

Quelques remarques sur une extension abusive du concept de causalité en cosmologie.

RESUME

"L'énigme majeure est la cause efficace" insiste Jean Largeault (1985). En effet, la physique contemporaine géométrise les phénomènes de la nature en transformant les causes efficaces en causalité formelle. Cependant elle nous invite aussi à accorder le structurel et le physique, le formel et le dynamique. Il convient donc de s'interroger sur le fondement du pouvoir créateur des mathématiques ou de leur caractère générateur en physique. Selon Charles de Koninck, la fécondité des mathématiques paraît comme une intériorisation de la figure philosophique de l'ange dans le cadre du projet d'une métamathématique comme angéologie thomiste. La raison poursuit un moyen de connaître qui serait universel *in repraesentando*, par opposition à l'universel *in praedicando*. Cette tendance est essentielle à ce que l'on appelle le "mode platonicien". L'une des idées centrales de cet article consiste à établir une connexion profonde entre la notion de causalité en physique et cette manière platonicienne de connaître. Plus précisément, l'idéalisation de la causalité efficace en physique mathématique est-il autre chose que ce mode dialectique de connaître abusivement porté à sa limite ?

PRE-REMARQUE

A remark to the historical development. Hume saw clearly that certain concepts, as for example that of causality, cannot be deduced from the material of experience by logical methods. Kant, thoroughly convinced of the indispensability of certain concepts, took them—just as they are selected—to be the necessary premises of every kind of thinking and differentiated them from concepts of empirical origin. I am convinced, however, that this differentiation is erroneous, i.e., that it does not do justice to the problem in a natural way. All concepts, even those which are closest to experience, are from the point of view of logic freely chosen conventions, just as in the case with the concept of causality, with which this problematic concerned itself in the first instance.

Albert Einstein 1949

Selon l'acception commune, une relation causale est définie entre deux événements de telle sorte que la production du second par le premier implique un ordre temporel déterminé. Nous ordonnons habituellement des faits quelconques dans un ordre causal qui est aussi l'ordre chronologique de leur succession. Cet usage commun rappelle l'effort humien de réduction de la relation causale à une simple succession temporelle d'événements empiriques.

Follon (1988) rapporte une synthèse pertinente de l'histoire de la causalité à travers ses différentes conceptions et ses grands débats (pythagoriciens, Platon, Aristote, Bacon, Descartes, Spinoza, Leibniz, Hume...). Des travaux récents sur la causalité (Salmon 1970, 1984) et Suppes (1970), par exemple) poursuivent la perspective empiriste de Hume, mais dans un cadre logique où l'ordre causal est réductible à l'ordre temporel ; d'autres, au contraire, suite à la relativité de l'ordre temporel depuis la découverte de la loi régissant la propagation de la lumière, cherchent comme Robb (1914), Carnap (1925) et Reichenbach (1922), ou plus récemment Papineau (1985, 1986, 1989, 1991, 1993) à construire par voie axiomatique l'ordre temporel par l'ordre causal ; enfin, certains travaux argumentent en faveur de l'irréductibilité de la relation causale à l'asymétrie temporelle (Cartwright 1979, 1983, 1989; Miller 1987; Kistler 1999; Woodward 1992).

Aussi, Michael Heller (2003), dans son essai sur la science et la religion : *Creative Tension*, argumente en faveur d'une généralisation de la causalité physique à une causalité atemporelle et globale. Le modèle mathématique de la causalité non commutative falsifie l'idée commune chez les philosophes que le temps est une condition nécessaire au mouvement. Il ajoute que la généralisation de la causalité physique permettrait ainsi de penser la notion théologique de création de l'univers comme acte atemporel et non spatial.

Nous nous proposons dans cet article de commenter sous la forme de trois remarques l'argument de Michael Heller au fil de la critique de Charles de Koninck contre Maritain dans sa thèse sur la philosophie de Sir Arthur Eddington de 1934.

Those who make causality one of the original *uralt* elements in the universe or one of the fundamental categories of thought $\frac{3}{4}$ of whom you will find that I am not one $\frac{3}{4}$ have one very awkward fact to explain away. It is that men's conceptions of a cause are in different stages of scientific culture entirely different and inconsistent. The great principle of causation which, we are told, it is absolutely impossible not to believe, has been one proposition at one period in history and an entirely disparate one at another is still a third one for the modern physicist. The only thing about it which has stood... is the name of it.

Charles Sanders Peirce, *Reasoning and the Logic of Things*

The attempt to "analyse" causation seems to have reached an impasse; the proposals on hand seem so widely divergent that one wonders whether they are all analyses of one and the same concept. But each of them seems to address some important aspect of the variegated notion that we express by the term 'cause', and it may be doubted whether there is a unitary concept of causation that can be captured in an enlightening philosophical analysis. Kim, 1995 "Causation." *In: Robert Audi (ed.). The Cambridge Dictionary of Philosophy.* 110-12. Cambridge: Cambridge University Press.

"Il titolo di questo libro richiama una nozione, 'causa,' che suggerisce al lettore contemporaneo contenuti concettuali per qualche aspetto sostanzialmente diversi da quelli che evocava nel lettore medievale. Difatti per i contemporanei il termine 'causa' indica per lo più la sola idea di consequenzialità necessaria... Per il lettore medievale, invece, accanto all'idea di una connessione di fatto, il concetto di 'causa' trasmette quella di un ordinamento metafisico. ... La causa, in questo modo, è superiore all'effetto; e poiché è principio della sua sussistenza in essere, è principio anche della sua intelligibilità."

Cristina D'Ancona Costa, "Introduzione," in Tommaso D'Aquino, *Commento al Libro delle Cause*, Milano: Rusconi, 1986, 7.

1. REMARQUE SUR LA GENERALISATION DE LA CAUSALITE EN PHYSIQUE

L'évolution de l'idée de causalité en physique est l'histoire de son dépouillement conceptuel le plus extrême comme une tendance à remplacer le concept de causalité par le concept de fonction mathématique. La notion de causalité se réduit ainsi à des complexes de relations mathématiques au fur et à mesure de la formalisation progressive de la physique. Ainsi, pour Maurice Gagnon (1975)¹ :

Nous nous trouvons ici devant un exemple de ce que Bachelard appelle la coupure épistémologique entre la connaissance du sens commun et la connaissance scientifique. Suite à une analyse plus circonstanciée et plus raffinée des phénomènes, le scientifique en arrive à des synthèses totalement différentes de celles du sens commun, qui sont basées sur une analyse trop limitée. Si le scientifique, dans la formulation de sa synthèse, utilise le même vocabulaire que le sens commun, alors les mêmes mots y ont une signification différente parce qu'utilisés dans des contextes différents ; et ces diverses significations n'ont que très peu, voire même pas du tout, de rapports entre eux. Bachelard s'est d'ailleurs moqué du « choquisme » de ceux qui prétendaient transposer au niveau des particules subatomiques les lois causales de la mécanique classique. Bachelard a fait le « profil épistémologique » de deux idées fondamentales en physique : masse et énergie. Dans les deux cas, il y a fractionnement en cinq notions différentes, correspondant à cinq étapes du progrès de la pensée : la notion du sens commun y est suivie de celle de l'empirisme positiviste, puis viennent ensuite successivement celles de la physique newtonienne, de la physique relativiste et de la physique de Dirac. On obtient ainsi une série de notions de plus en plus abstraites, chacune assignant des limites aux précédentes, chacune ayant son champ d'application particulier. Il serait intéressant de tenter aussi le profil épistémologique de la notion de causalité. On y

¹ Maurice Gagnon, « Une analyse sémantique du concept de causalité est-elle possible? », *Philosophiques*, vol. 2, n° 2, 1975, p. 187-205.

retrouverait certainement, dans un ordre d'abstraction croissante, la causalité-production du sens commun, et la relation de conjonction asymétrique décrite plus haut.

Le profil épistémologique de la notion de causalité en physique mathématisée est caractérisé par trois périodes de tribulations (ou de métamorphoses) associées à la signification *différentielle* de la grandeur temps et à l'idée de déterminisme : la causalité différentielle, la causalité spatio-temporelle et une rupture avec l'idéal déterministe en physique quantique.

Première période. La causalité physique classique (ou pré-relativiste) est différentielle et temporelle². La causalité est exprimée par une équation différentielle en fonction du temps qui rattache, à un événement produit au temps t donné, l'événement produit à un temps t' quelconque, dont l'archétype est la loi de Newton de la gravitation. Au contraire, le déterminisme ajoute à la causalité différentielle la considération des conditions initiales, c'est-à-dire, le point de vue de l'enchaînement causal selon le temps étendu à l'ensemble de tous les corps de l'Univers. La réunion³ de ces deux aspects (causalité différentielle et déterminisme) définit le *déterminisme laplacien*, préfiguré par d'Alembert dans un article de l'*Encyclopédie* :

Nous devons envisager l'état de l'Univers comme l'effet de son état antérieur et la cause de ce qui va suivre. Une intelligence qui pour un instant donné connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule le mouvement des plus grands corps de l'Univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle, l'avenir comme le passé serait présent à ses yeux. (Laplace 1814).

Précisons encore. Le déterminisme mécaniste, ou laplacien, n'est plus, à la suite de Poincaré et de la théorie du chaos déterministe, l'essence de la causalité physique : l'asymétrie de la causalité est en physique classique une contrainte d'antériorité⁴ *non nécessairement prédictible*. Autrement dit, ces systèmes physiques, dits « déterministes », sont des systèmes dynamiques non-linéaires, où le déterminisme mécaniste est dépassé par la structuration causale issue du système non-intégrable de leurs équations différentielles. Ainsi, selon Paty (2003) :

L'étude de tels systèmes peut, en vérité, apporter des connaissances bien plus riches si l'on ne se laisse pas enfermer dans les limitations d'une pensée du déterminisme, et si l'on pense plus largement les *prédictions* d'une autre nature permises par les relations causales. Par exemple, comme Poincaré en eut l'idée le premier, en s'intéressant au comportement général (« qualitatif ») des solutions, ou au comportement de familles de trajectoires au lieu d'une seule, ou encore, comme les connaissances plus récentes l'ont fait voir, aux «

² Au soubassement philosophique de cette notion se tiennent les idées de relation d'ordre et de succession temporelle. (Debru, 2003).

³ « L'idée du *déterminisme laplacien* se fonde donc sur celle de *causalité physique*, qu'elle se propose d'étendre et de systématiser en une connaissance globale et absolue à laquelle rien n'échapperait de ce qui existe dans l'univers matériel. » (Paty, 2003).

⁴ "The asymmetry is clearly an integral part of our intuitive idea that causes 'bring about' or 'produce' their effects, and also of Weyl's notion of the reason for something, but it is also an integral part of less metaphysically 'weighty' notions of cause. As the identification of the causal future with the future lightcone in relativity theory attests, the causal asymmetry is intimately related to a temporal asymmetry, even though what precisely the relation is, is somewhat of a delicate issue. On some accounts of causation, such as Humean regularity accounts, it is a conceptual truth that effects do not precede their causes, but even those accounts that allow for the conceptual possibility of backward causation would presumably maintain that causation in our world (or at least in the spatiotemporal region of the universe accessible to us) is forward directed, and hence, causal constraints are often taken to imply time-asymmetric constraints." Frisch (2008).

attracteurs étranges » qui signent les propriétés structurelles de tels systèmes physiques dans le cas des systèmes dissipatifs.

Deuxième période. La causalité physique différentielle devient à la suite, notamment de la connaissance des actions physiques retardées et non plus instantanées, *causalité relativiste ou spatio-temporelle*⁵, comportant des contraintes sur les possibilités des rapports spatio-temporels pour des événements physiques. La causalité physique, selon Paty (2003)

se voyait par là transformée, de causalité temporelle (non relativiste) en causalité spatio-temporelle (relativiste), soumise à la structure de l'espace-temps par une condition sur la distance spatio-temporelle de deux points-événements susceptibles d'être liés causalement : leur quadri-distance doit être négative ($\Delta x^2 - c^2 \Delta t^2 \leq 0$). En effet, leur rapport peut être causal s'ils sont séparés par une distance $x^2 \leq c^2 t^2$, et il est nécessairement non causal pour $x^2 > c^2 t^2$. Autrement dit, les actions causales d'un point (quadri-dimensionnel) d'espace-temps à un autre sont telles que le quadri-vecteur joignant ces points soit intérieur au « cône de lumière », défini par l'équation $x^2 = c^2 t^2$. La région externe du cône de lumière, qui exclut des actions causales, est non physique. Cette propriété relationnelle du temps, qui inclut sa direction, était intégrée dans le concept de temps physique, et non plus laissée à l'observation ou à un choix de convention.

Notons, pourtant, que l'asymétrie temporelle ne semble pas être constitutive de la relation causale⁶. En effet, le concept d'une causalité symétrique n'est pas contradictoire (cf. aussi Grünbaum, 1973) si la relation causale est considérée comme *transfert* d'une quantité d'une grandeur conservée (par exemple une certaine quantité d'énergie). Mais, comme le souligne l'auteur, il s'agit ici d'une possibilité seulement conceptuelle, c'est-à-dire compatible avec le concept de causalité physique ; la causalité dans le monde réel serait, de fait, caractérisée par son asymétrie temporelle. En outre, comme Erik Curiel (2000)⁷ l'a montré, les implications de plus en plus contraignantes avec la relativité générale sur les possibilités des rapports spatio-temporels pour des événements physiques, remet en question toute idée de transfert :

General relativity does not by itself suggest entities or quantities that one will want to characterize 'propagating', no matter how one defines it. The very different structure of spacetime in the theory from that of spacetime in classical physics and in special relativity does not naturally suggest any sort of transfer account of causality, nor does it easily admit one. The only reason I can imagine for trying to force one to fit into the framework of general relativity is because one approached the theory in the first place already with a set of classical notions and questions to address, and did not rather ask general relativity what the important notions and questions ought to be in its new framework. If one renounces transfer accounts of causality, as I see it there remain only two general sorts of accounts of causality that could be grounded in physical theory. One may postulate an account in which one or more discrete, localized entities that are spatiotemporally separated from each other 'cause' a distinct entity, the 'effect', itself spatiotemporally separated from all the 'causes'. Just as with any attempt to hold on to propagation, however, such an account would in no way arise from the structure of general relativity itself, but would rather have to be forcibly superimposed on its structure, under the guidance I suppose of purely

⁵ "The fact remains that the principle of causality, even freed of the notion of cause, has enabled the development of modern physics' theories, and deeply structures those currently being elaborated, such as superstring theory. It sets an absolute and compulsory order between several types of phenomena, even if none can be presented as the cause of another, and thus imposes a direction to time. In short, the principle is reduced to a classification method for events that fall under its influence, a rule that organizes them according to a systematically constraining order. In practice, the different formalisms of physics adapt the principle of causality to themselves by giving it a form that depends on how events and phenomena are represented. Its consequences are always constraining." (Klein 2010)

⁶ Voir Kistler 1999. Par opposition à Hume ; ce qui signifie que l'asymétrie est sans explication.

⁷ *The Constraints General Relativity Places on Physicalist Accounts of Causality*, in *Theoria* 2000, 15(1):115—160. Voir aussi notre travail Bois (2006).

metaphysical urges. Otherwise, there is the initial value formulation of mathematical physics, my preference for the best one can do in representing causality in general relativity.

Toutefois, la notion de causalité relativiste est plus souple que celle de temps. En effet les relations causales ne dépendent que de la structure conforme de la métrique de l'espace-temps.

Troisième période. L'élaboration de la physique quantique et la question de ses interprétations diverses, a remis radicalement en question le déterminisme causal. En effet, l'équation d'onde de la théorie est bien différentielle et causale, mais elle porte sur des opérateurs, et non plus sur de simples fonctions à valeurs numériques. Le principe de causalité locale (John Bell, 1987) généralise la causalité einsteinienne au cas des théories probabilistes. Mais la détermination physique du système au moment de son observation n'est pas causale (problème de la mesure ou de la réduction du paquet d'onde) bien qu'asymétrique.

De plus, l'expérience EPR (Einstein-Podolsky-Rosen) montre qu'en mécanique quantique certaines séquences d'événements ne s'expliquent pas comme des causes et des effets au sens commun du terme sans contredire l'asymétrie temporelle. Dans le cas de systèmes corrélés, les corrélations sont indépendantes de la distance spatiale ou spatiotemporelle entre les systèmes. Cependant ces corrélations ne sont pas des interactions. L'intrication quantique n'est pas une relation causale. L'argument EPR met en évidence la non-séparabilité locale des sous-systèmes quantiques corrélés à distance.

Finalement, et selon Maurice Gagnon (1975)⁸,

si l'on continue à parler de causalité en physique, c'est en un sens presque entièrement nouveau, car il semble n'avoir qu'un seul point commun avec le sens préscientifique : l'asymétrie.

Mais réduire la causalité à sa plus simple expression n'est-ce pas renoncer à définir la causalité comme telle : elle est une notion primitive et irréductible⁹, et prendre alors le risque de la rendre superflue comme le pensait Russel (1912)¹⁰ ? Toutefois, au lieu de chercher ce que serait le seul point commun de la causalité physique avec le sens préscientifique ou intuitif, au risque de l'éliminer en physique, il serait aussi possible de tenter d'élargir et de raffiner encore notre concept de causalité comme le propose Einstein (1932)¹¹ ou Heller (2003).

⁸ « Une analyse sémantique du concept de causalité est-elle possible? », *Philosophiques*, vol. 2, n° 2, 1975, p. 187-205.

⁹ Voir G.E.M. Anscombe, "Causality and Determination", dans E. Sosa et M. Tooley (éd.), *Causation*, Oxford University Press, 1993 et Michael Tooley, *Causation : A Realist Approach*, Clarendon Press, 1987.

¹⁰ Bertrand Russell, "On the Notion of Cause" (1912). Pour Russel, le concept de causalité, s'il a sa place dans le schème conceptuel superficiel du sens commun, doit être banni d'une conception du monde qui se veut respectueuse des connaissances scientifiques.

¹¹ Einstein, « Epilogue : a socratic dialogue », *op. cit.* (Einstein & Murphy [1932] Planck conclut ce dialogue en disant : "Where the discrepancy comes in to-day is not between nature and the principle of causality, but rather between the picture which we have made of nature and the realities in nature itself. Our picture is not in perfect accord with our observational results; and, as I have pointed out over and over again, it is the advancing business of science to bring about a finer accord here. I am convinced that the bringing about of that accord must take place, not in the rejection of causality, but in a greater enlargement of the formula and a refinement of it, so as to meet modern discoveries."

Lors d'un entretien avec Robert Murphy, Einstein indique que le concept de causalité en physique est encore trop rudimentaire en regard de la complexité des événements qui se produisent dans la nature :

When Aristotle and the scholastics defined what they meant by a cause, the idea of objective experiment in the scientific sense had not yet arisen. Therefore they were content with defining the metaphysical concept of cause. And the same is true of Kant. Newton himself seems to have realized that this pre-scientific formulation of the causal principle would prove insufficient for modern physics. And Newton was content to describe the regular order in which events happen in nature and to construct his synthesis on the basis of mathematical laws. Now I believe that events in nature are controlled by a much stricter and more closely binding law than we suspect today, when we speak of one event being the cause of another. Our concept here is confined to one happening within one time-section. It is dissected from the whole process. Our present rough way of applying the causal principle is quite superficial. We are like a child who judges a poem by the rhyme and knows nothing of the rhythmic pattern. Or we are like a juvenile learner at the piano, just relating one note to that which immediately precedes or follows. To an extent this may be very well when one is dealing with very simple and primitive compositions; but it will not do for the interpretation of a Bach Fugue. Quantum physics has presented us with very complex processes and to meet them we must further enlarge and refine our concept of causality. (Einstein, 1932)

Mais dans quelle direction ? Celle d'un déterminisme plus fort : les constantes de la nature ne sont pas arbitraires, comme le soutient Einstein¹² ; l'indéterminisme est illogique¹³ ? Mais l'indéterminisme physique est un fait établi et les probabilités de la physique quantique sont irréductibles. Le déterminisme¹⁴ exige plus qu'il n'est nécessaire pour expliquer les phénomènes connus et connaissables :

¹² « Imaginons que cela ait été réalisé; alors n'apparaissent plus, dans les équations fondamentales de la physique que des constantes 'sans dimensions'. Au sujet de ces dernières, j'aimerais énoncer un principe qui, provisoirement, ne peut être fondé sur rien d'autre que sur ma confiance en la simplicité, ou plutôt l'intelligibilité, de la nature: il n'existe pas de constantes arbitraires de ce type. Autrement dit: la nature est ainsi faite qu'il est logiquement possible d'établir des lois si fortement définies que seules des constantes susceptibles d'une détermination rationnelle complète apparaissent dans ces lois (il n'y a donc pas de constantes dont les valeurs numériques puissent être modifiées sans que la théorie soit détruite). » (Einstein, 1980).

¹³ Dans Einstein (1932): "Indeterminism is quite an illogical concept. What do they mean by indeterminism? Now if I say that the average life-span of a radio- active atom is such and such, that is a statement which expresses a certain order, *Gesetzlichkeit*. But this idea does not of itself involve the idea of causation. We call it the law of averages; but not every such law need have a causal significance. At the same time if I say that the average life-span of such an atom is indetermined in the sense of being not caused, then I am talking nonsense. I can say that I shall meet you to-morrow at some indetermined time. But this does not mean that time is not determined. Whether I come or not the time will come. Here there is question of confounding the subjective with the objective world. The indeterminism which belongs to quantum physics is a subjective indeterminism. It must be related to something, else indeterminism has no meaning, and here it is related to our own inability to follow the course of individual atoms and forecast their activities. To say that the arrival of a train in Berlin is in determined is to talk nonsense unless you say in regard to what it is indetermined. If it arrives at all it is determined by something. And the same is true of the course of atoms."

¹⁴ Ajoutons qu'un rapprochement est pensable entre un déterminisme et l'imprévisibilité possible. En effet l'imprévisibilité peut ne pas être une indétermination en tant qu'elle est due au caractère absolu du déterminisme. « Le battement d'ailes imperceptible, qui nous échappe, engendre des effets qui seront perçus quelque temps plus tard, très loin de là, en raison de la solidarité des causalités. Cependant, puisque ce sont les conditions initiales qui ne nous sont, en fin de compte, pas exactement connues, nous n'étions pas dans une situation de déterminisme au sens propre. Ce que la très grande généralité de situations d'amplification arbitraire de très petites variations des conditions initiales indique, en réalité, c'est le caractère généralement inopérant de l'idéal déterministe. De tels systèmes restent cependant gouvernés par l'enchaînement des causalités, qui est pris souvent, mais à tort, pour le déterminisme. » (Paty 2003) Voir aussi les arguments de Karl Popper dans son ouvrage *L'Univers irrésolu. Plaidoyer pour l'indéterminisme* (Popper 1982, rédigé en 1956).

The burden is on the determinists at least to indicate the direction in which the old formulation of causality will have to be revised in order to meet the needs of modern science. (Einstein 1932)

Ou comme Heller (2003), chercher une meilleure physique en quantifiant la gravitation par la géométrie non commutative ? Heller, en effet, soutient qu'il est possible de généraliser le concept de causalité en physique dans le cadre de la physique non commutative :

When we change to a non-commutative setting, the causal structure drastically alters. First, space-time, as a set of well-localized points and their neighborhoods, disappears, and we are left with a "global" entity that can be in various states. In Connes' approach, so far one has been unable to define a Lorentz metric, only a Riemann metric. The latter opens up light-cones in such a way that there is no limiting velocity imposed on physical signal propagation; everything in space-time can be causally connected with everything. However, by using the Riemann metric, one can define the distance between various states. It seems, therefore, that there are states that can be causally connected. In our approach, one can define a Lorentz metric that, however, is totally nonlocal, in the sense that it does not define local light-cones but specifies which vector fields (regarded as global objects) can influence each other. Let us remember that derivations of a given algebra are non-commutative counterparts of vector fields, and, in our model, they are responsible for the dynamics of the system. Therefore, we are entitled to say that, in this model, causality is incorporated into its non-commutative dynamics.

The general conclusion of this subsection is that it is possible to generalize the concept of causality so as to free it from the involvement in time and locality. What remains still deserves the name of (generalized) causality because it gives rise to the dynamics of the system. It seems that the essence of causality is a dynamical nexus rather than the distinctness of the cause and its effect, and their temporal order.

"This terminological decision is justified by the fact that noncommutative causal structure (in the mathematical sense) is a legitimate generalization of the usual causal structure of space-time studied in general relativity.

In the light of the above analysis, we should take into account the possibility that the concept of causality does not necessarily presuppose a local interaction between the cause and its effect (*global aspect of causality*), and that it does not necessarily include a temporal order (*atemporal aspect of causality*)."

Ainsi, la géométrie non commutative permet de généraliser la structure causale de l'espace-temps de la relativité générale et donc de penser une notion de causalité *globale* et *sans asymétrie temporelle* comme connexion/interdépendance dynamique¹⁵. Mais, comment le physicien peut-il conclure à une relation causale dynamique sans finalement risquer de réduire encore la causalité à sa plus simple expression¹⁶ et donc de l'éliminer de la physique. Car, peut-il différencier la cause dynamique de la nécessité fonctionnelle¹⁷ ? En effet, argumente Hulswit (2002) :

¹⁵ "In our time, quantum mechanics has virtually put an end to mechanistic and deterministic interpretations of the causal nexus, but some other forms of causality are in circulation. So-called "bottom-up" causation exhibits a strong reductionist flavor, at least if the reductionism is understood in Steven Weinberg's sense of "petty reductionism," when a whole system, its structure and functioning, is regarded as arising from the sum of its constituent units, their properties, and their behavior. This type of causation is often correlated with (not necessarily opposed to) "top-down" causation. The latter was first recognized in nonlinear dissipative systems in which the changes at the microlevel, that of the constituent units, are what they are because of their incorporation into the system as a whole, which is exerting specific constraints on its units, making them behave otherwise than they would in isolation. It was soon extended beyond its original domain to denote something "more open and more non-local than that." It might seem that the causality encountered in noncommutative models (as it was discussed in subsection 7.1) is a kind of "top-down" causality. However, if we take into account the fact that, according to these models, this type of causality operates at the most fundamental level, it could almost equally well be called "bottom-up" causality. I think that its distinctive feature is not its "vertical" operation mode, but rather its atemporal and nonlocal behavior." (Heller 2003)

¹⁶ Selon Curiel (2000) : "Whatever sort of account one will give looks to come perilously close merely to saying that one thing *follows* upon another".

¹⁷ Dans *How Causal is Downward Causation?* Hulswit (2005) montre l'ambiguïté du mot causalité.

Probably the most radical change in the meaning of cause happened during the seventeenth century, in which there emerged a strong tendency to understand causal relations as instances of deterministic laws. Causes were no longer seen as the active initiators of a change, but as inactive nodes in a law-like implication chain. The dismissal of explanations by final and formal causation by Descartes, Francis Bacon and Galileo brought about the rejection of the Aristotelian-scholastic doctrine of active qualities and substantial forms as causal factors in natural processes. The Aristotelian idea that a substantial form be transmitted from a cause to its effect had no basis whatever in our experience of things. However, paradoxical as it may seem, it was precisely this concept of formal cause that came to play an important role in the development of the new conception of efficient cause, according to which efficient causes were simply instances of general laws, which in turn were general, mathematical principles. But, to a large extent, the concept of law of nature was the inheritor of the concept of formal cause: both concepts were meant to explain the stability of the world. The main difference is that, whereas the formal cause was thought to explain the stability of the world by explaining the structure of things, the laws of nature were thought to explain the stability of the world by explaining the *relations* between things. An important characteristic of the modern conception of cause was that causation and determinism became virtually equivalent.¹⁸

Le sens pré-humien de la causalité motrice issu d'Aristote n'est pas l'efficience des modernes¹⁹. L'efficience des modernes repose sur une conception sérielle de la causalité²⁰. Or, la relation causale est chez Aristote *non-symétrique* (non asymétrique) au sens où « être la cause de » n'est pas identique à « être l'effet de ». Et, elle peut être en même temps *réflexive*, dans le cas des essences. Quant à la transitivité, la relation causale est transitive dans le cas restreint de la causalité nécessaire scientifique et intransitive lorsqu'il s'agit d'une cause accidentelle (A est cause de B par accident et B est cause de C, A n'est pas réellement cause de C), elle n'est donc pas *transitive*. Ainsi, la causalité aristotélicienne ne peut pas définir une série ordonnée strictement, car elle devrait pour cela être une relation d'ordre irréflexive, asymétrique et transitive (à l'image de la série des entiers naturels qui est ordonnée par la relation « successeur de »).

Les néoplatoniciens ont, pour la première fois, conçu une cause productrice de l'être et donc plus fondamentale que celle des causes naturelles des anciens (la théorie des quatre causes d'Aristote et sa conception de l'agent naturel). Plotin présente le lien qui unit l'Un aux réalités qui en découle comme relevant de la causalité, bien qu'il ne s'agisse pas d'un engendrement dans le temps²¹, et il lui associe l'image de l'émanation, qui sera ensuite attachée à la cause efficiente des médiévaux. La cause efficiente est un concept métaphysique. Ainsi, avec le *Livre des causes* de Proclus, la cause efficiente ne prend pas encore la forme d'une série causale homogène, mais se structure comme une hiérarchie décroissante et essentiellement ordonnées de puissances productrices qui se condensent, de proche en proche, dans une *physis* définie par une forme.

Avec Ockham seuls existent les individus et seuls ceux-ci peuvent produire quelque chose. Il peut être regardé comme le véritable inventeur des séries modernes de

¹⁸ Menno Hulswit 2002, *From Cause to Causation. A Peircean Perspective*. Dordrecht, Kluwer Publishers, 2002.

¹⁹ Voir le travail de Olive 2009, *L'efficience de la cause, le concept d'efficience naturelle dans la physique antique et classique*, 2009.

²⁰ La conception sérielle de la causalité des modernes repose sur la primauté de l'art sur la science et résulte de l'oubli de l'analogie.

²¹ « Quand nous parlons des réalités éternelles, il nous est interdit de parler de venue à l'existence dans le temps ; mais quand dans le discours nous attribuons une venue à l'existence de ces réalités, nous leur assignons une place dans une relation de causalité. » 10 (V, 1), 3, 19 sq., trad. F. Fronterotta, G-F Flammarion, 2003.

causes et d'effets. Les penseurs du début du XVII^{ème} siècle tentent de reconstruire tout l'ordre du savoir physique sur le modèle de la causalité efficiente comprise comme une relation entre deux existants, extérieure aux termes qu'elle relie. De cette façon, de la causalité des anciens, il ne reste que des séries homogènes de causes et d'effets. Le tournant décisif n'est donc pas entre une conception pré-humienne issue d'Aristote de la causalité et la conception néo-humienne de la causalité comme fonction ou comme le retrait/rejet de la causalité (cf. Mach). Mais, l'homogénéité²² des séries causales permet de composer mathématiquement tous les mouvements,

en une somme des mouvements élémentaires qui en sont la cause efficiente et, de cette façon, de faire entrer toutes les formes prises par la matière, tous les êtres naturels, dans une chaîne de déductions évidentes.

Descartes écrit :

Sachez donc que par la nature, je n'entends point ici quelque déesse, ou quelque sorte de puissance imaginaire, mais que je me sers de ce mot pour signifier la matière même, en tant que je la considère avec toutes les qualités que je lui ai attribuées, comprises toutes ensemble, et sous la condition que Dieu continue de la conserver de la même façon qu'il l'a créée. Car de cela seul qu'il continue ainsi de la conserver, il suit de nécessité qu'il doit y avoir plusieurs changements en ses parties, lesquelles ne pouvant, ce me semble, être proprement attribués à l'action de Dieu, parce qu'elle ne change point, je les attribue à la nature ; et les règles suivant lesquelles se font ces changements, je les nomme lois de la nature. » *Le Monde*, VII, AT IX, p. 36-37.

Revenons à Heller. Les processus de généralisation conceptuelle sont variés. Principalement deux types sont à distinguer (cf. Lambert 1996). La généralisation libre par extension d'un concept (les tenseurs généralisent les vecteurs), et la généralisation qui s'impose par nécessité interne (les entiers relatifs généralisent les naturels). Heller généralise par extension la causalité différentielle à l'interaction dynamique globale et atemporelle en la libérant de la double restriction de localité spatiale et d'antériorité temporelle.

It seems obvious that causation presupposes a separation in space and temporal order. If A causes B then A and B are distinct; otherwise we would have a self-causation. If A causes B then A precedes B; otherwise, B could be the cause of A. However, the separation in space and a temporal order do not form a sufficient condition for causality. For two events to remain in a causal nexus, a certain dynamical interaction must exist between them. There are good reasons to think that if we liberate causality from its involvement in separability in space and ordering in time, it is exactly this dynamical interaction that remains, and this seems enough for justifiably speaking about causal dependence. (Heller 2003, p.265)

En fait, le concept de causalité suit la généralisation du concept de dynamique par l'emploi de la *dérivation*, généralisation non commutative de la notion de vecteur²³. Dans la théorie générale des espaces non-commutatifs, la notion de point est remplacée par celle " d'état " du système : les notions classiques d'espace et de temps perdent alors leur sens. Mais, une interaction dynamique n'est pas identique à

²² L'homogénéité des causes et des effets permet de penser le principe selon lequel « l'effet est toujours proportionnel à l'action qui est nécessaire pour le produire ». C'est ce principe selon Wallis qui permet de passer des mathématiques à la physique : « Universalem hanc Propositionem praemittendam etiam duxi, quoniam viam aperit qua, ex pura Mathematica speculatione, ad Physicam transeat ; seu potius hanc et illam connectit. » *Mechanica, sive de Motu Tractatus geometricus*, I, prop. VI, cité par M. Fichant, « Les concepts fondamentaux de la mécanique selon Leibniz en 1676 », in *Leibniz à Paris, 1672-1676, Studia leibnitiana supplementa*, 17, Wiesbaden, 1978, t. I, p. 229.

²³ Dans le cadre de la géométrie différentielle de la théorie quantique des champs, la notion de connexion généralise la causalité spatio-temporelle.

une relation fonctionnelle²⁴. Une relation fonctionnelle est plus une explication ou détermination qu'une causalité motrice²⁵. Comme l'écrit Paty (2003) :

Nous avons vu la causalité physique se proposer pour accompagner et justifier le point de vue des concepts appropriés aux phénomènes de mouvement et de changement : toute la physique s'est constituée sur la base de cette notion, en choisissant en référence à elle les principes et les concepts propres à sa mathématisation, et cette notion elle-même s'est, en retour, adaptée à ces nouvelles exigences. A y regarder de près, la physique quantique a poursuivi sur cette lancée, en faisant passer la causalité du côté de ses grandeurs structurelles (fonctions d'état et opérateurs), qui portent le contenu physique fondamental, celui qui fait la spécificité des phénomènes et des systèmes quantiques. Cette causalité élargie s'exprime dans les relations entre les grandeurs dynamiques, qui peuvent être temporelles (on parlera de causalité proprement dite), ou être indépendantes du temps comme variable explicite, par exemple dans les relations d'invariance ou de symétrie (on parlera alors plutôt de relation fonctionnelle ou structurelle) : mais on ne voit pas de différence de nature entre les deux. La causalité au sens de l'évolution avec le temps des grandeurs de la physique classique apparaît comme un cas particulier de la seconde, toujours utile dans les situations traditionnelles (trajectoires simples, etc.).

Finalement, l'interdépendance formelle semble être le sens de l'extension de la causalité en physique. Mais l'éloignement du formalisme de la physique moderne hors du sens commun est tel que la causalité élargie ne peut être que difficilement réinvestie par lui sans risquer de tomber dans ce que Whitehead (1968) nomme « the Fallacy of Misplaced Concreteness ». La montée en puissance du formalisme mathématique de la notion de causalité s'est accompagnée d'une évanescence de son aspect causal au sens pré-humien. C'est pourquoi, en un certain sens, pour la physique moderne : « l'énigme majeure est la cause efficace²⁶ » Largeault (1985).

²⁴ Emmeche and colleagues (2000: 17) substitute a new notion of causality, 'functional causality', for the original meaning of the Aristotelian 'final causality', describing it as amounting to the role played by a part in an integrated processual whole, or the purpose of a behavior as seen from the perspective of a system's chance of remaining stable over time. Aristotle characterized the final causal mode as a way of specifying the cause "in the sense of end or that for the sake of which a thing is done [...]. The same is true also of all the intermediate steps which are brought about through the action of something else as means towards the end [...]" (*Physics* II.3, 194b32-35. Aristotle 1995: 332-333). Given the ongoing debates concerning the relations between the concepts of 'function', 'teleology', and 'finality', and their explicit intention of reinterpreting Aristotle's causal modes in the light of contemporary theoretical frameworks, it is understandable that Emmeche and colleagues preferred to avoid either identifying 'function' with the Aristotelian 'final cause' or using the notion of finality at all.

²⁵ Menno Hulswit (2005). How Causal is Downward Causation? *Journal for General Philosophy of Science* 36 (2):261 - 287.

²⁶ En ce sens la causalité de la physique moderne a toujours été du côté de la forme même si le cadre conceptuel est celui de l'efficiencia comme l'écrit M. Bunge : "The Aristotelian teaching of causes lasted in the official Western culture until the Renaissance. When modern science was born, formal and final causes were left aside as standing beyond the reach of experiment; and material causes were taken for granted in connection with all natural happenings... Hence, of the four Aristotelian causes only the efficient cause was regarded as worthy of scientific research." Mario Bunge, *Causality and Modern Science* (New York: Dover, 1979), 32.

2. REMARQUE SUR LE PECHE D'ANGELISME EN PHYSIQUE.

Dans une lettre (datée de 1938) adressée au philosophe M. Adler, Charles De Koninck fait une remarque décisive concernant la distinction entre la philosophie de la nature et les sciences expérimentales :

There is indeed some analogy between the general problem of the middle ages—philosophy-theology—, and that of our day —philosophy-science²⁷. But I consider it a very weak one. The *ratio deitatis* of catholic theology, and the *ratio entis* of natural thought are both complete in their own right. This is not the case of philosophy and science which communicate in the same light of reason. The various degrees of natural knowledge are not radically distinct like natural and supernatural. The difference is like that between war and revolution. The formality studied by experimental science is already a contraction, and if we must start therefrom, we can never get beyond this contraction. This means impossibility of communication.

Puis, il argumente :

The *Summa contra Gentes* was written for persons who accept either metaphysics or revelation. If they accept metaphysics, they know that God is known only “*sub ratione entis*”, and thereby acknowledge a hidden supernatural order which might reveal itself. There is here no fundamental conflict. If they accept revelation without being fideists, they must accept metaphysics. Hence there is a certain coextension between philosophy and theology. The mind of the metaphysicist is naturally open to the supernatural order. (*Contra Gentes*, III, ch. 25 and 50) This is not the case in philosophy and science: the relation, relative to the *ratio entis*, is one of the part to the whole. If a scientist is not already somehow a philosopher, he shall never be able to join it. There was common ground between philosophy and theology, because they are at the same time radically distinct and at the same time, somehow coextensive. If we assimilate this distinction to that of philosophy and science, we are really throwing out either philosophy or science. The philosopher and the theologian can converse together. If philosophy and science were distinct in the same manner, communication would be absolutely impossible. (De Koninck 1938)

Or, l'on constate une tendance à distinguer radicalement la science de la philosophie comme l'on sépare la philosophie de la théologie, afin de mieux les unir en dialogue. Le passage du scientifique au philosophique ne peut s'effectuer de l'intérieur de l'ordre scientifique même ; il est impossible. La philosophie n'attend donc pas son objet de la science. Toutefois, le philosophe, à moins d'être dogmatique, doit s'ouvrir à la science. Et, le scientifique marquant lui-même les limites de sa connaissance, reconnaît ainsi un au-delà de la mesure ; les théories scientifiques ne peuvent pas rendre compte de la réalité ultime des phénomènes de la nature. Si la philosophie et les sciences de la nature diffèrent l'une de l'autre *secundum genus*, il n'existe pas de continuité²⁸, mais elles sont coextensives l'une à l'autre. Le rapport entre philosophie et science est clairement un rapport de « contraintes mutuelles », excluant toute

²⁷ L'on peut trouver chez saint Thomas d'Aquin, dans son article premier sur la nécessité de la doctrine sacrée (in *Summa Theol.*, I, q. 1, a. 1 ad 2.) une référence à cette faible analogie : Une diversité de “ raisons ”, ou de points de vue, dans ce que l'on connaît, détermine une diversité de sciences. Ainsi est-ce bien une même conclusion que démontrent l'astronome et le physicien, par exemple, que la terre est ronde ; mais le premier utilise à cette fin un moyen terme mathématique, c'est-à-dire abstrait de la matière, tandis que le second en emploie un qui s'y trouve impliqué. Rien n'empêche donc que les objets mêmes dont traitent les sciences philosophiques, selon qu'ils sont connaissables par la lumière de la raison naturelle, puissent encore être envisagés dans une autre science, selon qu'ils sont connus par la lumière de la révélation divine. La théologie qui relève de la doctrine sacrée est donc d'un autre genre que celle qui est encore une partie de la philosophie.

²⁸ Si ce n'est secondairement quant à l'imagerie « s'il est vrai qu'il convienne à la philosophie de la nature d'ajouter au savoir philosophique proprement dit, qu'elle requiert en vertu de son essence propre, une région de mythes philosophiques destinés à l'accorder elle-même aux mythes bien fondés engagés dans les théories physico-mathématiques, et à compléter ainsi son union avec le corps expérimental que les sciences lui composent. » (Maritain 1935, p. 362)

absorption de l'une par l'autre. Il faut s'attacher alors à leur articulation, refusant tant l'absorption de l'ontologique dans le métrique que le maintien d'un gouffre de l'un à l'autre, d'une absence d'articulation radical du métrique à l'ontologique. On pourra, avec Maritain (1935), résumer les choses ainsi :

La première analyse est une analyse non ontologique, une analyse empiriologique du réel : c'est le domaine de la connaissance scientifique. La seconde analyse est une analyse ontologique du réel : c'est le domaine de la connaissance philosophique.

Toutefois, Charles de Koninck voit²⁹ en Jacques Maritain celui qui a su bien distinguer les sciences expérimentales de la philosophie de la nature. Il résiste à la double tentation soit, d'une part, de diviser la philosophie de la nature en deux parties séparées : l'une va à la métaphysique, l'autre, aux sciences expérimentales (ou d'interpréter de façon philosophique les résultats des sciences positives de la nature³⁰) ; soit, d'autre part, tout en distinguant la philosophie de la nature de la métaphysique, de faire appel aux théories scientifiques pour prouver des thèses proprement philosophiques³¹.

Il ne reste plus alors qu'à avouer que la théorie [d'Einstein], si l'on donnait une signification ontologiquement réelle aux entités qu'elle met en jeu, comporterait des absurdités; entièrement logique et cohérente comme système hypothético-déductif et synthèse mathématique des phénomènes, elle n'est pas, malgré les prétentions de ses partisans, une philosophie de la nature, parce que le principe de la constance de la vitesse de la lumière, sur lequel elle s'appuie, ne peut pas être ontologiquement vrai.

C'est le même réel sensible qui peut être l'objet d'une analyse ontologique (orientée vers l'intelligible) ou empiriologique (orientée vers l'observable et le mesurable). Les sciences positives de la nature diffèrent³² spécifiquement de la philosophie, bien que, par ailleurs, elles se trouvent toutes deux au même premier degré d'abstraction (par opposition, notamment au degré propre à la métaphysique). Cette dualité des conceptions au cœur d'un même ordre d'abstraction assure leur coextensibilité : l'une sans l'autre ne peut constituer un savoir complet ; elles demandent à se compléter mutuellement.

Mais pourquoi Maritain rendrait-il alors toute véritable communication impossible entre la philosophie et les sciences modernes s'il a su bien les distinguer comme l'écrit Charles de Koninck ?

A vouloir distinguer les sciences positives de la philosophie on tend comme à surnaturaliser, à la façon des Eléates³³, la physique. Mais, selon Charles de Koninck,

²⁹ De Koninck, Cours de biologie philosophique, 1936.

³⁰ « L'erreur philosophique des relativistes est de prendre un certain art scientifique de manier les mesures pour une philosophie de la nature. » (Maritain 1935, p.250)

³¹ « On affirme que s'il est impossible et absurde qu'un effet précède sa cause, c'est parce qu'il est impossible et absurde qu'aucune particule matérielle ou aucun signal aille plus vite que la lumière, ce qui fait dépendre une nécessité métaphysique et première du principe de causalité d'une nécessité d'ordre physique, qui, si absolue qu'on la fasse, reste de soi secondaire et dérivée . » (Maritain 1935, p. 254)

³² Dès lors, un même mot peut être employé dans un cas et dans l'autre avec des significations tout à fait diverses. Comme le mot de cause : il n'y a presque aucune communauté entre les deux mots ; ils deviennent presque équivoques.

³³ Pierre Pellegrin dans Aristote et la Physique Eléate parle de cette tendance à spiritualiser les étants physiques Aristote et la physique éléate, in *Passion des Formes. Dynamique qualitative, sémiophysique et intelligibilité*. A René Thom, Fontenay-Saint Cloud ENS, 1994.

cela va contre l'ordre de détermination³⁴ de la science naturelle, et rend, finalement, impossible toute forme de dialogue. En effet, la distinction de Maritain a l'inconvénient d'ôter à la science moderne sa charge ontologique. Maritain chasse le physico-mathématique dans les nuages de l'être de raison mathématique (*ens rationis* fondés *in re*) et résout le problème de l'étonnante efficacité des mathématiques en physique du seul point de vue logique : faux implique vrai est vrai³⁵.

Charles de Koninck argumente contre Maritain en deux points essentiellement :

1. Selon Maritain, le rapport de l'être mesurable au réel sensible est oblique. Mais il identifie la quantité à la simple extériorité de l'être sensible. L'être physique est un être matériel.
2. Quelle est cette intuition spéciale réservée à la philosophe de la nature qui, finalement, faire entrer la figure de l'ange (connaissance des absolus physiques) dans les sciences de la nature ?

Reprenons chacun des deux points. Selon Maritain (1935) la science moderne étudie l'être sensible en tant qu'il est mesurable/observable, mais il n'y a d'ontologie qu'indirectement et obliquement :

L'ontologique n'est jamais là dégagé pour lui-même, il n'est là qu'à titre de fondement de représentations et définitions empiriques ou d'entités physico-mathématiques. [...] En ce sens et pour abrégé le langage on peut dire que l'explication empiriologique n'a pas de valeur ontologique, c'est-à-dire *directement* ontologique ; elle n'atteint l'être des choses qu'obliquement et comme fondement indirect, sans le faire connaître en lui-même. Elle travaille sur les natures ou essences du monde corporel, celles-ci ne sont pas comme telles son objet propre.

La géométrisation de la physique progresse en s'écartant de l'ontologique. Il en résulte une purification du lexique notionnel des sciences positives de la nature se constituant dans une autonomie de plus en plus parfaite à l'égard du lexique ontologique de la philosophie. Par exemple, la notion empiriologique de causalité différentielle comme pure co-détermination phénoménale a évacué toute référence à la notion philosophique de cause comme activité productrice d'être. Mais elle reste néanmoins et nécessairement rivée à la notion ontologique de cause « d'une manière implicite, obscure, ingrate et inavouée » en tant que d'une part elle présuppose une philosophie sous-jacente (la philosophie inchoative du scientifique), et d'autre part, en tant qu'elle se réfère obliquement à l'être des choses comme fondement des représentations explicatives.

Ce qui assure une telle relation des êtres de raison de la science moderne à l'être réel matériel considéré comme fondement est la quantité : peut être considérée ontologiquement comme le premier accident des substances matérielles, et peut être encore considérée quantitativement ou au point de vue des relations d'ordre et de mesure. Maritain (1935) écrit :

³⁴ De Koninck 1941.

³⁵ « Une théorie physique est avant tout un système hypothético-déductif édifié a priori selon les convenances artistiques de la formulation algébrique, et qu'on essaye après coup, vêtement tout fait, sur les phénomènes ; pour qu'il y ait coïncidence entre le donné physique et les conclusions algébriques, il n'est nullement nécessaire que les principes de la théorie soient vrais : comme l'enseigne en effet la logique formelle, si du vrai ne peut jamais suivre le faux, du faux par contre peut suivre le vrai. » (Maritain, 1935 p.242)

A considérer les choses au point de vue, non du physicien, mais du philosophe, et à s'exprimer dans son langage, la quantité, c'est-à-dire l'extension de la substance et de son unité métaphysique en parties diverses selon la position, est une propriété réelle des corps, il y a, dans la nature, des dimensions, des nombres, des mesures réelles, un espace réel, un temps réel, et c'est sous les conditions et les modalités de cette quantité réelle, c'est quantitativement mesurées et réglées que les causes en interaction dans la nature développent leurs activités qualitatives. (p. 276)

Charles De Koninck, commentant ce passage, souligne l'identification ainsi faite entre la notion de quantité à celle d'étendue (*extraneitas*). Or, cela est une confusion. Si la quantité est ce qui est connu par la mesure, l'étendue en tant que telle n'a pas de mesures. L'étendue, comme donnée immédiate, est pure extériorité, réelle et homogène, soit de l'espace, soit du temps. Sans dimension aucune. Prenons comme exemple d'extériorité réelle continue la relation entre deux points quelconques ou deux instants quelconques. Les deux points (ou les deux instants) sont continuellement liés. Ce continu comme extériorité n'est pas une grandeur « *quae mensura cognoscitur* ». Pour pouvoir parler de distance qui sépare les deux points (ou les deux instants), il faudra introduire un troisième point (ou instant) qui établira dans cette extériorité une différenciation qualitative, une mesurabilité. Le philosophe en tant que philosophe ne peut donc pas parler de structure métrique de l'espace réel³⁶.

Cependant, Maritain soutient que nous avons une connaissance des dimensions de l'espace réel. Maritain affirme que l'espace réel physique possède les trois dimensions de l'espace géométrique euclidien. Pourquoi ? Il suppose que l'espace réel est accessible à une intuition imaginative, intuition du sens interne, qui présuppose la perception externe des êtres sensibles.

Ce rôle de l'imagination s'explique pour nous parce que la quantité, étant le premier accident de la substance corporelle, précède (d'une priorité de nature) tout l'ordre qualitatif (énergétique et physique) et donc de l'ordre sensible, et cependant elle est elle-même connue du sens par le moyen des qualités sensibles, non sans, du reste, toute une éducation synergique de la perception (elle est un sensible commun) : l'imagination au service de l'intelligence peut donc pénétrer dans le monde de la quantité pure (...) Et ce rôle de l'imagination, s'il ne dispense en rien de la stricte et minutieuse rationalité des vérifications logiques, comme les intuitionnistes ont trop souvent semblé le croire, est cependant indispensable, parce que l'objet n'est pas ici, comme en métaphysique, purement intelligible : il faut que la constructibilité dans l'intuition imaginative manifeste *ad sensum* la possibilité intrinsèque des entités considérées par l'esprit, avant tout, et nous assure ainsi que loin d'envelopper quelque impossibilité secrète ce sont de véritables essences (sur le fondement desquelles des êtres de raison capables d'existence idéale pourront d'ailleurs être édifiés à leur tour. (Maritain 1935)

Dès lors ce qui distingue l'espace réel (sens philosophique) de l'espace comme être de raison est la seule constructibilité directe dans l'intuition imaginative. Autrement dit, la condition de l'existence hors de l'esprit, ou de l'être réel, c'est d'exister d'une existence sensible (Maritain 1935, p. 330). Seul l'espace euclidien est directement constructible dans l'intuition ; donc il est réel. Or, la contre, tout être matériel n'est pas nécessairement sensible :

To elevate sensibility into a criterion of material unity is a restriction of it to what can be imaginatively represented. A quantum is a phenomena which absolutely surpasses our representative capacities and which has

³⁶ De Koninck imagine un dialogue entre un physicien et Maritain sur le caractère euclidien ou non de l'espace : "As a philosopher he can say nothing of the metric structure of space. That is for physicist. And he replies that there is curved space. M. Maritain answers : that is impossible. The physicist asks why. M. Maritain : because it does not agree with the metrics of my space. The physicist : and which is that ?" (De Koninck, 2008, p.149)

no representative sense. Yet it is quite real. It is not in any way reducible to a representation, and that by definition. (De Koninck, 2008, p. 148)

Maritain parle de grandeurs physiques absolues, de dimensions absolues, de temps absolu, de simultanéité absolue et même de causalité stricte. Il les connaît donc puisqu'il en aurait une connaissance intuitive dans l'imagination. Mais il justifie son propos en faisant entrer les esprits purs³⁷.

Le philosophe sait que les corps ont des dimensions absolues, qu'il y a dans le monde des mouvements absolus, un temps absolu, des simultanéités absolues pour des événements aussi éloignés qu'on voudra dans l'espace : absolu signifie ici entièrement déterminé en soi-même, indépendamment de tout observateur ; de savoir quels ils sont, de discerner ces dimensions, ces mouvements, ce temps, ces simultanéités (à distance) absolues à l'aide de nos moyens d'observation et de mesure, le philosophe y renonce, il accordera volontiers que cela n'est pas possible ; il lui suffit qu'ils soient discernables à des esprits purs, qui connaissent sans observer d'un point de l'espace et d'un moment du temps. (Maritain 1935, pp. 308-309)

Or, le physicien rejette ces grandeurs absolues parce qu'elles sont inconnaissables pour lui (il doit mesurer) et pour le philosophe aussi. Maritain oublie que les nombres-mesures sont des ombres³⁸ de la réalité physique non pas parce qu'elles seraient des abstractions logiques, des êtres de raison, mais en tant que coupures métriques des choses physiques : ils n'expriment pas le tout de l'expérience, mais en tant que coupures physiques ils nous donnent quelque chose du réel lui-même³⁹. Certes, des coupures métriques ne sont pas des coupures ontologiques :

Des coupures métriques on ne peut conclure à des coupures ontologiques. Le soleil et la lune ne sont pas deux êtres substantiels parce que distants et séparés par un certain vide. Les entités fondamentales de la physique ne sont que des coupures dans l'aspect métrique des choses, choses dont le physicien fait d'ailleurs totalement abstraction. Il est absurde de considérer un atome comme une chose. *Ces entités ne sont réelles qu'à la façon d'un sourire.* (De Koninck, Réflexions sur le problème de l'indéterminisme, *Revue Thomiste*, 1937.)

Il ne nous reste qu'un sourire : le chat de Cheshire a quitté la scène. Mais ce sourire a une structure, et cela est bien quelque chose : c'est le vide du monde creux de la physique (« the hollow of the hollow world of physics »). (De Koninck, 2009)

Ce vide, ce creux, est une ouverture non à la philosophie de la nature, mais à la métaphysique. Au fond, le philosophe de la nature n'a pas accès à ce qui est caché

³⁷ Ce même esprit qui « connaîtrait sans moyens matériels (et donc sans le moyen non plus de concepts empiriologiques), le comportement de ce corpuscule à chaque instant, il verrait alors le principe de causalité s'appliquer strictement et dans son plein sens ontologique. Cette hypothèse est sans signification pour le physicien ; mais si elle n'avait pas de signification pour le métaphysicien, c'est qu'il n'y aurait pas de métaphysique. » (Maritain, 1935 p. 378)

³⁸ "It is difficult to school ourselves to treat the physical world as purely symbolic. We are always relapsing and mixing with the symbols incongruous conceptions taken from the world of consciousness. Untaught by long experience we stretch a hand to grasp the shadow, instead of accepting its shadowy nature. Indeed, unless we confine ourselves altogether to mathematical symbolism it is hard to avoid dressing our symbols in deceitful clothing. When I think of an electron there rises to my mind a hard, red, tiny ball; the proton similarly is neutral grey. Of course the colour is absurd perhaps not more absurd than the rest of the conception but I am incorrigible." (Eddington 1942)

³⁹ "On the contrary, it is M. Maritain who seems to forget that measurement give us something of the real when he assimilates physics à l'excès with pure mathematics. Physical magnitudes are not "cuts mathematically effected", but physically effected, which is quite another thing. Physical magnitudes are not merely beings of reason *cum fundamento in re*. Insofar as knowledge of them is solidly established, they express reality. They do not express the whole of reality. Insofar as a theory is experimentally verified, it is *really* true." (De Koninck 2008 p. 153).

au physicien. Toute connaissance de la nature des choses physiques est une série inférée de symboles. Ce qui est important est que nous ne pouvons pas la connaître en elle-même, car elle nous est cachée. Nous n'avons que son aspect métrique. Mais nous ne disons pas que la chose est identique à son symbole. Pour autant le symbole n'est pas différent de ce à quoi il fait référence. Cette toile de fond qui est cachée est cette étoffe d'esprit⁴⁰ (« *mind-stuff* ») qui possède un aspect métrique que nous nous représentons à l'aide d'un symbole.

L'approche épistémologique que fait sienne De Koninck contre Maritain est celle de Sir Arthur Eddington. Il en résulte un désaccord immédiat dès le commencement sur le mode de définir. Or, il nous faut en accepter toutes les conséquences : le symbolisme mathématique, le principe méthodologique de relativité einsteinienne comme l'indéterminisme causal. De Koninck (2008) fait la remarque suivante :

The physicist does not cut the world into ontologically defined entities, and he does not envisage his entities as being. The entities dealt with in physics are cuts physically effected. These cuts are not made arbitrarily. There are cuts in the world external to us independent of us. The discontinuity of matter imposes itself. Substances and accidents do not correspond to these discontinuous entities defined by the physical limits of these entities, and this, not because we do not have sufficient means to know them, but because it makes absolutely no sense.

Ne pas les accepter c'est faire de la métaphysique en physique, élever la physique au niveau ontologique⁴¹. Il n'est pas question de causalité ontologique en physique et non pas pour la raison que donne Maritain : une connaissance incomplète. La causalité ontologique n'a pas de sens physique⁴² :

Causality in philosophy and causality in physics are of a profoundly different nature, as has been sufficiently shown by Prof. Renoirte. Physical causality merely expresses the metrical coherence of phenomena. It is more, I should say, of the nature of formal causality⁴³". (De Koninck, " Thomism and Scientific Indeterminism", ACPA., 1937.)

⁴⁰ "To put the conclusion crudely the stuff of the world is mind-stuff. As is often the way with crude statements, I shall have to explain that by "mind" I do not here exactly mean mind and by "stuff" I do not at all mean stuff. Still this is about as near as we can get to the idea in a simple phrase. The mind-stuff of the world is, of course, something more general than our individual conscious minds; but we may think of its nature as not altogether foreign to the feelings in our consciousness." (Eddington 1942)

⁴¹ "One elevates physics to ontology" (De Koninck, 2008, p.205)

⁴² Charles de Koninck est on ne peut plus catégorique : "Some scholastics have allied themselves with Einstein and Planck because they think that Eddington's opinion calls into question the metaphysical principle of causality. There is no question of the latter in physics. Once more, this causality is not envisaged in physics, not because our knowledge of phenomena is incomplete, but because it makes no sense there. This is not to say that there is no causality in the world but only that the physicist does not furnish entities that the metaphysician can handle, the latter does not find there matter which would allow him to find in it the relation of causality. The causality of which the physicist speaks is an expression which does not at bottom designate only determinability. The determination it envisages is not necessarily absolute. It is what he finds there". p. 161.

⁴³Ce rapport à la causalité formelle ne signifie que la mathématisation (dans les formes, les rapports et les proportions) et non une quelconque cause formelle au sens ontologique comme on le trouve, par exemple chez M. Espinoza : « L'idée que j'essaie de rendre plausible est que la cause formelle est celle qui est le mieux renouvelée et mise en valeur par la physique relativiste. Et quel est l'intérêt philosophique de cette thèse ? Il est de montrer que l'interprétation positiviste, phénoméniste ou instrumentaliste de la physique ne s'impose pas, qu'il existe une autre vision de la science et du monde, plus sensible à la valeur explicative de la forme et à la portée ontologique des mathématiques. » (Espinoza 2006) Dans *The Problem of determinism* , De Koninck écrit : « De la manière dont nous l' avons décrit dans sa formule et dans ses conséquences, il ressort

Si la causalité s'applique aux entités physiques dans son sens ontologique, il n'y a pas de métaphysique. Mais parler de physique mathématique c'est reconnaître qu'elle n'est pas métaphysique. La distinction des science de la nature (philosophie et sciences expérimentales de la nature) n'est pas seulement due à notre intelligence ; elle se trouve d'abord du côté des choses mêmes. La physique est nécessairement mathématique. Les entités de la physique ne sont pas des choses (*res*) mais des aspects du réel ; elles sont un réel aspect métrique d'un monde réel. L'être de raison c'est l'électron chose, mais un électron-aspect-métrique est un aspect réel d'un être réel. Finalement, ce n'est pas la causalité différentielle et spatio-temporelle qui est généralisée, mais la causalité proprement ontologique qui est élargie au domaine physique des réalités spatio-temporelles.

Aristote reproche aux platoniciens l'usage abusif de la dialectique dans l'étude du monde physique et l'insuffisance de l'expérience. Le dialecticien définit les choses naturelles par la forme seule ; le philosophe de la nature, par la matière et la forme. Considérons maintenant ce passage d' Eddington (1929) :

The relativity theory of physics reduces everything to relations ; that is to say, it is structure, not material, which counts. The structure cannot be built up without material ; but the nature of the material is of no importance. (...) And yet, in regard to the nature of things, this knowledge is only an empty shell-a form of symbols. It is knowledge of structural form, and not knowledge of content. All through the physical world runs that unknown content, which must surely be the stuff of our consciousness. Here is a hint of aspects deep within the world of physics, and yet unattainable by the methods of physics. And, moreover, we have found that where science has progressed the farthest, the mind has but regained from nature that which the mind has put into nature. We have found a strange foot-print on the shores of the unknown. We have devised profound theories, one after another, to account for its origin. At last, we have succeeded in reconstructing the creature that made the foot-print. And Lo! it is our own. (Eddington *Space, Time, and Gravitation*, Cambridge, 1929, p. 197; pp. 200-201)

Assurément, la physique contemporaine et la philosophie se cherchent. Dans "*Physics Meets Philosophy at the Planck Scale: Contemporary Theories in Quantum Gravity*" (2001), Jeremy Butterfield and Christopher Isham insistent sur l'importance pour le physicien de partir des concepts les plus communs, à savoir l'espace, le temps et la matière :

More generally, we are inclined to think that in the search for a satisfactory theory of quantum gravity, a fundamental reappraisal of our standard concepts of space, time, and matter may well be a necessary preliminary. Thus we are skeptical of the widespread idea that at the present stage of quantum gravity research, it is better to try first to construct an internally consistent mathematical model and only then to worry about what it 'means'. But such a reappraisal is fiercely hard to undertake.

suffisamment que le principe de causalité physique est loin d'être synonyme de la causalité telle que nous en parlons en philosophie. Il me semble que la causalité dont on pourrait parler à propos des sciences expérimentales en philosophie des sciences ressemble uniquement à la causalité formelle que nous retrouvons d'ailleurs à un état plus pur en mathématiques. Elle n'exprime que la cohérence métrique des phénomènes. Dans l'indéterminisme, cette cohérence n'est pas rigoureuse ; elle tend vers la rigueur et la symétrie d'espace-temps. Non seulement le déterministe la conçoit comme rigoureuse et mathématique, mais encore il la convertit en une espèce de causalité efficiente ; il la substitue à cette causalité qui d'ailleurs ne peut avoir de sens en science expérimentale, pas plus que la causalité finale. » (2009, p. 314) La notion de cause ontologique sans déterminisme n'est pas équivalente à la notion d'un déterminisme causal affranchi de la contrainte de prédictibilité (voir Bois 2010). L'irréversibilité qu'introduit la non-prédictibilité n'a rien à voir avec la causalité ontologique sans déterminisme (contingence de la forme dans la matière).

Commencer l'étude de la nature par le mouvement local, par exemple, c'est prendre le risque d'ignorer ce qui est commun à tous les mouvements et d'être conduit à nier leur différences⁴⁴.

De plus, la philosophie de la nature doit aller plus loin dans le sens de la concrétion comme le dit Charles de Koninck :

Il suffit d'avoir indiqué que c'est un même élan qui porte le philosophe de la nature, depuis le premier livre des *Physiques* jusqu'au fait et au pourquoi de la trompe de l'éléphant.

Son but ultime n'est-il pas d'aller aux principes et aux causes les plus universels dans l'ordre de la concrétion ? Les théories physiques ne seront qu'une tentative de rejoindre cette fin dans l'ordre de la concrétion. Soit,

Ce n'est qu'à travers celles-ci que nous pourrions atteindre la cause dernière en elle-même absolument. (de Koninck 1941)

Mais, il y aurait abus de la symbolisation mathématique si la physique était entièrement soustraite à la philosophie de la nature⁴⁵ ; si la grandeur physique était séparée de (ou confondue avec) l'extériorité homogène. Certes, il est possible de construire des définitions qui ne seraient plus de l'ordre métrique, de déduire tout l'ordre métrique que l'on constate expérimentalement de symboles purement mathématiques (De Koninck cite la théorie de l'électron de Dirac et l'utilisation de la théorie des groupes en physique). Toutefois, la construction symbolique de la nature ne doit pas nous faire oublier, comme le note Eddington (*in* De Koninck 2009) qu'en vérité :

[...] toutes les recherches scientifiques ont pour point de départ le monde familier et, à la fin, doivent y retourner ; mais la partie du voyage pendant laquelle le physicien en a la charge se trouve en territoire étranger... Malgré nos efforts pour bien prendre notre départ en rejetant les interprétations instinctives ou traditionnelles de l'expérience et en n'admettant que la connaissance qui peut être déduite par des méthodes strictement scientifiques, nous ne pouvons pas rompre complètement avec le conteur familier. Nous posons en principe qu'il faut toujours s'en méfier ; mais nous ne pouvons pas nous passer de lui dans la science. Voici ce que je veux dire : nous équipons quelque expérience délicate de physique avec des galvanomètres, des micromètres, etc., choisis spécialement pour éliminer la faillibilité des perceptions humaines ; mais en fin de compte, c'est à nos perceptions que nous devons demander le résultat de l'expérience. Même si l'appareil est enregistreur, nous devons utiliser nos sens pour déchiffrer l'enregistrement.

C'est pourquoi, lorsque Heller (2003) fait la remarque suivante⁴⁶ :

“This conclusion is consonant with the traditional pre-Humean notion of causality as linked primarily to agency and not to time-order.”

⁴⁴ “For example, the denial of these differences is implicit in thinkers who believe that the ultimate explanation of whatever there is to be explained in nature will be a mathematical-physical one.” (De Koninck 1961, *The Unity and Diversity of Natural Science*.)

⁴⁵ Il faudrait ici citer tout l'ouvrage de De Koninck *The Hollow Universe* (Oxford University Press, London, 1960) XII, 127 pp ; ainsi que son article *Random Reflections Random Reflections on Science and Calculation*, Laval Théologique et Philosophique 12 (1956) 84-119.

⁴⁶ Il précise d'ailleurs : “It is truly worthwhile to read old masters from the perspective of the most recent scientific theories! The point is, however, that one should not repeat their doctrines blindly but look at them with an eye sharpened by the enlargements of imagination prompted by the achievements of modern science.”

il prête à la cosmologie une signification ontologique à laquelle elle ne peut prétendre⁴⁷. Cette algébrisation de la cosmologie est comme une *supernaturalisation* de la physique qui ne permet pas d'accorder ensemble philosophie de la nature et cosmologie, causalité ontologique et causalité physique⁴⁸. Les symboles deviennent des ombres exactement comme dans le conte d'Andersen où le scientifique et son ombre intervertissent leurs rôles.

Notre intelligence désire naturellement connaître le fond des choses. Mais, nous cherchons dans la nature physique une intelligibilité qui ne s'y trouve pas. Et ce que l'intelligence ne peut atteindre elle l'objective comme un arrière-fond réel. Ainsi, nous posons dans la nature physique la causalité. Mais, pour pouvoir parler d'un réel physique comme réel causé, il faut dépasser le monde physique en tant que physique et le considérer en tant que réel, c'est-à-dire du point de vue philosophique ou ontologique. Toutefois, ce réel trouvé ne peut être traduit en termes métriques ou physiques. Par conséquent la causalité ontologique doit être exclue de la physique si l'on veut sauvegarder le principe ontologique de causalité. Et celui qui voit dans la causalité physique même généralisée une causalité véritable nie implicitement le principe ontologique de causalité. A moins que cet emploi ne repose sur un usage *métaphorique* du mot « cause » en science.

⁴⁷ «L' on pense que les explications scientifiques remplacent la philosophie de la nature et l' on ne s'attache qu'aux notions directement utilisables en théologie. Or, si en astronomie la répulsion cosmique explique suffisamment l'expansion de l' univers, et si la théorie des gènes nous met sur la voie de l' explication des mutations – et il serait ridicule de les dire insuffisantes au point de vue scientifique qui constitue à sa façon un domaine ferme – rien de tout cela ne peut expliquer le simple déplacement d'un point matériel au point de vue ontologique. Et pour ce faire, l' on ne peut pas avoir recours directement aux notions générales de la métaphysique – nous devons trouver des causes appropriées ». (De Koninck, " Le Cosmos", 1936 in De Koninck 2009).

⁴⁸ Le cosmologue qui se couperait de la connaissance confuse (ce que nous connaissons de la causalité selon l'universel confus) et donc de l'extériorité homogène, parlerait de causalité comme l'aveugle qui croirait connaître les couleurs parce qu'il sait comment on les mesure. « Celui-ci pourrait sans doute comprendre l'optique qui définit les couleurs par leur angle de réfraction dans un prisme, mais le sensible propre, la couleur qui fait l'objet de la vue, lui serait inconnu. Il connaîtrait un mode quantitatif de la couleur, un sensible commun ; mais la couleur qui fait l'objet propre de la vue n'est pas son mode quantitatif. » (De Koninck, 2009.)

3. REMARQUE SUR L'ANGELOGIE THOMISTE COMME META-MATHEMATIQUES.

Si nous adoptons la position d'Aristote selon laquelle toutes les constructions symboliques sont suffisamment expliquées – si une explication est requise – par la faculté de l'esprit de se considérer lui-même (et je ne vois pas comment cela diffère de l'esprit de Poincaré), nous pouvons nous demander comment tant peut être accompli avec si peu. Cela est encore plus surprenant si nous considérons que les fictions et les constructions sont si pertinentes par rapport à la nature que le professeur Einstein, dans sa *Herbert Spencer Lecture*, a pu dire :

« C'est ma conviction que les pures constructions mathématiques nous permettent de découvrir les concepts, et les lois qui les unifient, qui nous donnent la clef de la compréhension des phénomènes naturels. L'expérience peut bien sur guider nos choix vers des concepts mathématiques plus pratiques ; mais elle ne peut aucunement être leur source ; l'expérience demeure évidemment le seul critère de la légitimité d'une construction mathématique pour la physique, mais le véritable principe créatif se trouve dans les mathématiques ». A quel point Einstein avait raison a été démontré à nouveau par l'utilisation de la théorie des groupes en physique quantique. Voilà qui étonne. Qu'est-ce que nos constructions, mentales ou physiques, ont à voir avec les choses naturelles ? Se pourrait-il qu'à la fois nos œuvres mentales et manuelles et les œuvres de la Nature aient toutes deux la Raison comme fondement ? (De Koninck, 2009)

Cependant, nous ne devons pas non plus oublier l'avertissement d'Einstein, que les constructions mathématiques pures

ne peuvent rien nous apprendre du monde de l'expérience ; toute connaissance à propos de la réalité commence par l'expérience et se termine en elle. Les conclusions obtenues par des processus rationnels sont, du moins en ce qui concerne la réalité, entièrement vides.

Et c'est aussi ce vide des pures constructions mathématiques qui en fait des outils si efficaces en physique, mais seulement dans la mesure où le monde de la nature peut être appréhendé par ce que de Koninck nomme le « filtre sélectif des constructions symboliques ». Il doit donc être refait à leur propre image⁴⁹. Comme l'a remarqué Eddington (*in* De Koninck 2009):

Nous avons trouvé une étrange trace de pas sur les rivages de l'inconnu. Nous avons conçu des théories profondes, les unes après les autres, pour expliquer son origine. Enfin, nous avons réussi à reconstruire la créature qui a laissé cette trace. Et voilà !, c'est la notre.

Or, si d'une part une physique véritable est nécessairement mathématique, et d'autre part, si la physique mathématique ne divise pas la science naturelle⁵⁰, alors la

⁴⁹ Comme le note De Koninck, l'objet connu par les sciences de la nature est une « réalité cuite », fabriquée. Le physicien manufacture son objet.

⁵⁰ "Nature is a heterogeneous whole, in the exploring of which various methods must be used. Dissect it as we may, the subject under investigation somehow persists in remaining one. Take, for example, Democritus' 'small world' that is a man: he can be cooked down to his molecules, and even to less, to sheer radiation. But what is the effect of this rendering process? Does it enable us to pronounce that now at last we have got hold of what a man is? It is familiar knowledge that a house is composed of brick, cement, boards, plaster, nails, wire and

symbolisation mathématique de la physique, le vide de ses constructions symboliques, *ne la soustrait pas* de la philosophie de la nature. Nous touchons ici à la question de la portée ontologique des mathématiques contemporaines et aux fondements de leur applicabilité à la nature. La construction symbolique de la nature n'est pas un simple jeu : faudrait-il à la suite de Dedekind, Cantor, Hilbert et Lautman accorder une portée ontologique à la liberté créative en mathématiques ?

En effet, selon De Koninck, suivant en cela Poincaré⁵¹, le noyau de cette liberté est la capacité réflexive de l'esprit : « la représentation ne l'épuise point »⁵².

Thomas d'Aquin l'explique dans son commentaire sur ce même passage de *la Physique* :

L' intellect peut toujours ajouter à n'importe quelle chose finie... La suite des nombres apparaît comme étant infinie, car l' intellect, en ajoutant une unité à n'importe quel nombre, produit une autre espèce. Et pour la même raison il semble que les grandeurs mathématiques, qui existent dans l' imagination, sont infinies, car peu importe quelle grandeur est donnée, nous pouvons toujours en imaginer une plus grande. Pour la même raison, tous ont tendance à croire que l' espace au-delà des cieux est infini.

La représentation ne l'épuise point ; l'esprit est ouvert sur des possibilités infinies qu'il déploie par itération.

De Koninck montre dans deux articles⁵³ l'excellence de cette méthode, voire même sa nécessité. Notre connaissance intellectuelle des êtres matériels est limitée car elle est abstraite ; elle est originellement et résolument empirique. Mais, l'intelligence est naturellement habitée par une tendance à voir les natures comme limites les unes des autres. Par exemple, en mathématiques, elle cherche à définir le point, la ligne, la surface, le volume, comme limites de telle sorte que nous procédons comme si ces éléments s'engendraient les uns des autres.

pipe. But does this knowledge ever impel us to think or state that a house simply is brick, cement, boards, plaster, and so forth? The difference between a heap of building materials and a house is plain enough. Surely there is an even greater difference between a heap of molecules or atoms and a man. The truth is that, by the sciences of nature, we should not mean physics and biology (including psychology) only, as these are now understood. Professor Pascual Jordan seems aware of this when (*in Physics of the 20th Century*) he regrets that 'The increasing independence of natural scientific branches from philosophy from Aristotle's time to the present has simultaneously also emptied philosophy of its original content and problems.' For whatever may be the tactics of this or that science of nature, it remains true that all should converge upon the single, though infinitely varied, whole which is their subject. Now, to hold this general objective steadily in view, and in its light, to pass judgment on the conclusions of specialized branches of research, is the business of natural philosophy - which should be the concern of each and every scientist. The fatal consequences of abandoning all thought of the subject as a whole, to become absorbed and lost in independent investigation of single aspects of it, is illustrated everywhere. The absence of coordination between the sciences, the failure of each to reflect constantly upon the scope and significance of the others, have brought all to a state of hollowness and shapelessness like the grin without the cat or the cat without an outline." (De Koninck 1960 , *in The Hollow Universe*)

⁵¹ Poincaré dans *La science et l'hypothèse* écrit : « Pourquoi donc ce jugement s'impose-t-il à nous avec une irrésistible évidence ? C'est qu'il n'est que l'affirmation de la puissance de l'esprit qui se sait capable de concevoir la répétition indéfinie d'un même acte dès que cet acte est une fois possible. L'esprit a de cette puissance une intuition directe et l'expérience ne peut être pour lui qu'une occasion de s'en servir et par là d'en prendre conscience. »

⁵² Aristote, *Physic.*, III, 4, 203b15-25, trad. Française H. Carteron, Belles Lettres, Paris, 1973, p. 97.

⁵³ A savoir : *La dialectique des limites comme critique de la raison*, en 1945 et l'article *Concept, Process and Reality*, en 1946.

Nous définissons le cercle comme la limite d'un polygone régulier inscrit dont les côtés croissent indéfiniment en nombre. Nous tentons ainsi de voir le cercle, quant à cela même qui le distingue du polygone, par le moyen de la similitude intelligible du polygone. (De Koninck, 1945)

Elle cherche ainsi à contourner sa structure divisive ; à surmonter la multiplicité de ses moyens de connaître⁵⁴.

S' il faut distinguer entre la définition ou l'interprétation d'un mot et la définition de ce que le mot signifie distinctement (au sens où, par exemple, connaître ce que le mot « cause » signifie ne demande pas de pouvoir définir distinctement ce qu'est une cause), c'est en raison des limitations provenant de notre manière à nous de connaître. La science naturelle suit un certain ordre de détermination :

La marche naturelle, c'est d'aller des choses les plus connaissables pour nous et les plus claires pour nous à celles qui sont plus claires en soi et plus connaissables ; car ce ne sont pas les mêmes choses qui sont connaissables pour nous et absolument. C'est pourquoi il faut procéder ainsi : partir des choses moins claires en soi, plus claires pour nous, pour aller vers les choses plus claires en soi et plus connaissables. Or, ce qui, pour nous, est d'abord manifeste et clair, ce sont les ensembles les plus mêlés ; c'est seulement ensuite que, de cette indistinction, les éléments et les principes se dégagent et se font connaître par voie d'analyse. C'est pourquoi il faut aller des choses générales aux particulières ; car le tout est plus connaissable selon la sensation, et le général est une sorte de tout : il enferme une pluralité qui constitue comme ses parties. (Aristote, II *Physic.*, c. 1, 184a15-25. Cité par De Koninck 2009)

Cet ordre de détermination ou processus *in determinando*⁵⁵ assure l'unité⁵⁶ de la science naturelle qui se divise et s'ordonne en ses divers modes de définir et moyens

⁵⁴ On trouve chez Saint Thomas d'Aquin l'idée selon laquelle la science n'est pas strictement identique à son mode de définir. « Ad secundum dicendum, quod modus iste cognoscendi non est essentialis scientiae ex parte sui, sed ex parte subiecti, cui secundum statum viae talis modus intelligendi competit. Hoc autem per se solum essentialis est scientiae secundum seipsam, ut per eam scibilia cognoscantur. Et ideo quando variatur status subiecti, variatur modus intelligendi, non tamen habitus scientiae ». Thomas d'Aquin, *De veritate*, q. 20 a. 3 ad 2.

⁵⁵ « Le processus *in determinando*, c'est l'ordre que nous suivons dans la considération des différents sujets et principes d'une science selon qu'ils sont plus connus de nous. Or, ce qui est le plus connu de nous et plus certain, c'est le confus. C'est ainsi qu'on s'aperçoit d'abord que cet objet est une figure, qu'il est une courbe fermée, et enfin qu'il est une ellipse. De même, l'homme est connu d'abord comme animal. Nous trouvons cet ordre, tant dans la connaissance intellectuelle que dans la connaissance sensible. Tant que nous connaissons l'ellipse seulement comme figure ou comme courbe fermée, nous ne la distinguons pas des autres espèces de figures, ou de courbes fermées ; tant que l'homme n'est pas connu dans ce qui le distingue de la brute, notre connaissance est confuse. Or, ce confus est aussi plus commun, plus universel : car le polygone est également une figure, le cercle une courbe fermée, et le cheval un animal. Aussi, dans la science, nous considérons les choses suivant ce qui, en elles, est d'abord plus connu, pour aller ainsi par degrés vers ce qui est plus connaissable en soi ; car, manifestement, l'homme est plus connaissable en soi qu'un animal ; étant animal et raisonnable, il est plus distinct, plus en acte et partant plus connaissable en soi. Nous avançons donc de sujet en sujet suivant cet ordre de communauté. » (De Koninck, 2009, pp. 176-177)

⁵⁶ « L'unité de cette fin ne sera pas rompue par la diversité des moyens à employer, c'est au contraire une même fin qui les commande, pourvu qu'ils permettent de mieux connaître. Même l'usage de mathématiques dans lequel le physicien se subalterne au mathématicien afin de connaître les choses dans leur aspect quantitatif et au moyen de cet aspect qui se présente d'abord dans les sensibles communs – nombre, grandeur, figure, mouvement, temps, situs, lieu, lesquels se ramènent tous à la quantité – ne divise radicalement la doctrine naturelle. Car, bien que le sujet des sciences physico-mathématiques – tel le composé de ligne et de sensible – soit un selon la raison seulement, bien que ces sciences soient formellement mathématiques en tant qu'elles empruntent leurs principes propres aux mathématiques, et que par conséquent leurs raisonnements soient à la fois hypothétiques et procèdent par la seule forme, ces sciences principalement naturelles puisqu'elles se terminent aux choses naturelles qu'elles ont pour but de faire mieux connaître. » (De Koninck,

de connaître selon que nous allons par degrés vers la spécificité des objets, vers leur distinction ultime, leur concrétion⁵⁷. L'intelligence cherche ainsi à se libérer de l'indétermination de l'universel ; de cette connaissance vague et confuse, de ce qui est le plus connu de nous pour aller vers le plus connaissable en soi.

Voici donc un premier aspect de l'unité. La physique-mathématique, bien qu'elle soit formellement mathématique, n'est qu'une extension de la philosophie de la nature a) en tant qu'elle répond au même désir de connaître les êtres naturels, b) en tant qu'elle reste matériellement et principalement naturelle, c) en tant que la philosophie de la nature est comme une sagesse par rapport à ces connaissances. Mais, l'intelligence ne peut-elle pas aussi tenter de surmonter la multiplicité de ses moyens de connaître par l'usage de l'infini purement rationnel de la méthode des limites⁵⁸ ? Autrement dit, l'intelligence va s'efforcer de réduire à l'unité la diversité des objets qui diffèrent par définition, de telle sorte que l'ontologique et le physique convergent. C'est ainsi que nous pourrions en quelque sorte faire surgir le physique d'une dégradation d'ontologique ou convertir le physique à l'ontologique.

Comment l'interpolation de l'infini peut elle servir la raison dans sa tendance vers une plus parfaite rationalisation – vers l'*intellectus* ? C'est que la raison peut en user pour essayer de remplir les écarts, de faire dense la distance qui sépare les concepts. Grâce à cette densité (qui n'est jamais donnée qu'en puissance, qui n'est jamais actuelle) l'intelligence tente de passer d'un objet à l'autre sans changer de concept ; elle essaie de voir le divers dans le même. Elle s'efforce de passer de *un* à *deux* en interpolant toutes les séries convergentes qu'elle y peut concevoir ; elle tend ainsi vers une parfaite continuité de *un* à *deux*, vers ce « *continuum cujus partes ad unum terminum communem copulantur* ». Mais, si cette tentative pouvait aboutir, l'intelligence se heurterait à la contradiction : à l'identité de *un* et de *deux* ; ou encore, elle aurait converti l'hétérogénéité rationnelle des natures à l'homogénéité irrationnelle du continu. (De Koninck, 1945)

Il faut chercher le sens de cette tentative non dans son aboutissement (impossible, car il y aurait contradiction, purement et simplement ; le mode dialectique ne sort pas des limites de l'objet physique) mais dans son échec même : dans son mouvement vers une limite, notre intelligence tend vers l'universalité des intelligences séparées.

Elle s'efforce de se rendre semblable, autant que possible, à l'intellect déformé de la substance séparée, voire, d'imiter à sa façon la Sagesse suprême qui, dans une espèce intelligible unique, contient la plénitude de toute connaissance intellectuelle. (de Koninck, 1945)

La tendance à connaître, autant qu'il est humainement possible, la Sagesse première, oblige le physicien à faire usage de ce mode dialectique, platonicien de connaître. La méthode de M. Heller (2003) qui consiste à élever la causalité physique

in *Les sciences expérimentales sont-elles distinctes de la philosophie de la nature ?*, Culture, vol. 2, no 4, 1941, p. 465-476.)

⁵⁷ « Dans les choses naturelles, dit saint Thomas, rien n'est parfait aussi longtemps qu'il est en puissance ; une chose est absolument parfaite quand elle est en acte ultime ; dans l'état intermédiaire entre la puissance pure et l'acte pur, elle n'est pas absolument parfaite, mais relativement. Il en va de même pour la science. Or, la science que l'on a d'une chose en général seulement n'est pas une science complète selon l'acte ultime ; elle est quelque chose d'intermédiaire entre la puissance pure et l'acte ultime. Car celui qui sait une chose en général connaît d'une manière actuelle quelque chose de ce qui est la raison propre de cette chose, mais le reste, il ne le connaît qu'en puissance. Ainsi, celui qui ne connaît l'homme que selon qu'il est animal ne connaît en acte qu'une partie de sa définition, savoir le genre ; les différences constitutives de l'espèce, il ne les connaît pas encore en acte, mais seulement en puissance. D'où il suit manifestement que la science complète exige qu'on ne s'arrête pas aux généralités, mais qu'on procède jusqu'aux espèces... » Thomas d'Aquin, *Comm. in I Meteorologicorum*, lect. 1, n. 1.

⁵⁸ De Koninck utilise l'expression de mode platonicien de connaître (De Koninck 1945).

en cosmologie à son niveau ontologique, est-elle, finalement, autre chose que ce mode dialectique, platonicien de connaître, « abusivement porté à sa limite » ? Par conséquent, l'étonnante fécondité des mathématiques en physique n'est pas tant à justifier du côté de la causalité formelle : les mathématiques comme formes constitutives⁵⁹, mais dans ce processus rationnel⁶⁰, ce mode platonicien quasi *intellectualiter*⁶¹ de connaître. La raison de cette efficacité est donc d'ordre métaphysique.

Tout cela ne vaut pas dire qu'il faut faire de la Métaphysique en Philosophie de la Nature. La Nature dans une certaine mesure, est explicatrice d'elle-même ; mais c'est pour expliquer son ensemble qu'on fait appel à la Métaphysique. La Philosophie de la Nature peut expliquer elle-même ce dont il s'agit dans la Philosophie de la Nature, mais elle ne peut expliquer elle-même dans son ensemble.⁶²

De Koninck (1936) suggère de

considérer les anges comme penchés sur le Cosmos, comme s'amusant avec les nébuleuses.⁶³

Autrement dit, il propose de déduire le monde cosmologique du monde métaphysique. Cette déduction est certes purement théorique car elle consiste à lier ensemble, et après coup, ces deux mondes déjà connus. Elle repose sur un double courant, à la fois ascendant et descendant, à savoir le premier qui est dû à notre structure logique et le second qui est dans les choses. La nature pose l'Absolu dont dépend la nature. La thèse de De Koninck est que l'intelligibilité des mathématiques comporte une référence oblique, toujours positive, à un univers réel transcendant le cosmos ; l'univers des substances séparées⁶⁴.

- Les mathématiques sont dérivées par rapport aux esprits purs, qui constituent un système méta-mathématique qui nous fait songer aux archétypes de Platon, non en tant que nombre cependant ;
- Les mathématiques pures reconstruisent de l'unité, tandis que l'unité des esprits purs est achevée. Les esprits purs réalisent de façon transcendante l'idéal du mathématicien. Et dans la mesure où les mathématiques reconstruisent de l'unité, dans cette mesure les esprits purs réalisent l'idéal des mathématiques. C'est en cela qu'il faut voir la tendance réaliste des mathématiques et leur supériorité vis-à-vis de la cosmologie.

⁵⁹ Les sciences physico-mathématiques démontrent par la seule cause : « De la manière dont nous l' avons décrit dans sa formule et dans ses conséquences, il ressort suffisamment que le principe de causalité physique est loin d'être synonyme de la causalité telle que nous en parlons en philosophie. Il me semble que la causalité dont on pourrait parler à propos des sciences expérimentales en philosophie des sciences ressemble uniquement à la causalité formelle que nous retrouvons d'ailleurs à un état plus pur en mathématiques. Elle n'exprime que la cohérence métrique des phénomènes. » De Koninck 1937 « Le problème de l' indéterminisme » Rapport de la sixième session de l'académie canadienne Saint-Thomas-d'Aquin 1935, L' action sociale catholique, 1937, p. 65-159. Il renvoie à Thomas d'Aquin *Comm. in I Post. Anal.*, lect. 25, n. 4.

⁶⁰ Selon A. N. Whitehead, la physique moderne a substitué la notion de « forms of process » à la notion aristotélicienne de « procession of forms ». D'où la Remarque : « The fashionable notion that the new physics has reduced all physical laws to the statement of geometrical relations is quite ridiculous ». Alfred North Whitehead. "Forms of Process." Lecture Five in *Modes of Thought*. New York: Macmillan (1938): 117- 142.

⁶¹ Par mode *intellectualiter*, il faut entendre le mode de procéder de la métaphysique tel que Thomas d'Aquin l'expose dans son commentaire *Super Boetium de Trinitate*, q. VI, a. 1)

⁶² De Koninck, *Biologie Philosophique*, notes de cours de Eugène Badin, 1935-1936

⁶³ De Koninck, *Biologie Philosophique*, notes de cours de Eugène Badin, 1935-1936

⁶⁴ Voir le travail de Tiziana Suarez-Nani sur la fonction cosmologique des substances séparées à la fin du XIII^e siècle, *Les anges et la philosophie*, Vrin, 2002.

- Elles sont d'un ordre de logique pure qui se tient du côté du préter-naturel. Les spéculations dans ce domaine, i.e. sur la structure de l'univers spirituel, pourront nous faire mieux comprendre la fécondité des mathématiques en sciences expérimentales⁶⁵.

Ainsi, les substances séparées agissent dans le monde cosmologique. Or les mathématiques dérivent des substances séparées. D'où leur étonnante fécondité en physique.

Concluons avec De Koninck (1935):

Le conflit autour de la relativité renferme une morale et pour le philosophe et pour le physicien. Il a montré combien il est difficile de bien savoir de quoi l'on parle. Que le premier aussi bien que le second ne présume pas savoir tout ce qu'ils prétendent savoir. Cette théorie a également démontré que notre connaissance de l'univers est beaucoup moins pénétrante que nous ne le pensions ou encore que l'univers est beaucoup plus profond que nous ne le pensions. Nous érigeons si facilement les évidences sensibles en évidences intelligibles. La connaissance scientifique constitue avant tout une précision de notre ignorance. C'est par la conscience vécue de notre insondable ignorance – car Dieu seul sait combien nous ne savons pas – que nous participons au règne des intelligences.⁶⁶

⁶⁵ De Koninck, *Biologie Philosophique*, notes de cours de Eugène Badin, 1935-1936

⁶⁶ De Koninck, Conférence manuscrite sur la relativité einsteinienne, 1935

POST-REMARQUE

Il faut souligner qu'il existe, selon Thomas d'Aquin⁶⁷, une toute première connaissance de Dieu, une connaissance confuse, à laquelle tout homme peut facilement parvenir sans avoir nullement besoin du recours de la science et de la philosophie :

L'homme peut d'emblée (*statim*) parvenir par la raison naturelle à une certaine connaissance de Dieu. Voyant que le cours des choses naturelles obéit à un certain ordre déterminé, et que tout ordre présuppose un certain ordonnateur, les hommes, en général, perçoivent qu'il existe un certain ordonnateur au principe des choses qu'ils voient.

C'est donc la saisie de l'ordre de l'univers par l'expérience la plus commune et familière qui sert de principe et de fondement permanent à toute connaissance de Dieu. Le mot « Dieu » peut servir de principe à connaissance naturelle de Dieu pour autant qu'il se trouve lui-même antérieurement connu par la raison. Le mot « Dieu » pris en sa signification commune se trouve cependant formé à partir de cette première connaissance que nous avons de l'ordre manifeste des choses sensibles.

Il en est de même pour le mot « cause ». Et, le point crucial est que le sens technique ne devrait jamais être séparé de sa conception commune, ni lui être substitué. En d'autres termes, selon les mots de De Koninck⁶⁸ :

when a name that stands for a common conception is thereafter used for its elaborated definition as if the definition henceforth became its first and sole meaning we are on the way to a system, and the first and final term of resolution would be to that name, divorced from what we really know before inquiry. We would in fact have as many irreducible systems as there are languages, and within each language there would be as many systems as there are diverse meanings of the words referred to in that way. Yvon Belaval⁶⁹ calls this procedure a "mécanisme de compensation qui concrétise dans le verbe ce qui se déconsiste dans le sens."

⁶⁷ Saint Thomas d'Aquin, *in III Contra Gent.*, c. 38.

⁶⁸ De Koninck 1964, *in Three Sources of Philosophy*, Catholic University of America, 1964.

⁶⁹ Yvon Belaval 1952, *in Les philosophes et leur langage*, Gallimard, 1952, p.67.

REFERENCES

- ANSCOMBE, Gertrude Elizabeth Margaret [1993]. *Causality and Determination*, In E. Sosa M. Tooley (ed.), *Causation*, Oxford University Press, Oxford, 1993.
- ARISTOTE, *Physic.*, III, 4, 203b15-25, traduction française H. Carteron, Belles Lettres, Paris, 1973.
- BELAVAL , Yvon [1952]. *Les philosophes et leur langage*, Gallimard, 1952, p.67.
- BELL, John [1987]. *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, Cambridge, Cambridge University Press, 1987.
- BOIS, Eric. and TRELUT, Eric [2006]. *The Impact of the Chrono-geometrical Structure of Spacetime on Causality*, in *Revue des Questions Scientifiques*, sous presse, 2006.
- BOIS, Eric [2010]. *Un déterminisme affranchi de la contrainte de prédictibilité*, in *Eikasia*, 35, pp. 21-53, 2010.
- BUNGE, Mario [1979]. *Causality and Modern Science*, Dover, New York, 1979.
- CARNAP, Rudolph [1925]. *Über die Abhängigkeit der Eigenschaften des Raumes von denen der Zeit*, *Kant-Studien* 30: 331–345, 1925.
- CARTWRIGHT, Nancy [1979]. *Causal laws and effective strategies*, in *Nous*, 13:419–437, 1979.
- CARTWRIGHT, Nancy [1983]. *How the Laws of Physics Lie*, Clarendon Press, Oxford, 1983.
- CARTWRIGHT, Nancy [1989]. *Nature's Capacities and their Measurement*, Clarendon Press, Oxford, 1989.
- CURIEL, Erik [2000]. *The Constraints General Relativity Places on Physicalist Accounts of Causality*, in *Theoria*, 15(1):115—160, 2000.
- DE KONINCK, Charles [1935]. *Conférence sur la relativité einsteinienne*, texte manuscrit, 1935.
- DE KONINCK, Charles [1936]. *Biologie Philosophique*, notes de cours de Eugène Badin, 1935-1936.
- DE KONINCK, Charles [1937]. *Le problème de l'indéterminisme*, in *Rapport de la sixième session de l'académie canadienne Saint-Thomas-d'Aquin 1935*, L' action sociale catholique, 1937, p. 65-159.
- DE KONINCK, Charles [1937]. *Réflexions sur le problème de l'indéterminisme*, in *Revue Thomiste*, 43, 1937.

DE KONINCK, Charles [1938]. <http://www.scribd.com/doc/7815329/folder-32-part-6>

DE KONINCK, Charles [1941]. *Les sciences expérimentales sont-elles distinctes de la philosophie de la nature ?*, in *Culture*, vol. 2, no 4, 1941, p. 465-476.

DE KONINCK, Charles [1945]. *La dialectique des limites comme critique de la raison*, in *Laval théologique et philosophique*, vol. I, n. 1, 1945.

DE KONINCK, Charles [1946]. *Concept, Process and Reality*, in *The writings of Charles de Koninck*, edited and translated by McInerney Ralph, Notre Dame, University of Notre Dame Press, Indiana 2008.

DE KONINCK, Charles [1956]. *Random Reflections Random Reflections on Science and Calculation*, in *Laval Théologique et Philosophique* 12 (1956) 84-119.

DE KONINCK, Charles [1960]. *The hollow universe*, Oxford University Press, London, 1960.

DE KONINCK, Charles [1961]. *The Unity and Diversity of Natural Science*, in *The Philosophy of Physics*, ed. V. E. Smith, pp. 5-24.

DE KONINCK, Charles [1964]. *Three Sources of Philosophy*, Catholic University of America, 1964.

DE KONINCK, Charles [2008]. *The writings of Charles de Koninck*, Volume 1 edited and translated by McInerney Ralph, Notre Dame, University of Notre Dame Press, Indiana 2008.

DE KONINCK, Charles [2009]. *Œuvres de Charles De Koninck, Tome I, Philosophie de la nature et des sciences*, Avant-propos de Thomas De Koninck, présentation par Yves Larochelle, Québec, Presses de l'Université Laval, 2009.

DEBRU, Claude [2003]. *Causalité, temporalité, fonction. Kant, Helmholtz, Mach*, in Viennot, Laurence et Debru, Claude (éds.), *Enquête sur le concept de causalité*, Collection « Sciences, histoire et société », Presses Universitaires de France, Paris, 2003.

DESCARTES, René [vers 1663]. *Le Monde ou Traité de la lumière*, ch. VII, in *Œuvres philosophiques*, t. I, éd. F. Alquié, Garnier, 1963, pp. 349-350.

EDDINGTON, Arthur Stanley [1942]. *The Nature of the Physical World*, J. M. Dent & sons Ltd., London, 1942.

EDDINGTON, Arthur Stanley [1929]. *Space, Time, and Gravitation*, Cambridge, 1929.

EINSTEIN, Albert [1949]. *Autobiographical Notes*, in P. Schilpp ed., *Albert Einstein : Philosopher – Scientist*, 1949.

EINSTEIN, Albert [1980]. *Autoportrait*, Traduction de Frédérique, Lab Interéditions, Paris, 1980.

EINSTEIN, Albert and PLANCK, Max [1932]. *Where is Science Going?*, translated and edited by James Murphy, New York, Norton, 1932, pp. 201–202.

EMMECHE, Claus [2000]. *Levels, emergence and three versions of downward causation*, In Andersen, P B, Emmeche, C , Finnemann, N O, Chistiansen, P V (eds) *Downward Causation Minds, Bodies and Matter*, Aarhus, Aarhus University Press, pp 13-34

ESPINOZA, Miguel [2006]. *Théorie du déterminisme causal*, L'Harmattan, Paris, 2006.

FOLLON, Jacques [1988]. *Réflexions sur la théorie aristotélicienne des quatre causes*, *Revue Philosophique De Louvain* 86 (3):317-353.

FRISCH, Mathias [2008]. *Causal Reasoning in Physic*, in *Causation Workshop* Pittsburgh, PA; January 26, 2008.

GAGNON, Maurice [1975]. *Une analyse sémantique du concept de causalité est-elle possible?*, *Philosophiques*, vol. 2, n° 2, 1975, p. 187-205.

GRÜNBAUM, Adolf [1973]. *Philosophical Problems of Space and Time*, 2nd ed. D. Reidel, Dordrecht, 1973.

HELLER, Michael [2003]. *Creative tension : essays on science and religion*, Pa.: Templeton Foundation Press. xii, Philadelphia, 2003.

HULSWIT, Menno [2002]. *From cause to causation : a Peircean perspective*, in *Philosophical studies series*, London: Kluwer Academic. xxi, Dordrecht, 2002.

HULSWIT, Menno [2005]. *How Causal is Downward Causation?* In *Journal for General Philosophy of Science* 36 (2):261 – 287, 2005.

KISTLER, Max. [1999]. *Causalité et lois de la nature*, in *Collection Mathesis*, Vrin, Paris, 1999.

KLEIN, Etienne [2010]. *What does the “arrow of time” stand for?* In *Natural Science*, Vol.2, No.3, 212-219, 2010.

LAMBERT, Dominique [1996]. *Recherches sur la structure et l'efficacité des interactions récentes entre mathématiques et physique*, Thèse de doctorat en philosophie, Université de Louvain-la-Neuve, 1995-1996.

LAPLACE, Pierre Simon [1814]. *Essai philosophique sur les probabilités* parue comme introduction à la 2ème éd. de la *Théorie analytique...*, 1814 (réimpression, Culture et Civilisation, Bruxelles, 1967) ; rééd. modifiées jusqu'en 1825. Nlle éd., augm. de mémoires, préface de René Thom, postface de Bernard Bru, Bourgois, Paris, 1986.

- LARGEAULT, Jean [1985]. *Systèmes de la nature*, Preface by René THOM, Vrin, Paris, 1985
- MARITAIN, Jacques [1935]. *Distinguer pour unir : ou, les degrés de savoir*, Desclée de Brouwer, Paris, 1932.
- MILLER, Richard W. [1987]. *Fact and Method: Explanation, Confirmation, and Reality in the Natural and the Social Sciences*, Princeton University Press, Princeton, 1987.
- OLIVE, Julien, and CLEMENTZ, François [2009]. *L' Efficience De La Cause: Le Concept D'efficience Naturelle Dans La Physique Antique Et Classique*, S.l.: s.n., 2009. Print.
- PAPINEAU, David [1985]. *Causal asymmetry*, Brit. J. Phil., 36:273–89, 1985.
- PAPINEAU, David [1986]. *Causal factors, causal inference, causal explanation*, Aristotelian Society Supplementary Volume, LX:115–36, 1986.
- PAPINEAU, David [1989]. *Pure, mixed and spurious probabilities and their significance for a reductionist theory of causation*, in P. Kitcher and W. Salmon, editors, *Scientific Explanation : Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, volume XIII, pages 307–48, University of Minnesota Press, Minneapolis, 1989.
- PAPINEAU, David [1991]. *Correlations and causes*, Brit. J. Phil., 42:397–412, 1991.
- PAPINEAU, David [1993]. *Can we reduce causal direction to probabilities?* in M. Forbes D. Hull and K. Okruhlik, editors, *PSA 1992*, volume 2, pages 238–52. East Lansing, Philosophy of Science Association, 1993.
- PATY, Michel [2003]. *La notion de déterminisme en physique et ses limites*, in Viennot, Laurence et Debru, Claude (éds.), *Enquête sur le concept de causalité*, Collection « Sciences, histoire et société », Presses Universitaires de France, Paris, 2003.
- PELLEGRIN, Pierre [1994] *Aristote et la physique éléate*, in *Passion des Formes. Dynamique qualitative, sémiophysique et intelligibilité*. A René Thom, Fontenay-Saint Cloud ENS, 1994.
- PLOTIN [vers 254], *Les Ennéades*, 10 (V, 1), 3, 19 sq., trad. F. Fronterotta, G-F Flammarion, 2003.
- POINCARÉ, Henri [1968]. *La science et l'hypothèse*, Flammarion, Paris, 1968.
- POPPER, Karl R. [1982]. *Post-scriptum à La Logique de la découverte scientifique : II. L'Univers irrésolu. Plaidoyer pour l'indéterminisme*. Avant-propos by William Warren BARTLEY. Traduction de BOUVERESSE, Renée, Hermann, Paris, 1984.
- REICHENBACH, Hans [1922]. *Philosophic foundations of quantum mechanics*, University of California Press, Dover, 1998.

ROBB, Alfred A. [1914]. *A Theory of Space and Time*, Cambridge University Press, Cambridge, 1914.

RUSSELL, Bertrand [1912]. *On the Notion of Cause*, in Proceedings of the Aristotelian Society, The Aristotelian Society, 1912.

SAINT THOMAS D'AQUIN. In *Aristotelis libros: de caelo et mundo de generatione et corruptione meteorologicorum exposition*, Marietti, Taurini, 1952.

SAINT THOMAS D'AQUIN. In *Octo libros physicorum Aristotelis exposition*, Marietti, Taurini, 1965.

SAINT THOMAS D'AQUIN. In *Opuscula theologica, Accedit expositio super boetium de Trinitate et de hebdomadibus Volumen II, De re spirituali*, Marietti, Taurini, 1954.

SAINT THOMAS D'AQUIN. In *Quaestiones disputatae*, Volumen I, *De veritate*, Marietti, Taurini, 1964.

SAINT THOMAS D'AQUIN. In *Summa contra gentes*, Editio Leonina Manualis, 1934.

SAINT THOMAS D'AQUIN. In *Summa theologica, diligenter emendata, de Rubeis, billuart et aliorum, notis selectis ornate*, Marietti, Taurini, 1932.

SALMON, Wesley C. [1970]. *Statistical Explanation and Statistical Relevance*, University of Pittsburgh Press, 1970.

SALMON, Wesley C. [1984]. *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*, Princeton University Press, 1984.

SUAREZ-NANI Tiziana [2002]. *Les anges et la philosophie*, Études de Philosophie Médiévale, LXXXII, Vrin, Paris, 2002.

SUPPES, Patrick [1970]. *A Probabilistic Theory of Causality*, North Holland, Amsterdam, 1970.

TOOLEY, Michael [1987]. *Causation : A Realist Approach*, Clarendon Press, 1987.

WHITEHEAD, Alfred North [1968]. *Forms of Process*, Lecture Five in *Modes of Thought*. The Free Press, New York, 1968.

WOODWARD, James [1992]. *Realism about laws*, in *Erkenntnis*, 36:181–218, 1992.