'elle cherche à réaliser, c'est le *systématique* de la connaissance, c.-à-d. sa cohérence à partir d'un principe. Cette unité de la raison présuppose toujours une idée, à savoir celle de la forme d'un tout de la connaissance, laquelle précède la connaissance déterminée des parties et contient les conditions pour déterminer *a priori* à chaque partie sa place et sa relation aux autres. Cette idée postule ainsi une unité complète de la connaissance de l'entendement, qui ne fasse pas simplement de celle-ci un agrégat accidentel, mais un système cohérent d'après des lois nécessaires. »

⁴³ Cassirer (1957), *op. cit. in n. 2*, 203.

⁴⁴ À comparer avec les principes régulateurs chez Kant qui « ne peuvent avoir aucun objet *in concreto* » (*op. cit. in n. 32*, III, 439).

⁴⁵ Cassirer (1957), *op. cit. in n. 2*, 203. On comparera à la conception kantienne des principes régulateurs de la raison, qui « [...] ne contiennent que de simples idées pour l'accomplissement de l'usage empirique de la raison, [idées] que celui-ci ne peut suivre que de manière en quelque sorte asymptotique, c'est-à-dire par simple approximation, sans jamais les atteindre, mais ont cependant, comme principes synthétiques *a priori*, une validité objective, mais indéterminée, et servent de règle de l'expérience possible, et sont même réellement employés avec succès comme principes heuristiques dans son élaboration, sans qu'on puisse en réaliser une déduction transcendentale » (*op. cit. in n. 32*, III, 439).

sensibilité ne peut leur être donné, et que par conséquent ils ne peuvent avoir aucun objet *in concreto* »⁴⁶.

Or puisqu'il n'y a plus, chez Cassirer, d'intuitions indépendantes des concepts (au sens de Kant), un principe qui pour Kant était régulateur de l'intuition (comme le principe de causalité) se trouve être du même coup régulateur de l'expérience (c.-à-d. des concepts empiriques). Il n'y a plus, en effet, que des concepts pour schématiser la causalité chez Cassirer, comme l'illustre par ex. le texte suivant :

Ainsi Kant insiste-t-il avec raison sur le fait que le concept général, que la "catégorie" de causalité doit être spécifiée en un sens déterminé pour pouvoir être utilisable et applicable. Mais nous ne pouvons plus chercher cette spécification dans la même direction que lui : nous ne pouvons plus nous contenter de la simple relation des concepts aux schèmes purs sensibles, aux "formes de l'intuition de l'espace et du temps". Car ce sont précisément ces schèmes qui ont perdu leur signification universelle à travers la découverte de la géométrie non-euclidienne d'une part, et à travers les résultats de la théorie de la relativité restreinte et générale d'autre part. La logique transcendentale ne peut plus être reliée à et être dépendante de l'esthétique transcendentale à la manière dont cela se fait chez Kant. La spécialisation exigée, qui est indispensable pour l'usage empirique du concept de cause, doit maintenant plutôt être cherchée au sein même des concepts. Le concept de cause peut se lier de nombreuses manières, tantôt à ce moyen conceptuel, tantôt à tel autre, et peut se mêler à lui plus ou moins fermement. Selon le type de mélange il prend une forme différente. Tantôt c'est la liaison avec la catégorie de substance, tantôt la liaison avec la catégorie de la continuité qui détermine son contenu : tantôt il se pénètre de l'intuition de la grandeur continue, tantôt il s'imprègne de la forme pure des nombres discrets.⁴⁷

Pour autant, contrairement à ce qu'affirme Friedman⁴⁸, la disparition de l'intuition (de la faculté de la sensibilité) n'implique pas nécessairement celle de l'*a priori* constitutif en tant que tel chez Cassirer⁴⁹. En fait, on pourrait également, chez ce dernier, parler d'« *a priori* relativisé » à la Friedman, partiellement réalisé dans les théories physiques successives (cf. prochaine section). Ce qui, en définitive, importe, c'est que, dans les deux cas kantien (principe régulateur de l'entendement ou de la raison), il s'agit toujours d'un principe *a priori* (non empirique) : c'est ce qui distingue le

⁴⁶ Kant, *loc. cit.*

⁴⁷ Cassirer (1957), *op. cit.* in n. 2, 319.

⁴⁸ Michael Friedman, *A parting of the ways: Carnap, Cassirer and Heidegger* (Chicago and La Salle : Open Court, 2000), 117.

⁴⁹ Friedman se base sur le premier grand ouvrage épistémologique de Cassirer, *Substanzbegriff und Funktionsbegriff. Untersuchungen über die Grundfragen der Erkenntniskritik* (Berlin : Verlag von Bruno Cassirer, 1910), ci-après abrégé en *S&F* (trad. fr. par Pierre Caussat : *Substance et Fonction. Éléments pour une théorie du concept*, Paris : Les Editions de minuit, 1977). Cassirer y développe notamment l'idée d'une « théorie générale des invariants de l'expérience », qui dégagerait les « éléments formels universels » qui se conservent de théorie en théorie (*op. cit.*, 357). Ceci fait dire à Friedman que Cassirer « [...] ne défend pas une conception relativisée des principes *a priori*. Au contraire, ce qui est absolument *a priori* sont simplement ces principes qui demeurent à travers le processus limite idéal [*ideal limiting process*]. En ce sens, la conception de Cassirer de l'*a priori* est purement régulatrice, sans aucun élément constitutif restant. » (*Dynamics of Reason*, Stanford : CSLI Publications, 2001, 66, ma traduction). Mais dès *S&F*, les catégories *a priori* fondamentales telles que « l'espace et le temps, la grandeur et la dépendance fonctionnelle entre grandeurs, etc. » apparaissent bien comme des principes *constitutifs a priori*, qui sont indispensables à, et réalisés dans, tout jugement empirique (Cassirer, *loc. cit.*).

En fait, dès *S&F* apparaît une tension entre *a priori* constitutif et régulateur. Certains principes constitutifs sont tenus pour « absolument *a priori* », comme dit Friedman : en ce sens, ce dernier a raison de dire qu'ils ne sont pas « relativisés » (ils restent identiques quelle que soit la théorie envisagée). Mais ils ne sont pas pour autant « purement régulateurs », puisque certains d'entre eux (cf. *supra*) sont déjà identifiés. Le problème est plutôt que ces principes fixes, valables quel que soit le domaine empirique considéré, et à n'importe quel stade de l'histoire de la physique, seront donc, de toute évidence, très généraux : c'est cette généralité excessive qui semble difficilement conciliable avec leur ambition constitutive. Et, de fait, Cassirer va progressivement abandonner, de *S&F* à *D&I* en passant par *ZER*, les différents principes *a priori* identifiés, pour ne retenir que l'exigence de légalité en général. Ce problème sera résolu dans *D&I* en admettant une origine semi-empirique des principes constitutifs (cf. *infra*).

principe de causalité des niveaux précédents de la hiérarchie (en tant que principe proprement « transcendantal »).

2.3 Synthèse de l'*a priori* cassirérien

En conclusion, le principe de causalité possède chez Cassirer un caractère *et constitutif et régulateur* - tout comme chez Kant, comme on l'a vu. Cassirer admet ainsi, à travers les différentes théories physiques qu'il considère, une succession de principes constitutifs à l'origine semi-empirique⁵⁰ (c'est le premier sens, constitutif, du principe de causalité⁵¹), qui obéissent à un principe transhistorique supérieur d'unité systématique (second sens, purement régulateur, du principe de causalité).

On ne peut donc pas, comme le prétendent Friedman ou Ryckman, parler d'*a priori* « purement régulateur » chez Cassirer, et on pourrait considérer à bon droit qu'il y a aussi un « *a priori* relativisé » constitutif chez Cassirer, bien que cet *a priori* devienne de plus en plus ténu au fur et à mesure des théories. Cet *a priori* constitutif, qui correspond initialement aux principes invariants qui se conservent de théorie en théorie (tels qu'exposés dans *S&F*), finit ainsi par se réduire à la seule demande de légalité de l'expérience, et devient corrélativement de moins en moins « pur » (de plus en plus empirique). On peut y voir une meilleure prise en compte progressive, par Cassirer (au fur et à mesure de ses ouvrages épistémologiques), de la réalité de l'activité de théorisation physique (qui n'est plus seulement *top-down* comme dans *S&F*, mais aussi *bottom-up*, et finalement constituée d'un et vient permanent entre ces deux niveaux).

L'*a priori* régulateur (de l'expérience, pourrait-on dire, et qui correspondrait aux principes régulateurs de la raison chez Kant, qui ne peuvent jamais être complètement réalisés dans l'expérience), pour sa part, vient de ce que ces réalisations empiriques sont toujours partielles du point de vue de la théorie suivante. Cet *a priori* correspond par exemple au réquisit méthodologique de continuité d'une théorie à l'autre, ou au principe de causalité lorsque Cassirer le prend au sens du principe kantien d'« unité systématique » de la nature (et de ses diverses déclinaisons : simplicité, cohérence, etc.).

3. Autres éléments de la conception cassirérienne de la théorie physique

On a vu plus haut que la causalité ne saurait se réduire, pour Cassirer, à la prévisibilité : la causalité, conçue de façon régulatrice, contient « non pas tant une prédiction d'événements futurs que, bien plus, la promesse de connaissances futures »⁵². Du reste, l'« essence » de la prévision réside justement dans « l'extrapolation dont une loi de la nature est capable », c.-à-d. dans l'extension de son domaine initial de validité à d'autres domaines (un exemple paradigmatique étant les équations de transmission de la chaleur de Fourier)⁵³.

De même, Cassirer cite le « principe de simplicité » comme l'« idéal méthodologique » qui assure la cohérence de cette conception de la connaissance physique, comme l'exigence croissante dans la hiérarchie des mesures, lois et principes, qui fait passer d'un niveau au niveau supérieur. Ce principe, tout comme celui de causalité, ne saurait être conçu comme un principe pragmatique (à la Mach, comme principe d'économie, de réduction d'énoncés généraux à des collections de faits particuliers) mais méthodologique (à la Hilbert, comme demande d'axiomatisation)⁵⁴. Il s'applique à

⁵⁰ Je ne peux, dans le cadre limité de cet article, revenir sur le traitement que fait Cassirer d'autres théories que la théorie quantique. Pour cette dernière, comme on le verra à la prochaine section, les relations de Heisenberg fournissent un exemple de tel principe constitutif semi-empirique.

⁵¹ Tout comme chez Kant, pour lequel le principe de causalité (en tant que principe de l'entendement, constitutif de l'expérience), bien qu'*a priori*, n'est pas « pur » (c.-à-d. purement *a priori*), dans la mesure où il contient un concept empirique (le concept de « ce qui arrive », cf. *op. cit.* in n. 32, III, 28).

⁵² *Ibid.*, 203 sq.

⁵³ *Loc. cit.* On rejoint ici ce qu'on pourrait appeler le « structuralisme » de Cassirer, qui confère à la structure de certaines équations une signification qui excède leur théorie d'origine. Je ne peux ici aborder la question de savoir s'il s'agit d'un structuralisme « idéaliste » (comme on serait *a priori* tenté de le croire) ou « réaliste » (certains passages de *D&I* plaidant en ce sens : cf. par ex. la p. 173, où Cassirer parle de la « signification propre des formules », du « "pressentiment" ["*Spürkraft*"] qui les habite », comme de « l'un des problèmes les plus remarquables et fascinants de l'épistémologie de la science de la nature »).

⁵⁴ *Ibid.*, 205 sqq.

l'ensemble du système de la connaissance physique (qui obéit au principe de « limitation mutuelle », selon lequel les énoncés de mesures, lois et principes sont interdépendants, non à un niveau particulier - ce qui illustre le holisme de Cassirer⁵⁵. Par exemple, l'introduction de la géométrie riemannienne apparaît initialement comme une complication, mais résulte en fin de compte en une simplification (« de la loi fondamentale d'évolution et des définitions de coordination » [Zuordnungsdefinitionen], lesquelles assurent la corrélation des concepts physiques avec les données empiriques).

En définitive, la conception cassirérienne de la théorie physique peut être résumée ainsi :

- la connaissance physique est organisée en couches conceptuelles concentriques, à la généralité croissante (énoncés de mesure, de loi, de principe), avec au centre le principe de causalité ;
- la théorie physique doit bien sûr « sauver les phénomènes »⁵⁶ ;
- *holisme* de la signification et de la confirmation⁵⁷ (le système des énoncés de mesures, lois et principes est interconnecté), voire de la réfutation dans *D&I*⁵⁸ ;
- *transcendentalisme* (les lois de la nature ne se réduisent pas à une accommodation passive des phénomènes - contre l'empirisme -, mais doivent les systématiser et les expliquer activement)⁵⁹ ;
- les explications fournies par la théorie répondent au principe de causalité, pas forcément à la demande (plus forte) de prédiction ;
- des réquisit de simplicité et de cohérence sont intimement liés à cette conception.

À ceci il faut ajouter, globalement, une approche *top-down* de la théorie physique, même si, comme on l'a entr'aperçu, Cassirer affine sa conception du rapport entre théorie et expérience dans *D&I*.

4. Les relations de Heisenberg

L'interprétation que livre Cassirer des relations de Heisenberg est l'exemple parfait des principes constitutifs précédemment évoqués (*a priori* au sens large, c.-à-d. d'origine éventuellement empirique).

Selon Margenau, « à une époque où chaque physicien parlait du principe d'incertitude comme d'une injonction restrictive sur le processus de mesure, comme d'un rejeton de la dynamique newtonienne qui change peu [de choses] excepté le fait qu'il injecte des erreurs incontrôlables, Cassirer vit plus loin et perçut un changement fondamental dans la signification de la réalité »⁶⁰. En effet, si l'on interprète de façon purement mécaniste les relations de Heisenberg, on pourrait croire qu'elles ne signifient rien d'autre que le fait que la mesure simultanée de la vitesse et de la position est impossible, ce qui donne l'image d'une mécanique quantique imprécise, productrice de mesures floues. Ce contresens est basé sur une conception corpusculaire erronée des particules quantiques. En effet, les inégalités de Heisenberg sont des propriétés *intrinsèques* de la description quantique de tout système : elles n'ont rien à voir avec une quelconque incertitude de la mesure elle-même, ou avec la précision des instruments de mesure, comme beaucoup de scientifiques (et de commentateurs philosophiques) le croyaient à l'époque. Elles signifient qu'une particule quantique n'est pas concevable comme étant simultanément localisée en position et en impulsion au-delà d'une certaine

⁵⁵ *Ibid.*, 209. « Ce système est fermé de telle sorte que chaque intervention dans n'importe laquelle de ses parties se communique immédiatement à l'ensemble et devient logiquement perceptible en lui. » (*ibid.*, 208). Cf. également le texte suivant : « [le cercle de la connaissance objective] consiste d'abord en ce que nous ne pouvons séparer clairement l'un de l'autre les observations expérimentales des énoncés de lois et de principes, que nous ne pouvons montrer les premières dans leur "donnéité" purement factuelle [*bloß-faktischen "Gegebenheit"*], indépendamment de toute supposition théorique. » (*ibid.*, 284).

⁵⁶ *Ibid.*, 355.

⁵⁷ Cf. par ex. Cassirer (1977), *op. cit.* in n. 49, 359 sq., ainsi que Cassirer, *La philosophie des formes symboliques. Tome 3: la phénoménologie de la connaissance* (Paris : Les Éditions de Minuit, 1972), 508.

⁵⁸ Cf. par ex. pp. 213, 223, 256, 325.

⁵⁹ Cette position intermédiaire entre empirisme et réalisme est caractéristique de la philosophie transcendente : Cassirer (1957, *op. cit.* in n. 2, 195) l'applique également au principe de causalité, qui n'est ni « un énoncé sur la nature » (*Naturaussage*), ni un « énoncé métaphysique [...] sur le monde des "choses absolues" », mais un « énoncé "transcendental" ».

⁶⁰ In Cassirer (1956), *op. cit.* in n. 2, x.

limite, contrairement à la mécanique classique⁶¹. La question se pose donc de savoir comment Cassirer parvient, sur la base de considérations essentiellement philosophiques, à atteindre une telle interprétation constitutive des relations de Heisenberg.

4.1 L'interprétation observationnaliste de Cassirer

Cassirer commence par reprendre à son compte l'interprétation « observationnaliste » selon laquelle les relations de Heisenberg impliquent une *limitation* de principe de toute connaissance physique, puisque celle-ci doit ultimement s'exprimer en termes de grandeurs classiques (en raison du caractère macroscopique des instruments d'observation et de mesure) : « En elles il ne s'agit pas de cette "hiérarchie des types" que notre analyse précédente essaya de présenter en détail, mais de la première couche, de la couche des énoncés de mesure même, au sein de laquelle une problématique propre, non remarquée précédemment, est soulevée. Les relations d'indétermination [*Unbestimmtheit*] concernent, comme l'a exprimé Planck, les incertitudes [*Unsicherheiten*] qui naissent du transfert d'un évènement du monde des sens à "l'image physique du monde", ainsi que du transfert inverse du second au premier - une incertitude qui, comme elles l'affirment, ne peut jamais être complètement éliminée, quel que soit le degré de raffinement des méthodes de mesure. »⁶² Cassirer reprend ainsi à son compte la conception de Niels Bohr⁶³, qu'il cite avec approbation, selon laquelle c'est seulement « la représentation spatio-temporelle, et l'exigence de causalité » qui doivent dorénavant être conçues comme « des traits complémentaires, mais mutuellement exclusifs, de la description du contenu de l'expérience »⁶⁴. Il s'inscrit de même dans la lignée de Heisenberg, pour lequel les descriptions spatio-temporelle d'une part, et causale d'autre part, sont devenues incompatibles : « D'après Heisenberg, la théorie quantique doit choisir entre deux possibilités : elle peut maintenir la description spatio-temporelle, mais doit alors prendre en compte l'indétermination particulière du concept d' "observation" caractérisée par les relations d'incertitude, ou elle doit se contenter d'un schéma mathématique qui ne peut être interprété comme une simple connexion de choses dans l'espace et le temps, auquel cas la causalité est rétablie dans son droit. »

Pour Cassirer, les relations de Heisenberg ne nient bien sûr pas le déterminisme (c.-à-d. la conformité à la loi), mais au contraire le confirment, puisqu'« elles donnent plutôt une instruction pour savoir comment obtenir ces lois et comment elles doivent être formulées pour être conformes aux conditions de notre connaissance empirique »⁶⁵. Cassirer interprète ainsi la conception observationnaliste de Heisenberg⁶⁶ (qui nie la notion de réalité indépendante et dans laquelle le couple sujet-objet est indissociable) de façon transcendente : « Heisenberg, dans la première introduction des relations d'indétermination, part de la considération que tous les énoncés physiques ont un caractère relatif dans la mesure où ils ne peuvent jamais exprimer l'état de l'objet observé en tant que tel dans son pur « en-soi », mais seulement en relation au moyen d'observation respectif. »⁶⁷ Cassirer interprète ainsi les notions de contexte expérimental, d'observateur et d'appareil de mesure

⁶¹ Cf. par exemple Jean-Louis Basdevant et Jean Dalibard, *Mécanique quantique* (Palaiseau : École polytechnique, 2002).

⁶² Cassirer (1957), *op. cit.* in n. 2, 257.

⁶³ Niels Bohr, *Atomtheorie und Naturbeschreibung* (Berlin : Julius Springer, 1931), 34 *sqq.*

⁶⁴ Cassirer (1957), *op. cit.* in n. 2, 258. Je ne peux ici rentrer dans le détail de la conception de Bohr. J'ai montré ailleurs (On the "negative utility" of Ernst Cassirer's philosophy: an application to the EPR argument, *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, Volume 55, August 2016, Pages 34–42, Elsevier) comment Cassirer relâche notamment son réquisit d' « univocité de la coordination » entre théorie et réalité (autrement dit, de *complétude* de la théorie), à travers son adoption de la « complémentarité » de Bohr (tout comme son rejet de l'idéal kantien de « complète détermination »).

⁶⁵ *Ibid.*, 266.

⁶⁶ Werner Heisenberg, *The physical principles of the quantum theory* (Chicago : University Press, 1930), 62 *sqq.*

⁶⁷ Cassirer (1957), *op. cit.* in n. 2, 266.

comme autant de conditions transcendentales de l'objectivité scientifique. À ce stade, il semble directement reprendre à son compte l'interprétation de Heisenberg, qui conçoit ses relations comme une limitation à la connaissance :

C'est cette dépendance au moyen d'observation qui nous empêche par principe et une fois pour toutes de produire des énoncés qui dépassent un certain degré de précision. La conséquence la plus importante, également la plus significative d'un point de vue épistémologique, qu'Heisenberg tire de cet état de fait, consiste en ce que par lui non seulement une borne [*Schranke*] est assignée à notre technique expérimentale [*Experimentiertechnik*], mais [aussi] une borne à notre formation de concepts physiques [*physikalischen Begriffsbildung*]⁶⁸. À chaque fois que nous formons un concept physique, nous devons nous rappeler cette borne pour que ce dernier ne soit pas vide ou équivoque. [...] ⁶⁹ De ceci il ressort que et pourquoi il est par principe impossible de mesurer en même temps avec une exactitude à volonté l'emplacement et la vitesse d'un électron.⁷⁰

Les relations d'incertitude imposent ainsi « une limite de principe à l'observation et à la mesure »⁷¹. Cassirer les interprète donc ici, à la suite de Heisenberg, comme une incertitude affectant la mesure elle-même, liée à la précision atteignable par les instruments de mesure. Surtout, elles sont conçues négativement, comme un *manque d'information* affectant la détermination du système quantique. Et, s'il semble s'écarter ensuite de l'interprétation de Heisenberg, ce n'est que pour montrer que, contrairement à ce qu'il prétend, Heisenberg n'abolit pas, par ses relations, la causalité (qu'il conçoit en fait comme le déterminisme au sens strict) conçue, au sens de Cassirer, comme l'exigence de légalité - ne serait-ce que par les principes de conservation de mécanique classique qu'il utilise dans la théorie de l'effet Compton pour dériver ses relations⁷². Cassirer se sert ainsi du fait que ces principes de conservation (de l'énergie et de la quantité de mouvement), qui sont des principes « purement et typiquement causaux », sont connectés au « postulat de la théorie quantique » (la relation de Planck entre énergie et fréquence), pour affirmer que les relations de Heisenberg maintiennent un pont entre théorie quantique et classique, donc entre la première et le principe de causalité⁷³.

Cassirer insiste également sur le lien existant entre principe de causalité et principe d'observabilité : le premier n'a de sens que si par cause et effet on entend des faits observables⁷⁴. De ce point de vue, les relations de Heisenberg « complètent » - plutôt qu'elles n'invalident - le concept de causalité, par une demande supplémentaire d'« observabilité » (*„Beobachtbarkeit“*). Cette demande amène à s'interroger sur le concept de « réalité » présupposé par celui de causalité : Cassirer cite l'interprétation de Heisenberg du processus de mesure (comme perturbation incontrôlable entre deux mondes rigoureusement séparés : celui de l'objet observé décrit par les lois quantiques, et celui de l'observateur décrit par les lois classiques), pour endosser son interprétation niant une réalité indépendante de l'observateur ou la possibilité de séparer l'objet du sujet⁷⁵ - interprétation selon

⁶⁸ Heisenberg effectue en effet une dérivation à la fois expérimentale et théorique de ses relations. L'« utilité » (au sens de Kant) de la conception de Cassirer va alors consister, comme on le verra dans la prochaine section, en ce qu'elle privilégie l'interprétation constitutive (positive) par rapport à l'interprétation observationnaliste (négative, comme manque d'information) de ces relations.

⁶⁹ Cassirer cite ici la dérivation expérimentale que fait Heisenberg de ses relations (avec l'observation d'un électron au microscope, dont la position et l'impulsion ne peuvent être à la fois précisément déterminées, en raison de l'effet Compton qui augmente lorsque la longueur d'onde de la lumière utilisée diminue).

⁷⁰ *Ibid.*, 267.

⁷¹ *Ibid.*, 353.

⁷² *Ibid.*, 268.

⁷³ *Loc. cit.*

⁷⁴ *Ibid.*, 272.

⁷⁵ Une interprétation qui n'est pas sans rappeler celle de Bohr.

laquelle il faut abandonner l'idée « d'évènements objectifs dans l'espace et le temps indépendamment de toute observation »⁷⁶.

4.2 Son interprétation constitutive

À ce stade, il semble que, comme le dit Seidengart⁷⁷, « ce que Cassirer ne voit pas assez clairement en 1936, c'est que cette impossibilité [de définir de façon complète, en termes de position et de quantité de mouvement, l'état initial d'un système matériel à un instant donné] ne tient pas seulement à des questions d'ordre expérimental mais qu'elle est constitutive de la théorie des quanta ». Mais c'est plutôt le conceptuel (et non le constitutif) qu'il faudrait opposer à l'expérimental. L'interprétation constitutive considère en effet positivement les conditions d'*accessibilité* de l'objet, qu'elles soient expérimentales ou théoriques (chez Cassirer comme on l'a vu, ces deux catégories sont intimement liées). L'interprétation observationnaliste, en tant qu'elle considère l'observation (conçue classiquement, à partir des sens et des instruments à leur portée) comme point de départ de la connaissance, y voit à l'inverse une limitation négative, un *manque d'information* concernant la définition de l'objet.

En somme, on pourrait dire que Cassirer conçoit les relations de Heisenberg comme un « schème » (au sens de Kant) qui permet l'application ou la réalisation, et en même temps la limitation, de la catégorie de causalité. Il en parle en effet comme d'une « condition » (*Bedingung*) - voire d'une « condition limitative » (*einschränkende Bedingung*) - à laquelle l'« application » (*Anwendung*) du principe de causalité est « soumise » ; condition qui le rend « physiquement utilisable et fructueux », et qui permet « d'éviter que dans la formulation du principe de causalité des éléments s'immiscent qui sont par principe inobservables et qui rendraient son application illusoire »⁷⁸ (autant de termes caractéristiques du lexique kantien lié au schème).

Ainsi, les relations de Heisenberg « [...] montrent, par les principes généraux de la mécanique quantique, qu'il est définitivement exclu de mesurer simultanément, avec une précision à volonté, certaines paires de grandeurs, comme la position et l'impulsion d'un électron, la force d'un champ magnétique et électrique dans un espace restreint, etc. [...] Nous ne pouvons obtenir de force l'accomplissement de ce but [de l'application du concept général de causalité, pour obtenir un concept déterminé empirique de ce qui arrive], par une décision autoritaire dogmatique ; nous devons nous laisser guider par l'expérience elle-même dans l'établissement de concepts empiriques déterminés. Si l'expérience montre que des limites exactement formulables sont posées à notre observation, nous n'avons pas le droit de transgresser arbitrairement ces limites dans notre formation empirique de concepts. Nous devons bien plutôt donner à nos jugements causaux une forme telle qu'ils demeurent compatibles avec elles, qu'ils respectent les nouvelles conditions qui sont maintenant indiquées pour l'application de la pensée et de l'inférence causale. »⁷⁹ Cependant, le niveau de l'expérience ne possède pas, comme on l'a vu chez Cassirer, de structure propre, c.-à-d. indépendante de l'activité de théorisation : ce sont en fait les contraintes de *mesurabilité* qui importent à Cassirer, contraintes qui sont elles-même déjà théoriques.

Pour Cassirer les relations de Heisenberg conduisent ainsi la physique à « la stricte analyse critique de son procédé conceptuel comme de son procédé de mesure » (*ihres Begriffsverfahren wie ihres Messungsverfahrens*)⁸⁰. Ces relations représentent ainsi une étape essentielle du processus d'« inversion » des concepts d'objet et de loi, tel qu'il le décrit depuis S&F :

Le concept de loi précède maintenant le concept d'objet, alors qu'il lui succédait auparavant et lui était subordonné. Dans la conception substantielle, il y avait un être définitivement déterminé, qui possédait certaines propriétés constantes et entraînait, avec d'autres êtres, dans des relations déterminées, qui étaient exprimées par les lois de la nature. Dans la vision fonctionnelle, au contraire, cet être ne constitue plus le point de départ évident, mais le point final et le but de la considération : le *terminus a quo* est devenu le *terminus ad quem*. Nous n'avons

⁷⁶ *Ibid.*, 275.

⁷⁷ Seidengart (1990), *op. cit.* in n. 3, 173.

⁷⁸ Cassirer (1957), *op. cit.* in n. 2, 272.

⁷⁹ *Loc. cit.*

⁸⁰ *Ibid.*, 278.

plus d'être existant en soi, absolument déterminé, dont nous pouvons lire [*ablesen*] les lois immédiatement et auquel nous pouvons « attacher » [*anheften*] ces dernières comme attributs. Ce qui en vérité constitue le contenu de notre savoir empirique, c'est plutôt l'ensemble des observations que nous rassemblons [*zusammenfassen*] en ordres déterminés et que, conformément à cet ordre, nous pouvons représenter par des concepts de lois théoriques. [...] Il y a « objectivité » [*Gegenständlichkeit*] ou « réalité » objective parce que, et dans la mesure où, il y a légalité [*Gesetzlichkeit*] - non l'inverse. De ceci il découle que nous ne pouvons pas parler d'un « être » physique autrement que sous les conditions de la connaissance physique, aussi bien les conditions générales que les conditions particulières qui valent pour son observation et sa mesure.⁸¹

Selon cette conception, il n'existe pas d'entités préexistantes, indépendantes de notre théorisation et de nos contraintes de mesurabilité ; la chose en soi devient un concept « limite » : « L'être a par là abandonné sa fixité ; il est en quelque sorte incorporé [*einbezogen*] dans le processus de la connaissance et ne peut plus être pensé que comme la limite vers laquelle tend ce processus, mais qu'il n'atteint jamais complètement. »⁸² Par là même le concept kantien d' « objet transcendantal » n'est plus, chez Cassirer, négatif (au sens de la chose en soi kantienne), mais positif⁸³ (sens également présent chez Kant, qui est le seul que Cassirer retient)⁸⁴, en tant que prédétermination de l'objet possible pour notre investigation théorique :

L' « être » de la physique, son objet empirique, n'est certes jamais complètement donné [*fertig-gegeben*], car il n'est jamais définitivement déterminé ; mais d'un autre côté il ne nous menace plus comme un absolu mystérieux, dont nous ne pourrions pénétrer les fondements ultimes. Car la propriété de sa déterminabilité [*Bestimmbarkeit*] empirique et théorique est maintenant assimilée [*aufgenommen*] à sa définition ; elle constitue [*konstituiert*] l'être physique, au lieu de n'en exprimer simplement qu'un trait contingent et singulier. Nous ne lisons pas simplement les lois « à partir des objets », mais nous condensons [*verdichten*] les données empiriques, qui nous sont accessibles par l'observation et la mesure, en lois et par là en énoncés objectifs, en dehors desquels il n'y a pour nous aucune réalité objective à rechercher.⁸⁵

Cassirer élève pour ainsi dire les relations de Heisenberg au rang de principes *a priori* constitutifs de l'objet quantique. Il décide de transformer les principes d'indétermination ou d'incertitude (tels que conçus, *négativement*, par Heisenberg) en principes *a priori* constitutifs, conçus *positivement* : non seulement en tant que propriété intrinsèque du formalisme de la théorie quantique (interprétation déjà présente chez Bohr et Heisenberg), mais en tant que *nouvelle définition*, proprement *quantique*, de l'objet, qui n'a plus besoin des concepts classiques (en tant que modes d'expression des observations) pour s'exprimer (comme chez Bohr).

La mécanique quantique est d'autant plus exemplaire de cette conception que l'atome, qui a toujours représenté le « prototype du substantialisme » (en tant que sphère rigide, élément ultime indécomposable), est maintenant basé sur « la présupposition d'un principe » (le postulat de quantification de l'énergie) et non plus une « propriété chosale »⁸⁶. À travers le modèle de Bohr déjà (où, bien que l'électron soit en mouvement dans un état stationnaire, aucune radiation n'est émise), puis surtout avec la mécanique des matrices de Heisenberg et la mécanique ondulatoire de Schrödinger, la représentation est de moins en moins intuitive, de plus en plus symbolique : quelque chose est posé auquel rien d'empirique ne correspond immédiatement. Mais, encore une fois, il ne faut pas croire qu'il y a là une inaccessibilité de l'être profond des choses, au contraire : ce symbolisme est constitutif de l'objet physique. « Il n'y a pas, pour nous, d'autre « réalité » physique que celle qui nous

⁸¹ *Loc. cit.* On voit ici l'affirmation explicite des contraintes de mesurabilité comme constitutives de l'objet physique.

⁸² *Ibid.*, 279.

⁸³ Cassirer écrit ainsi que « Précisément, cette borne apparente s'avère être, d'un autre côté, une détermination importante et fructueuse, totalement positive » (*loc. cit.*).

⁸⁴ Sur le concept d'objet transcendantal, cf. notamment Kant, *op. cit.* in n. 32, III, 204 *sqq.*, IV, 163 *sqq.* L'objet transcendantal est l'objet d'une intuition indéterminée, voire manquante. Au sens négatif, c'est la chose en soi ; au sens positif, il prédétermine la structure catégorique de l'objet possible de notre connaissance.

⁸⁵ Cassirer (1957), *op. cit.* in n. 2, 279, mes italiques.

⁸⁶ *Ibid.*, 280 *sq.*

est médiatisée [*vermittelt*] par les déterminations de mesure physiques et les déterminations de loi fondées sur ces dernières, et de ce fait “objectives”. »⁸⁷

Le texte le plus éloquent est peut-être le suivant, où Cassirer critique explicitement la conception de Heisenberg, selon laquelle les relations d'indétermination représenteraient la « limite inférieure de précision pour la connaissance simultanée de différentes variables », l'état exact du système existant en soi, mais nous restant « caché » par cette « loi particulière » de la nature⁸⁸ :

Mais les relations d'indétermination ne peuvent pas être désignées en tant que lois de la nature au sens habituel du terme [comme le fait Heisenberg] ; car de telles lois se rapportent à des choses et à des processus physiques, tandis que les relations d'incertitude se rapportent à des mesures, c.-à-d. à des formes déterminées de la connaissance de la nature. Elles ne sont pas des énoncés catégoriques sur l'objectivement réel, mais des énoncés modaux sur l'empiriquement possible, sur le physiquement constatable [*das physikalisch-Konstatierbare*]. Par conséquent elles ne présupposent pas un objet déterminé pour ensuite établir qu'il n'est jamais complètement accessible à notre connaissance, mais elles contiennent une nouvelle détermination [*Festsetzung*] sur les concepts d'objet, que nous pouvons former à bon droit, aussi longtemps que nous nous tenons strictement dans les limites de l'observable. Ici aussi nous devons garder rigoureusement sous les yeux, pour ne pas nous fourvoyer dans des antinomies, la différence de type des énoncés physiques. On pourrait prévenir cette objection en disant que l'un des plus importants résultats de la physique atomique moderne est qu'elle nous a enseigné l'impossibilité de faire une coupure nette entre la nature elle-même et la « connaissance de la nature » : les deux sont inextricablement emmêlés. Mais c'est justement quand on fait ce raisonnement que le rejet de sa conséquence sceptique s'avère d'autant plus fort : car alors disparaît cette différence qu'Aristote a désignée comme celle entre πρότερον τῆ φύσει [la nature en soi] et πρότερον πρὸς ἡμᾶς [la nature pour nous]. Ainsi il “n’y a” plus rien “en soi” dans la nature qui ne soit “pour nous”, qui ne soit en un quelconque sens pour la connaissance physique. Le type de détermination prescrit à l’“être” que nous pouvons attribuer aux choses de la nature, ses limites - ce n'est pas l'être déterminé en soi qui pose à la connaissance des limites établies une fois pour toutes et qui lui demeure impénétrable dans son essence absolue.⁸⁹

Cassirer conclut ainsi par le « sens et l'apport entièrement positifs des relations d'incertitude »⁹⁰.

5. Conclusion

D&I aborde d'autres questions, notamment celle de l'individuation en mécanique quantique (à travers notamment la non-localité⁹¹ et l'interprétation statistique), que je ne peux aborder dans le cadre restreint de cet article, et qui feront l'objet d'une autre publication. Mais on pressent déjà, avec les éléments vus ici, que la conception de Cassirer, qui va à l'encontre d'une structure indépendante de l'intuition, puisse faire meilleur droit à la théorie quantique qu'une conception du type *relativized a priori*, à la Friedman⁹² (basée sur une re-conceptualisation de l'*a priori* kantien), qui voudrait conserver une structure indépendante à une faculté de la sensibilité dans sa forme kantienne (spatio-temporelle). En effet, le formalisme mis en œuvre par la mécanique quantique est plus abstrait que celui des théories physiques antérieures, les grandeurs qui y apparaissent (qui sont en fait des opérateurs) n'étant pas directement interprétables physiquement, n'ayant pas de « contenu » intuitif immédiat. La mécanique quantique apparaît ainsi comme un formalisme abstrait coordonné à une interprétation physique indirecte de ses éléments, contrairement aux théories précédentes (notamment mécanique newtonienne et relativité, sur lesquelles se base Friedman) où la forme mathématique des grandeurs et des relations entre elles est plus directement liée à la signification physique

⁸⁷ *Ibid.*, 284.

⁸⁸ *Ibid.*, 351.

⁸⁹ *Ibid.*, 352 sq., mes italiques.

⁹⁰ *Ibid.*, 353.

⁹¹ En ce qui concerne plus particulièrement l'argument EPR, cf. mon article *op. cit.* in note .

⁹² Dont on trouvera la version détaillée la plus récente dans Michael Friedman, *Synthetic history reconsidered*, in Domski et Dickson éditeurs, *Discourse on a New Method. Reinvigorating the Marriage of History and Philosophy of Science* (Chicago and La Salle, Illinois : Open Court, 2010), 571–813.

de ces grandeurs (typiquement, en mécanique classique, la position représentée par les coordonnées spatiales, et la quantité de mouvement représentée par le produit de la masse par la vitesse). Dans ce cadre, la conception « symbolique » de Cassirer, qui se contente de la théorie à disposition pour définir l'objet quantique, sans chercher à projeter sur ce dernier des présuppositions issues du réalisme classique, semble un candidat plus prometteur que celle de Friedman-Kant pour faire droit à la théorie quantique.

Il est remarquable que cette conception, à laquelle Cassirer parvient sur la seule base de considérations philosophiques, soit celle en vigueur chez la majorité des physiciens quantiques aujourd'hui, qui pensent leur objet directement dans le formalisme de la théorie, loin de toute intuition sensible immédiate. Si Cassirer parvient à une conception aussi « moderne » de la mécanique quantique (en particulier pour un pur philosophe), c'est d'abord grâce à son immense travail d'analyse des écrits scientifiques eux-mêmes, qu'il n'hésite pas à lire (et à citer) « dans le texte ». Cependant, cela ne suffit pas à expliquer que la conception de Cassirer puisse apparaître à certains égards (de par sa redéfinition du concept même d'objet quantique et de réalité) plus actuelle que celle d'un Bohr ou d'un Heisenberg. Cela tient sans doute à la position proprement *critique* de Cassirer, qui analyse, en retrait, le développement historique de la mécanique quantique, pour en dégager et en critiquer les présupposés – y compris kantien, conformément au sens authentique de la critique kantienne. Comme le remarque Chevalley⁹³ en effet, toute la physique de la fin du XIXe et du début du XXe siècles – et en particulier en ce qui concerne les fondateurs de la mécanique quantique – baigne dans une *Weltanschauung*⁹⁴ kantienne. Dans ce contexte, la philosophie doit, tout comme la physique, surmonter des « habitudes de pensée [qui] font obstacle »⁹⁵ à la compréhension de la mécanique quantique. Or la position unique de Cassirer, à la croisée des chemins entre les traditions analytique et continentale de la philosophie⁹⁶, lui confère ce qu'on pourrait appeler une « ouverture d'esprit » remarquable, qui, conjuguée à sa bonne compréhension technique de la théorie quantique, lui permet, mieux que la plupart de ses contemporains (philosophes comme physiciens), de saisir, dans toute son ampleur, le nouveau paradigme qu'elle représente.

93 Catherine Chevalley, Physique quantique et philosophie, *Le Débat*, 1992/5 (n°72), 61-71.

94 Ce terme est de moi.

95 Chevalley (1992), *op. cit.* in note , p. 61.

96 Comme l'a bien montré Michael Friedman dans son ouvrage *A parting of the ways : Carnap, Cassirer, Heidegger* (Open Court, 2000). La conception de Cassirer fournit ainsi une piste pour « surmonter la disjonction » entre physique et philosophie ou entre tradition analytique et continentale, comme le demande Chevalley (*ibid.*, p. 70) pour comprendre le contexte de formation de la mécanique quantique. Plus généralement, la *Philosophie des formes symboliques* de Cassirer fournit effectivement une « conception généralisée de la connaissance symbolique » (*ibid.*, p. 71) articulant physique, mathématiques, art et langage autour d'une conception renouvelée de l'objectivité kantienne. Mais c'est une autre question.