



HAL
open science

La causalité entre physique et métaphysique. Quand sonnent les cloches de Bell

André Sarrazin

► **To cite this version:**

André Sarrazin. La causalité entre physique et métaphysique. Quand sonnent les cloches de Bell. Philosophie. Université de Poitiers, 2020. Français. NNT : 2020POIT5023 . tel-03815855

HAL Id: tel-03815855

<https://theses.hal.science/tel-03815855>

Submitted on 15 Oct 2022

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

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

Thèse

La causalité entre physique et métaphysique

Quand sonnent les cloches de Bell

Par

André Sarrazin



sous la direction de MM.

Camille Riquier

Professeur à l'Institut Catholique de Paris

Sylvain Roux

Professeur à la Faculté de Philosophie de Poitiers

Institut Catholique de Paris, Université de Poitiers
Décembre 2020

Summary

The purpose of this work is:

- To establish and defend a definition of causality that we will call objective or rational, which takes into account the current state of physics, which is both encompassing in relation to known definitions and restrictive in relation to the concepts used.

- To identify the characteristics of a causality which we will call subjective or pragmatic which introduces in particular the notions of efficiency, responsibility, intention, causality of absences, and links strongly plurivocal entities (events, states, facts, objects).

- To show that the sterility of a large part of contemporary debates on causation stems from attempts to reduce one causality to the other, and in particular to want to apply the constraints of objective definition to the numerous definitions of subjective causation.

We will distinguish:

Part 1, Philosophy

a) Towards renouncing the understanding

After the study of Aristotle and the rapid mentions of the critics of Montaigne, David Hume will provide us with the pretext for a detailed study of the first serious attack. The defense of causation by Wolf will make the link with Kantianism.

Part 2, Physics

a) Towards the last decimal

Forcing ourselves to a very brief backtrack we will deal with the theme of

Summary

causality through the scientific gaze, chronologically until the revolution that Planck unintentionally generated. The aim of the research was then to pursue causality to the last decimal place, after which the knowledge of the chain of effects and causes in the universe was complete.

b) The abandonment of the locality

The claim of absolute accuracy having been abandoned before being demonstrated as impracticable, other concepts which were previously necessary for the existence of causation but which had never been associated with it were called into question. Time and space lost their absolute quality, energy exchanges lost their continuity, and the locality inherent in the objects was called into question. We will examine the consequences both at the microscopic level and at the macroscopic level using for this last level, the study of a work by Prigogine.

Part 3, Philosophy

a) Determinism

After an overview of physical theories we will return to contemporary philosophy. The previous part leading to separate the analyzes of causality and determinism we will conclude on the latter after having confronted our vision with authors having treated the subject.

b) The New Debates

The new approach to the Hume problem will be illustrated by a study of books by Russell and Carnap. We will see that they open the way to the possibility of distinguishing between the two conceptions, here called objective and subjective, because they raise the impossibility of defining a single concept which they nevertheless want to keep.

c) Subjective vs objective causation

A study of three two contemporary articles will provide by the synthesis of the remarks which will be formulated a delimitation of the necessary additional studies. This will address the problems of *relata causa* and the concepts of states and events.

Definitions of causality in contemporary times (Causality INUS, causality MT, etc.) will make it possible to list the properties of this causality, which cannot be precisely defined, but which brings together a bundle of convergences.

To express the level of detail in the description of the part of the universe, we will retain the simple translations of the Anglo-Saxon terms *coarse-grained* and

fine-grained in coarse or fine grain, which by their reminder of the photographic technique seem adapted. We will try to show how the choice of grain is determining in the intention and is determined by the context, scientific or legal for example.

We will try to demonstrate:

- That the problems related to the nature and the number of causal relationships, are a simple result of the size of the grain retained.

- That causality poses problems of transitivity, joint causes, simultaneous effects and counterfactuality only if it is considered as a relationship and not as a process of transition from one state of the universe to another

- That the origin of contemporary problems concerning causation can be explained by the hiatus between the two objective and subjective conceptions. And how the second is used to express either pragmatic judgments or liability judgments, and how it uses for this a variation in the level of grain and the causality of absences (Grouchy absent, cause of Waterloo)

d) Contemporary causality

Keeping the definition that we have proposed, we will show that it solves the previous problems of relation and relate a definition of causality. We will also try to compare our definition with that which approaches it in particular that of M. Kistler, theory of the quantity kept, and to make an immediate criticism of it to conclude on the domain.

e) It will then be possible to conclude that

- It is possible to define an objective causality in a very unequivocal way, but such a definition has little use even in the scientific world because it depends on the concept of law. It only finds it when it comes to synthesizing the action of several laws or explaining a result with an unknown mechanism but found statistically

- Determinism is only a statistical determinism. This is due both to the insurmountable indeterminacy of the initial conditions and to the statistical and not local character of the laws of physics.

- It is pointless to want to define unequivocally a subjective causality since neither the type of relation nor the relationships are definable in this way. However, this notion is useful because it expresses experience or judgment. In this sense, the notion of causality joins that of a practical concept to be opposed to the rational concept that would be objective causation.

Summary

- The determinism linked to subjective causality is not obviously not absolute but it is above all translated in terms of luck or miracle, the discourse above all relating to the appearance of phenomena which are unlikely.

- The problem of causality is close to that of truth.

Laissons parler Yves Bonnefoy : «Je dédie ce livre à l'improbable, c'est-à-dire à ce qui est. A un esprit de veille. Aux théologies négatives. A une poésie désirée, de pluies, d'attente et de vent. A un grand réalisme, qui aggrave au lieu de résoudre, qui désigne l'obscur, qui tienne les clartés pour nuées toujours déchirables. Qui ait souci d'une haute et impraticable clarté¹». Il a semblé plus naturel de citer sa dédicace à *L'Improbable et autres essais* plutôt que de la paraphraser. Ici nulle comparaison. Les différences entre son œuvre et la présente thèse sont si grandes que personne ne pourra accuser son auteur de s'abriter sous un patronyme hors de sa portée. Simplement une possible communauté d'intentions, pour quelqu'un qui n'est pas poète, qui n'a jamais pu entrer dans l'œuvre de Bonnefoy ou de Celan, qui revendique l'épiderme des pachydermes de ce que Jean Philopon appelle « les imbéciles, êtres à la peau épaisse, dont la peau est un cuir ».

Cela est possible car du point de vue de l'éléphant, Bonnefoy aurait pu préfacier un livre de physique contemporaine. Il a même évité l'embarras d'une majuscule, celle mise à Improbable dans le titre, mais non reprise dans le texte cité. Tout y est, du souci de la clarté au savoir qu'elle n'est jamais qu'un futur besoin d'approfondissement, du fait que l'improbable est la réalité jusqu'au désir d'un réalisme qui aggrave au lieu de résoudre. Il y manque peut-être l'émerveillement.

C'est cette certitude de l'incertain que voudraient pouvoir transmettre les pages qui vont suivre.

La notion de cause dont il sera question dans ces pages peut déjà être abordée, certes l'auteur est la cause efficiente de sa thèse, la soutenance sa cause finale, le

¹ Yves Bonnefoy, *L'Improbable et autres essais*, folio, essais, Paris, 1992

Summary

papier et l'encre forment la cause matérielle et les concepts exprimés la cause formelle, mais un tel ouvrage a des causes plus lointaines, l'idée du doyen de la faculté de philosophie de l'Institut Catholique de Paris de créer un vrai (sous-entendu complet et sans complaisance) cursus universitaire de philosophie en soirée et le weekend convenant à ceux qui avaient par ailleurs une activité professionnelle ainsi que le dévouement dont faisait preuve une équipe pédagogique confrontée à un public difficile dans des horaires improbables. Que soient donc remerciés en particulier, non pour être cause lointaine de ce qui va suivre, il ne faut en aucun cas les tenir pour responsables, mais pour leur croyance en la possibilité de transmettre une connaissance, Monsieur J. de Gramont, initiant à Platon entre 20h et 22h les soirs d'hiver, Madame E. Tardivel pour avoir exposé les subtilités de Descartes à des étudiants qui se jugeaient cartésiens, Monsieur C. Riquier pour son art de présenter clairement les textes de Kant et Monsieur Sharkey pour celui de la transversalité. Un remerciement plus personnel de l'auteur à Monsieur D. Arbib qui a tenté de lui inculquer une certaine rigueur de présentation, et au père Peridy qui lui a montré en épistémologie un modèle de rationalité dont l'exigence dépasse ses capacités.

Mes remerciements spécifiques au présent ouvrage vont à Monsieur M. Kistler qui m'a autorisé à suivre son séminaire sur la causalité à l'IHPST en 2017, à Monsieur T. Boyer-Kassem pour ses critiques constructives, et à Messieurs C. Riquier et S. Roux dont les conseils et le soutien ont été précieux durant l'élaboration de ce travail.

Abréviations

Des considérations de lisibilité des notes ont conduit à remplacer l'intitulé complet d'un ouvrage par un abrégé, ainsi sont employés :

EEH Pour, David Hume, *Enquête sur l'entendement humain*, présentation et note M. Beyssade, Paris, GF Flammarion, 2006.

CRP Pour, Kant, *Critique de la raison pure*, traduction Alain Renault, Paris, GF-Flammarion, 2006.

LG Pour, Pascal, *Œuvres complètes (tomes I et II)*, édition Michel Le Guern, Paris, Gallimard, La pléiade, 2000

LFC Pour, I. Prigogine, *La fin des certitudes*, Paris, Odile Jacob, 2001.

M&L Pour, B. Russell, *Mysticisme et logique*, Paris, Vrin, 2007.

FPP Pour, R. Carnap, *Les fondements Philosophiques de la Physique*, Nancy, Berger-Levrant, U épistémologie, 1973.

CLN Pour, Emile Boutroux, *De la contingence des lois de la nature*, Paris, Ancienne librairie Germer, 1898.

Summary

Introduction

La métaphysique et la physique, qu'elles soient considérées en continuité ou en rupture sont étroitement liées. Déjà dans l'œuvre d'Aristote, le recueil des quatorze opuscules regroupés par Andronicos de Rhodes sous le nom de *Métaphysique* a pu être considéré comme venant après la *Physique* dans « la progression de la connaissance² ». L'achèvement de l'étude de la nature, à la fin de la *Physique* finit par conduire à une science « qui s'interroge sur des principes plus élevés encore ». Privilégier la continuité est cohérent puisque le dernier livre de la *Physique* traite du premier moteur non mu, donc d'une question qui se pose logiquement après avoir épuisé l'étude du sensible et qui dépassant l'expérience, prélude au métaphysique.

Cependant Aristote ne connaissait pas le terme de métaphysique et parle d'une science plus fondamentale que les autres qu'il nomme *proté philosophia*. Elle porte sur « l'être en tant qu'être et les attributs qui lui appartiennent essentiellement³ ». Il exclut de son périmètre les autres sciences en tant qu'elles n'étudient que la relation de l'attribut avec une des parties de l'être, il exclut également les mathématiques qui ne concernent que les nombres et les grandeurs. L'étude sur l'être le conduit à s'interroger sur celui-ci, sur ses causes et sur la cause première.

Physique et métaphysique

Il n'en demeure pas moins que, même si l'on considère que le préfixe méta n'est pas l'indice d'une continuité mais d'une rupture, qu'il ouvre vers un 'arrière monde' « peuplé de dieux, d'anges et d'êtres de raison⁴ », il reste justifié de s'interroger sur ce que la physique apporte à la métaphysique et peut être, pour être plus efficace, sur ce qu'elle lui interdit. En effet, même s'il souhaite surmonter la pensée métaphysique, le philosophe ne peut s'empêcher de construire une

² P. Aubenque, *Le problème de l'être chez Aristote*, Paris, PUF, 1964, p. 29 et s

³ Aristote, *Métaphysique*, Traduction de J Tricot, Paris, Vrin, bibliothèque des textes philosophiques, 2003, livre G, p 171, en abrégé ensuite *Métaphysique*

⁴ Jean Grondin, *Introduction à la métaphysique*, Québec, Presses de l'université de Montréal, 2004, p.

philosophie première « porteuse d'une pensée plus rigoureuse du réel ⁵ ». C'est bien ainsi d'ailleurs qu'Aristote ouvre le livre A de la métaphysique, il y énumère, pour les critiquer « les opinions de ceux qui avant nous, se sont engagés dans l'étude des êtres ⁶ » et reconnaît qu'ils n'ont cherché, comme principe de toutes choses, que des principes de nature matérielle. Ainsi ils ont retenu l'eau, les quatre éléments ou une infinité de principes. « Mais à ce point de leur marche, la réalité elle-même leur traça la voie et les obligea à une recherche plus approfondie ». Et de fait, voir ainsi qu'Aristote, l'être comme une combinaison de substance et d'accidents et la substance comme l'union d'une matière et d'une forme est compatible avec les observations qu'il rapporte. Sa critique de Démocrite lui reproche d'avoir choisi pour sa théorie une origine rationnelle et non empirique : les atomes qu'il suppose permettent d'expliquer les différences de l'être mais ils ne sont pas observables.

Aristote a affirmé que si seuls les êtres naturels existaient, la physique serait la première sagesse⁷. Comme il y a des êtres au-delà de celle-ci, c'est la science qui les étudie qui est première. L'objet principal de la métaphysique devient alors pour lui la théologie. Mais cela ne remet pas en cause l'analyse précédente et l'on peut considérer que par le canal de l'analyse des causes et de l'ontologie, le dialogue de la science et de la métaphysique ne faisait que commencer. Interroger l'être en tant qu'être, commence d'abord par s'interroger sur la physique des étants. Sur un monde concret plus que sur un monde possible.

Pour l'application de cette démarche en philosophie moderne, on pense immédiatement aux *principes de philosophie* qui « donnent à lire le lien indissoluble que Descartes établit entre physique et métaphysique⁸ ». Dans les *principia* et les *méditations* se retrouvent par exemple les mêmes réflexions sur ce qui est l'unique caractéristique essentielle des corps, l'extension. Descartes s'en servira pour justifier la différence entre la chose pensante et la chose étendue. Dans la lettre à Mersenne du 15 avril 1630, il indique « avoir trouvé comment on peut démontrer les vérités métaphysiques d'une façon qui est plus évidente que les démonstrations de géométrie ». D'un autre côté même si les principes ont été lus

⁵ *Idem*, p. 13

⁶ *Métaphysique*, A 3, 983 b

⁷ M. Bonelli, *Physique et métaphysique chez Aristote*, Paris, Vrin, Histoire de la philosophie, 2012, citation de l'introduction

⁸ Laurence Devillairs, *La lecture des Principia philosophiae de Descartes*, Paris, revue d'histoire des sciences, 2005, Vol 58, p. 7

comme un traité de physique, ils appuient la vérité de la conservation de la quantité de mouvement sur « la fermeté et même l'immutabilité qui est en Dieu ».

A l'époque contemporaine le discours métaphysique s'est-il détaché du discours scientifique ? Les trois derniers auteurs cités par J. Grondin dans son *Introduction à la métaphysique* sont Derrida, Sartre et Levinas. Il conclut par ailleurs que « La métaphysique est bel et bien une idée de la séparation, de l'opinion et de la pensée, de l'idée et du sensible,..., mais aussi séparation de la philosophie première de tous les autres types de science, voire de toute science ⁹ ». Peut-on considérer au contraire que le lien entre la physique et la métaphysique n'a jamais été aussi fort comme le suggère les écrits de A. Ney, auteur d'une *introduction à la métaphysique* et d'un essai sur la métaphysique de la mécanique quantique¹⁰ où elle liste les nouveaux problèmes que celle-ci apporte à la sagacité de celle-là.

Dans la *Revue de la société de philosophie des sciences*¹¹, Madame C. Tiercelin propose quelques « règles de bonne conduite mutuelles ». Elle rappelle le « vertige scientifique » tentant de répondre à des questions qui ne sont pas de son ressort en déniait de plus la légitimité d'autres types d'approches du réel. *A contrario* elle rappelle qu'en métaphysique l'on est assez vite suspecté de « scientisme », non pas pour respecter la science, mais pour ne pas vouloir inclure « des traits inéliminables de la philosophie du langage ».

Face à ces deux tendances elle rappelle l'objectif de Quine ou de Putnam dans les années 1970, « dédramatiser les relations sciences et philosophie, affirmer que «les seuls doutes théoriques sont les doutes scientifiques ». La science, nous citerons souvent des phrases allant dans le même sens, est « bien plus qu'un corps de connaissance ou une doctrine, c'est une activité de découverte ¹² ». Egalement en métaphysique, dogmes et systèmes ne sont plus guère de mise, la recherche s'orientant davantage vers la façon de comprendre la relation avec le réel. De ce constat découlent plusieurs conséquences :

- Les accusations sont exagérées qui disent que les métaphysiciens ont perdu tout esprit empiriste. Il suffit pour cela de se pencher sur l'ouvrage de J. Ladyman

⁹ Jean Grondin, *Introduction à la métaphysique*, Québec, Presses de l'université de Montréal, 2004, p364

¹⁰ cf. bibliographie

¹¹ Claudine Tiercelin, *La métaphysique et les sciences*, Paris, Lato sensu, revue de la société de philosophie des sciences, vol 3 n° 1 2016, <http://dx.doi.org/10.20416/lrsrps.v3i1.583>

¹² Phrase attribuée ici par C. Tiercelin à Charles Sanders Pierce.

et Don Ross, *Every thing must go*¹³ qui tentent au nom de la métaphysique bien comprise, d'unifier les thèses prises au sérieux par la science contemporaine. Mais « la relativité ne doit pas dicter la métaphysique du temps, ni la physique quantique celle de la substance ».

- Les scientifiques font des postulats métaphysiques. Cela est particulièrement perceptible dans les ouvrages de cosmologie. Qu'il y ait au début de l'univers une singularité initiale ou que celui-ci n'ait pas de bords, il est nécessaire de replacer la théorie dans un cadre qui ne peut être testé par l'expérience. Les modèles de multi-univers sont significatifs à cet égard puisqu'ils postulent que des univers séparés existent sans communication possible entre eux (avec en conséquence de multiples variantes).

- La métaphysique traite du possible, c'est-à-dire de ce qui est mais aussi de ce qui pourrait être. Et C. Tiercelin de citer Jean Duns Scot pour qui la métaphysique doit s'assurer du 'réel-possible' en fondant la possibilité sur la réalité existante, et non l'inverse et en raisonnant sur le seul possible.

- Il subsiste une 'tentation aprioriste' que l'on a pu reprocher d'ailleurs à Duns Scot et qui conduirait « à une métaphysique en apesanteur ». Mais tout métaphysicien souhaitera savoir si les « catégories de la pensée et du langage sont, non pas de simples fonctions du jugement », mais « le reflet des catégories de la réalité ».

Il s'agit donc de construire sur ces bases les conditions d'existence d'une métaphysique scientifique, ce que Mme Tiercelin va expliciter en deux principes :

- La métaphysique ne doit pas rentrer en conflit avec la science. Nous avons déjà souligné ce point, nous aurions tendance cependant à le limiter en considérant que la métaphysique ne peut défendre des théories dont la science a prouvé la fausseté. Il semble qu'il était légitime pour des métaphysiciens de contester l'argument de Galilée prouvant par l'existence des marées la rotation de la terre. Il leur suffisait de montrer que cela ne produisait qu'une seule marée par jour et était en contradiction avec la dynamique du même Galilée. La science n'est pas un guide infaillible. Comme le montre l'exemple précédent le métaphysicien peut user d'arguments scientifiques, mais il peut aussi montrer que ce que le savant produit comme résultat métaphysique à sa théorie n'est pas nécessaire à celle-ci. Concevoir

¹³ James Ladyman, Don Ross, *Every thing must go*, Oxford, Oxford UP, 2007

l'espace comme le réceptacle des objets, ce qui est sommairement résumer la théorie de Newton, n'autorise pas celui-ci à le caractériser comme *sensorium Dei*.

- Il faut admettre les contraintes de cohérence que la métaphysique fait peser sur la science. Cette exigence est curieuse, l'on s'attendrait à ce qu'une contrainte de cohérence soit d'abord exigée par la science. Elle a cependant un fondement ontologique, la science peut parfaitement se borner à une tâche de prédictions et de rétrodictions, en considérant que les entités qu'elle traite n'ont pas d'existence. Qu'il n'y a pas besoin de théorie générale et que par ailleurs les données empiriques ne sont pas suffisantes pour déterminer complètement les théories scientifiques, (la théorie englobe le réel observable et en général une théorie résiste à des expériences légèrement contradictoires). Le métaphysicien sera plus enclin à rechercher l'explication plutôt que la loi et « les méthodes d'évaluation des théories rivales, ou plutôt des interprétations rivales d'une même théorie »

Ces deux principes conduisent à retenir pour le métaphysicien une position réaliste qui tend à affirmer l'existence des entités qu'étudie le scientifique. Pour le présent ouvrage si l'article de Mme Tiercelin, qui découle directement du texte de sa conférence inaugurale au 26^e congrès de la société de philosophie des sciences¹⁴, a été assez longuement commenté c'est que les fondements du travail qui va suivre y sont explicités. En effet, loin d'opposer physique et métaphysique, nous allons tenter de rechercher, sur un domaine limité, quelles sont les notions de métaphysique que la physique a rendues caduques ou incertaines et quels sont les nouveaux champs d'investigation qu'elle a ouverts. Le domaine retenu doit tenir compte de la probabilité de réalisation d'une telle étude, selon le temps disponible, les goûts et les compétences de l'auteur. Afin de le déterminer il peut être opportun, de considérer leurs rapports des deux sciences à l'intérieur de ceux traditionnellement dévolus à la métaphysique.

Champs de recherche possibles

L'ontologie

C'est pour elle que les interrogations venues de la physique sont de loin les plus nombreuses. Avant d'aborder l'être commençons par ce qui

¹⁴ Lille les 25-27 juin 2014

philosophiquement ne l'est pas. Une des affirmations d'Aristote sur l'inexistence du vide assimilé au non-être a été combattue avec succès par Pascal, mais il s'agissait davantage de s'opposer à une des thèses de sa physique. Il fallait cependant trouver un statut ontologique au vide. Celui-ci, pour les physiciens, a un temps contenu l'éther pour être maintenant le théâtre de fluctuations quantiques au statut encore plus incertain. Le vide, considéré comme espace sans matière peut avoir un effet, en particulier l'effet Casimir¹⁵ dû à son énergie quantique. La nature de ce rien particulier qu'est le vide impose de lui donner une nouvelle définition métaphysique.

Pour 'l'être', l'équivalence proclamée de la matière et de l'énergie, a des conséquences évidentes sur le couple-matière forme et sur tout le discours substantiel. Si la substance est « ce dont le concept n'a pas besoin du concept d'autre chose d'où il faille le former ¹⁶ » alors l'énergie est substance, ce qui ouvre des horizons. Dans les collisionneurs, tous les jours, des accidents aristotéliens (des vitesses) se transforment en particules (des substances).

Le temps et l'espace ont fait l'objet d'une littérature scientifique et philosophique abondante depuis la vulgarisation de la théorie de la relativité. Si l'on trouve des explicitations de cette théorie ainsi que celles des géométries non euclidiennes, il s'agit maintenant d'analyser les questions que pose une expérience telle que celle de la « gomme quantique à choix retardé ». Brian Greene l'a décrite dans un ouvrage au titre programmatique qui invite à reconsidérer nos notions de temps d'espace et de réalité¹⁷.

Les notions de puissance et d'acte trouvent un nouvel éclairage au travers des travaux sur les phénomènes irréversibles qui montrent l'importance de la notion d'équilibre et la possibilité pour certains systèmes de voir localement leur entropie diminuer. Les propriétés émergentes sont plus performantes que la somme des propriétés des constituants.

La postulation de Démocrite sur l'existence des atomes, ne fut prouvée que par Jean Perrin en 1909 donnant tardivement raison à la physique de Gassendi contre celle de Descartes. Cette confirmation invalide toutes les conceptions de l'être

¹⁵ Voir annexe F

¹⁶ Spinoza, *Ethique*, partie 1, définition 3

¹⁷ Brian Greene, *La magie du cosmos. L'espace, le temps, la réalité, tout est à repenser*, Paris, Robert Laffont, 2005

fondées sur la continuité de la matière. La notion de substance passe de l'objet aux constituants ultimes de celui-ci. Mais à l'inverse, l'objet semble perdre les propriétés quantiques qui caractérisent ses composants. Comment construire une ontologie cohérente rendant compte de ces deux faits ?

La physique théorique a délaissé l'objet pour la particule élémentaire, mais rentre-t-elle dans les caractérisations habituelles de l'ontologie ? Dans la théorie de l'onde pilote (1927) de de Broglie, qui est la plus confortable pour notre esprit, à chaque particule est associé un paquet d'ondes dont le maximum d'amplitude se déplace avec la vitesse du corpuscule¹⁸. Mais cette onde guide occupe tout l'univers et interagit avec toutes les autres ondes guides, il suffirait selon la remarque d'un critique, « de déplacer un aimant n'importe où dans l'univers, pour modifier la trajectoire de toutes les particules ». La particule est-elle encore une ? La non localité qui résulte de cette théorie et du paradoxe EPR (Einstein, Podolsky, Rosen¹⁹) semble impliquer une interaction de tout sur tout.

En 2012, l'étude des collisions des particules au sein du LHC (Large Hadron Collisionner) a mis en évidence l'existence d'une particule prévue par la théorie depuis 1973, le boson de Higgs du nom du physicien qui avec F. Kennedy avait prévu son existence. Le champ scalaire²⁰ de Higgs confère leur masse aux particules qui en ont une et permet donc de considérer que la masse n'est pas un accident de la matière mais est due à une relation avec l'environnement.

Comment concevoir une ontologie qui soit celle du sensible, alors que plus de vingt-cinq pour cent de la masse de l'univers, engendrée par une hypothétique matière noire, n'est même pas détectable par nos instruments, et intervient seulement par son interaction gravitationnelle ?

La théologie

Le dialogue entre la science et la théologie donne l'apparence d'avoir tourné au conflit ouvert. Il fut un temps où il était plus dangereux de s'attaquer au contenu des dogmes qu'à la physique d'Aristote. Osiander a rajouté en 1543 une préface au *De revolutionibus orbium coelestium* de Copernic expliquant qu'il ne s'agissait que d'hypothèses permettant un calcul plus aisé des orbites célestes « Car en effet il

¹⁸ Sven Ortoli, Jean-Pierre Pharabod, *Le cantique des quantiques*, Paris, Découverte/poche, 2015, p. 31

¹⁹ Ce paradoxe qui questionne la causalité relativiste sera explicité plus avant.

²⁰ Voir annexe G

n'est pas nécessaire que ces hypothèses soient vraies ou même vraisemblables ; une seule chose suffit : qu'elles offrent des calculs conformes aux observations »²¹. Le débat fut plus rude avec Galilée qui pensait décrire le réel. Mais l'ensemble de ces controverses touche davantage le contenu de la position de l'Eglise sur la physique, qu'elle avait déduit des textes sacrés, que les thèses sur le premier moteur non mu ou l'étant suprême. Le débat concernait principalement la physique, pas la métaphysique. Dès lors que l'hypothèse Dieu ne fut plus nécessaire, la physique s'éloigna de la théologie. Une variable qui n'intervient pas dans les expériences n'a besoin ni d'être niée, ni d'être validée.

Toutefois la cosmologie moderne ouvre un autre espace où le débat théologique est relancé. Occupés à discuter du principe anthropique, peu de théologiens prennent en compte l'extension que la physique a donnée au rayon de l'action d'un Dieu transcendant. De créateur d'un monde sublunaire il devient le Dieu d'environ 100 à 200 milliards de galaxies au sein du seul univers visible, chacune comptant également de 100 à 200 milliards étoiles ayant des possibilités d'accueillir des systèmes planétaires dans lesquels une vie intelligente est susceptible de s'épanouir.

La logique

Le principe de non contradiction a été exprimé par Aristote en Γ III, comme loi fondamentale de l'être avant d'être une « loi de la pensée elle-même²²», il stipule qu'il « est impossible que le même attribut appartienne et n'appartienne pas en même temps, au même sujet et sous le même rapport ». Le langage de la logique a cependant été utilisé contre la métaphysique par la philosophie analytique pour montrer qu'elle n'avait pas de signification, mais après avoir beaucoup traité des implications des découvertes mathématiques, théorème de Gödel ou infinité des infinis de Cantor, ce courant philosophique retrouve l'étude de la métaphysique en usant de la logique des prédicats ou de la logique propositionnelle et se consacre à nouveau à l'étude des universaux, des essences, des tropes et des individus²³.

Il est plaisant de constater que le même théorème de Gödel, issu de la démarche

²¹ Pierre Sagaut, *Introduction à la pensée scientifique moderne*, Université Pierre et Marie Curie, www.lmm.jussieu.fr/~sagaut/epistemologie-v14.pdf

²² *Métaphysique*, Gamma 3, 1005 b,19 p. 195

²³ Cf. par exemple, David M. Armstrong, *Les Universaux*, Ithaque, Paris, 2010, F Nef, *Métaphysique contemporaine*, paris, Vrin, 2007, etc...

axiomatique de Hilbert qui voulait fonder les mathématiques sur un socle inattaquable ne comportant pas de définition d'objet mais seulement celles de leurs relations mutuelles, montre que dans tout système cohérent (c'est-à-dire n'impliquant aucune contradiction) et assez élaboré pour contenir l'arithmétique des entiers, il est possible de former des énoncés dont on ne peut prouver qu'ils soient vrais ou faux. Il conduit naturellement à des discussions métaphysiques car de plus il démontre que l'affirmation de la cohérence du système est au nombre des affirmations indécidables.

L'aitiologie

Ce domaine ouvre un large champ d'étude sur les relations entre la physique et la métaphysique. Déjà placé à la charnière des deux sujets par Aristote il a vu son contenu attaqué puis défendu tour à tour par les savants et les philosophes, la causalité a été un des thèmes majeurs des réflexions autour de l'interprétation de la mécanique quantique. Le domaine se lie en fait avec l'ontologie, il y apparaît des êtres au statut hybride, onde et particule à la fois, qui ne semblent pas, dans certaines circonstances, soumis à la causalité.

Le choix

Ont été écartées d'emblée la logique et la théologie. La logique car elle appartient davantage à la catégorie des outils qu'à celle des résultats et ses connexions avec la physique sont peu nombreuses. La théologie car cet objet de la métaphysique reste sans contrepartie en physique, sauf dans quelques domaines rares prêtant fortement à controverses²⁴.

Quant à l'ontologie il est apparu rapidement que trois concepts permettaient d'établir de nombreuses liaisons entre la métaphysique et la physique, le temps, l'espace et la matière.

Le temps est un sujet à lui tout seul, extrêmement vaste et complexe. Il a été traité par des philosophes peu suspects d'être physiciens, d'autres qui l'étaient et par des physiciens qui ne pouvaient manquer d'avoir à son sujet des interrogations métaphysiques. Il est devenu dans sa présentation le point central du couple physique métaphysique mais à la vue de la somme des travaux qui y ont été

²⁴ Ainsi des discussions autour du principe anthropique.

La thèse

consacrés et de leur qualité, il s'avère bien étudié et d'une redoutable complexité²⁵, une saine prudence motivée comme annoncé par le temps disponible et les compétences de l'auteur l'ont fait écarter.

L'espace semble être plus familier, les problèmes qu'il pose sont également redoutables, mais comme il semble que c'est le temps qui nous tue et non l'espace, il a moins fait l'objet d'interrogations métaphysique, et pouvait faire seul un candidat pertinent. Mais il impliquait d'aborder le sujet de la matière, les deux étant indissociable depuis que Descartes a proposé leur équivalence et que les équations de la relativité générale s'interprètent comme l'action de l'une sur l'autre et qu'il semble qu'il n'y ait pas d'espace sans matière. Le champ allait donc automatiquement comprendre les objets nouveaux que propose la physique et dont le statut métaphysique reste à définir, ondes, champs, particules virtuelles par exemple et plus récemment 'données' et serait devenu une interrogation sur la nature du réel et sur les interprétations de la mécanique quantique. Le sujet est passionnant et a beaucoup tenté l'auteur, il conduisait cependant à une recherche trop vaste, qui compte tenue de sa technicité, n'aurait sans doute rien apporté de plus que les ouvrages récents et en particulier ceux de Bernard d'Espagnat²⁶.

S'interdire d'étudier ces trois sujets ne veut pas dire qu'ils ne seront pas abordés de façon indirecte, mais ils ne feront pas l'objet d'un traitement propre.

La thèse

Son domaine

Nous retiendrons donc l'aitiologie, qui est probablement, nous y reviendrons, le domaine le plus proche de la physique et celui sur lequel, au regard de la multiplicité et de la divergence des études contemporaines, il doit être possible sinon d'apporter un regard différent du moins de fournir un appui à une position existante. En demandant pourquoi il y a quelque chose au lieu que rien, Leibniz a proposé de rechercher une solution causale au problème de l'existence des étants, autre raison de se pencher particulièrement sur ce domaine. Afin de rester au plus près des relations avec la physique, nous ne nous interrogerons pas sur le problème

²⁵ Cf. à titre d'exemple, Alexis de Saint-Ours, *La disparition du temps en gravitation quantique*, REHSEIS, Université Paris-Diderot

²⁶ Voir B. d'Espagnat, *Traité de physique et de métaphysique*, Paris, Fayard, 2002

de la cause première, ni sur ce qui pourtant aurait été proche de la démarche scientifique, sur les relations entre la causalité et la liberté parce qu'il s'agit d'une étude dans un champ, celui des neuro sciences, qui échappe complètement à l'auteur.

Son contenu

Elle consistera :

A établir et à défendre une définition de la causalité (voir infra) que nous appellerons objective ou rationnelle, qui tient compte de l'état actuel de la physique, qui soit à la fois englobante par rapport aux définitions connues et restrictive par rapport aux concepts mis en œuvre.

A dégager les caractéristiques d'une causalité que nous appellerons subjective ou pragmatique qui introduit en particuliers les notions d'efficacité, de responsabilité, d'intention, de causalité des absences, et relie des entités fortement plurivoques (événements, états, faits, objets).

A montrer que la stérilité d'une grande partie des débats contemporains sur la causalité provient des tentatives de rabattre une causalité sur l'autre, et en particulier de vouloir appliquer aux définitions nombreuses de la causalité subjective les contraintes de la définition objective.

Les désaccords entre les différents résultats des recherches sur la causalité ont pu être qualifiés de « décourageants »²⁷, cependant l'auteur de cette appréciation, M Kistler, relève trois conceptions particulièrement influentes :

- L'identification du concept de causalité avec celui de détermination, aucun événement ne se produit sans qu'il existe une raison suffisante qui le détermine.

- La position classique qui admet des processus indéterminés, « être cause ou effet ne signifie rien d'autre qu'être subsumé sous une loi de nature », mais il existe des lois de nature qui n'ont qu'un caractère probabiliste. La loi est considérée comme forgée par l'esprit humain ou possède un caractère réaliste et est justifiée par son intégration dans l'ensemble des jugements scientifiques.

- La position qui renoue avec Hume et qui considère la causalité comme « un concept relevant du sens commun auquel il est impossible de substituer un concept scientifique ».

²⁷ Max Kistler, *Causalité et lois de la nature*, Paris, Vrin mathésis, 1999, p 8

Abandonnant, nous montrerons pourquoi, la première conception, nous proposerons un concept de causalité qui sans résoudre l'écart entre la deuxième et la troisième tend plutôt à le dissoudre. Nous suivrons le cheminement proposé par M. Kistler de construire ce concept afin qu'il soit très général « à l'égard de son champ d'explication et très restrictif en vertu de son caractère physique ». Nous serons plus larges que lui pour le champ d'application en ne nous limitant pas comme il le fait aux lois de conservation mais en prenant en compte toutes les lois de la physique, et plus restrictifs dans les éléments mis en relation. Ainsi nous définirons la causalité en postulant que : *Ce qui est désigné par cause (c) ou effet (e) n'est que la description de parties instantanées d'état de l'univers, reliées par une ou plusieurs lois.* Cette conception n'est pas d'un type original, Popper en formulait une semblable en 1935²⁸, « Donner l'explication causale d'un événement signifie déduire un énoncé qui le décrit, en utilisant comme prémisses de la déduction une ou plusieurs lois universelles, associées à certains énoncés singuliers, qui sont les conditions initiales », mais elle précise ce que l'on entend par événement et conditions initiales et conserve, nous le montrerons, la possibilité d'être non déterministe. Elle inclut en outre qu'une cause n'est déterminée qu'à un moment ; c et c', causes de e peuvent être différentes selon que l'on les considère à des instants t et t'. Ce type de définition est qualifiée de nomologique et déductive, nomologique car elle utilise des lois, déductive car le raisonnement qui permet de passer de la cause à l'effet est de ce type. M. Kistler note le risque, pour ce type de causalité, de la voir dans toutes les explications scientifiques, de ne véhiculer aucune distinction entre causal et non causal, et donc évidemment d'être tellement redondant que l'avantage serait de l'abandonner. C'est un risque que nous allons assumer parce qu'à la lumière de l'étude que nous mènerons sur la physique moderne la différence qui semble fondamentale n'est pas entre causalité (il n'est pas d'effet sans cause) ou non causalité mais entre déterminisme (les mêmes causes produisent les mêmes effets) ou non déterminisme. Ainsi certains effets quantiques s'apparentant à l'effet tunnel, tel la désintégration spontanée d'un atome radioactif peuvent être décrits en termes de loi et de conditions initiales, mais les lois n'incluent aucune possibilité de connaître le moment de la désintégration. La

²⁸ Karl Popper, *La logique de la découverte scientifique*, Trad N. Thyssen-Rutten, Paris, Payot, ch3, §12

désintégration d'un noyau sera pour nous un effet causal non déterministe²⁹, de même nous le verrons, que la naissance d'un ouragan. Il convient également de conserver la notion de cause car certains événements ne seront malgré une définition qui semble tout englober, pas causaux. Dans la description de l'état de l'univers qui précède l'effet, il faut exclure les éléments non nécessaires à l'avènement de l'état final (la mort de Jules César et son horoscope du jour n'ont pas de relation causale à la différence de sa mort avec le poignard de Brutus), et si pour ce qui est des phénomènes scientifiques le risque de l'abandon d'une telle notion de cause est certain, cela correspond également au fait que la recherche des lois s'est substituée à celle des causes, qu'elle que soit la définition que l'on en donne et que ce concept n'est majoritairement utilisé que dans un discours pragmatique ou vulgarisateur.

Son cheminement

Il est apparu utile de faire un retour sur les théories que les philosophes classiques ont construites sur la causalité, même si le débat fondamental est contemporain et ne peut se dérouler qu'en tenant compte des acquis de la physique. En effet les philosophes classiques ont posé toutes les questions et ont créé les concepts utiles qu'il peut être bon de retrouver sous de nouvelles appellations. Si pour la cause d'un incendie un contemporain distingue entre le papier entreposé comme conditions de fond et le court-circuit générateur en donnant le caractère de cause à ce seul dernier, ne choisit-il pas la cause efficiente d'Aristote au détriment de la cause matérielle? De plus le débat contemporain ressuscite, s'il n'est jamais mort, celui plus ancien entre nominalisme et réalisme, entre la possibilité de construire une ontologie qui ne soit pas une épistémologie, et il pose le problème classique du statut de ce que nous appelons connaissance, de la subjectivité et de l'objectivité.

Pour des auteurs tels qu'Aristote ou Descartes il est impossible d'établir une césure entre les parties physique et métaphysique de leur œuvre et la dichotomie savant ou philosophe n'est guère opérationnelle. Tous les auteurs que nous rencontrerons présentent à des degrés divers les deux caractères. C'est plutôt à l'intérieur d'un même système de pensée qu'ils se répondent, Bohr et Einstein

²⁹ La désintégration est un effet résultant de l'état quantique du noyau mais l'état quantique « produit » la stabilité jusqu'à la désintégration.

s'opposeront sur la causalité mais pas avec les arguments de Russell et de Carnap et les penseurs s'ignorent souvent lorsqu'ils participent de visées différentes. Laplace n'a que faire des critiques de Hume, pour lui la causalité fonctionne. Opposer le positivisme de Comte au scepticisme de Hume sur la question de la causalité ne conduit à rien, ils n'ont pas les mêmes préoccupations. Que l'idéalisme transcendantal Kantien puisse être rapproché de l'interprétation de la mécanique quantique par l'école de Copenhague est un fait, mais les deux approches sont complètement différentes. Pour complexifier le classement, les philosophes se répartissent en deux ensembles, ceux tenant de la philosophie dite analytique, usant très fortement d'arguments de forme logique, et les philosophes s'inscrivant dans une lignée 'classique'. Or, et même sur le sujet de la causalité, si les philosophes analytiques avaient déserté la métaphysique, ils y reviennent³⁰. Il ne s'agit donc pas de nier que tous sont à la fois philosophes, logiciens et scientifiques, mais comme le mélange des caractères semble s'estomper avec le temps en faveur d'une spécialisation, des arguments qu'ils apporteront pour traiter du problème dépendra, dans cet exposé, leur appartenance à une des trois familles. Cet arbitraire ne résisterait sans doute pas à une analyse plus fine, il n'est ici que dans un but heuristique.

Il est vite apparu une même césure dans les façons métaphysique et scientifique d'envisager la causalité. La métaphysique, après un début qui avait les caractères d'un achèvement, a été envahie par le doute. L'émergence du sujet est allée de pair avec la diminution de sa capacité à appliquer son entendement sur les objets, ceux-ci perdant corrélativement de leur objectivité au profit de l'idéalité. Cette phase ascendante ou descendante selon le point de vue que l'on veut adopter semble culminer avec Kant.

C'est la césure scientifique du début du XX^e siècle qui a fait ré ouvrir les débats sur la causalité et cette phase a vu apparaître des philosophes attentifs aux découvertes scientifiques mais usant surtout d'outils logiques peu usités dans la première phase.

La science a eu au contraire un démarrage difficile, elle a dû renier les acquis de la physique d'Aristote, puis se reconstruire jusqu'à la certitude de n'avoir plus que quelques décimales à calculer afin de connaître parfaitement le réel. Pendant

³⁰ Cf, note 18,

cette période elle n'a pas douté de la causalité et du déterminisme que la philosophie ne semblait plus justifier. Elle s'est aperçue en fait qu'elle recherchait des lois plutôt que des causes mais ne voyait pas de problème à considérer qu'une cause était équivalente à la description d'un état auquel on pouvait appliquer une ou plusieurs lois. Le sujet devait être un observateur neutre et le caractère objectif de la chose étudiée ne faisait pas l'objet d'interprétation.

Cette phase perdura jusqu'à l'introduction par M. Planck de la notion de quanta pour expliquer ce qui a été baptisé la catastrophe ultraviolette.

La deuxième phase scientifique n'est pas par symétrie avec l'évolution de la métaphysique une phase de doute. Elle est davantage celle de la difficulté d'interprétation. L'impossibilité d'atteindre une mesure exacte est apparue comme une des caractéristiques du réel. Le débat sur le déterminisme a été plus fécond que celui sur la causalité, notion employée dans un but heuristique même par ceux qui n'y voyait pas de réalité objective. Les scientifiques se sont redécouverts philosophes, conséquence du besoin d'explication des théories issues de la mécanique quantique et abordent des sujets variés, par exemple la nature du réel pour d'Espagnat, la nouvelle signification du couple aristotélicien matière forme pour Schrödinger ou intitulent comme Heisenberg, un ouvrage *Physique et philosophie*.

Dès lors un plan non linéaire semble émerger, mais qui doit éviter au maximum les retours en arrière historiques au sein d'une même discipline. Ainsi nous étudierons tout d'abord la causalité chez les philosophes de la période allant des présocratiques à Kant, puis chez les scientifiques en insistant sur l'époque contemporaine et nous terminerons par la partie de philosophie contemporaine. Nous distinguerons :

Partie 1, Métaphysique : vers le renoncement à l'entendement

Après l'étude d'Aristote et les mentions rapides des critiques de N. d'Autrecourt, et de Montaigne, David Hume nous fournira le prétexte de l'étude détaillée de la première attaque sérieuse. La défense de la causalité par Wolf permettra de faire la liaison avec le kantisme.

Partie 2, Physique : De la lunette astronomique au réel voilé

Vers la dernière décimale

S'obligeant à un très bref retour en arrière nous traiterons du thème de la

La thèse

causalité à travers le regard scientifique, de façon chronologique jusqu'à la révolution que Planck a générée sans le vouloir. Le but de la recherche était alors de poursuivre la causalité jusqu'à la dernière décimale, après quoi la connaissance de l'enchaînement des effets et causes dans l'univers eut été complète.

L'abandon de la localité

La prétention à l'exactitude absolue ayant été abandonnée avant d'être démontrée comme irréalisable, d'autres concepts qui étaient jusque-là nécessaires à l'existence de la causalité mais qui ne lui avaient jamais été associés furent remis en cause. Le temps et l'espace perdirent leur qualité d'absolus, les échanges d'énergie perdirent leur caractère continu et la localité inhérente aux objets fut remise en question. Nous en examinerons les conséquences tant au niveau microscopique qu'au niveau macroscopique en utilisant pour ce dernier niveau, l'étude d'un ouvrage de Prigogine.

Partie 3, Philosophie : Les nouveaux débats

Le déterminisme

Après le tour d'horizon des théories physique nous reviendrons à la philosophie contemporaine. La partie précédente conduisant à séparer les analyses de la causalité et du déterminisme nous concluons sur ce dernier après avoir confronté notre vision à des auteurs ayant traité du sujet.

La nouvelle critique de la causalité

La nouvelle approche du problème de Hume sera illustrée par l'étude d'ouvrages de Russell et de Carnap. Nous verrons qu'ils ouvrent la voie à la possibilité de distinguer entre les deux conceptions, ici nommées objective et subjective, car ils soulèvent l'impossibilité de définition d'un concept unique qu'ils veulent malgré tout conserver. Nous confronterons notre approche avec leurs critiques

La causalité subjective versus causalité objective

Nous retrouverons le cheminement qui nous a conduit à notre hypothèse à travers l'étude de plusieurs articles contemporains. Seront ainsi abordés les problèmes des *relata causa* (états ou événements) et de la nature de la relation causale (relation ou processus).

Autres approches de la causalité

Les définitions de la causalité à l'époque contemporaine (Causalité INUS³¹, causalité MT³², *etc...*) permettront également de confronter nos propositions avec des théories différentes et en particulier avec une qui étudie particulièrement la notion de loi, due à M. Kistler.

Il sera alors possible, en regroupant les éléments qui auront été établis au cours de l'étude, de conclure que :

- Le déterminisme absolu n'est pas constaté, il n'existe qu'un déterminisme statistique tant au niveau des particules que des événements. Cela est dû à la fois à l'indétermination insurmontable des conditions initiales et au caractère statistique et non local des lois de la physique.

- Les lois physiques n'expriment qu'une régularité, elles ne sont pas nécessaires au sens philosophique et leur prêter l'universalité n'est qu'une hypothèse.

- La causalité a toujours un caractère explicatif. Il existe des explications sans causalité mais pas l'inverse.

- Il est possible de définir une causalité objective de façon fortement univoque, dont la définition résout les problèmes rencontrés sur la nature des relata, la transitivité, les causes multiples et la préemption. Elle a un caractère de processus. Une telle définition n'a cependant que peu d'usage même dans le monde scientifique car elle dépend du concept de loi. Elle ne le retrouve que lorsqu'il s'agit de faire une synthèse de l'action de plusieurs lois ou d'expliquer un résultat au mécanisme inconnu mais constaté de façon statistique.

- La causalité subjective sert à exprimer soit des jugements pragmatiques, soit des jugements de responsabilité, et pour cela elle se sert pour cela d'une variation dans le niveau du grain de la description, de relata de type différents et fortement de la causalité des absences.

- Il est impossible de conclure sur la nature des relata de la causalité subjective, car ils ne dépendent pas de la logique de la proposition mais de son intentionnalité. Les paradoxes construits sur la causalité subjective sont des paradoxes pour la même raison.

³¹ Insufficient but Necessary part of an Unnecessary but Sufficient set of conditions selon J.L. Mackie

³² Mark Transmission selon Wesley Salmon

La thèse

- La causalité subjective est à l'inverse de sa voisine, utile, car elle exprime une expérience ou un jugement. En ce sens la notion de causalité rejoint celle de concept pratique à opposer au concept rationnel que serait la causalité objective.

- Il existe une tentation permanente de la causalité subjective à se donner le caractère le plus objectif possible car cela renforce la validité du discours. Cela est peut-être un des facteurs de la multiplication des propositions de définitions qui cherchent à surmonter une dichotomie fondamentale.

- Le déterminisme sous-entendu dans la causalité subjective subjectif n'est évidemment pas absolu mais il surtout traduit surtout en termes de chance voire de miracle, lorsqu'il se réfère à l'apparition des phénomènes faiblement probables, ou il exprime une sentence morale dans l'autre cas.

- Le questionnement fondamental de Hume n'a pas été dépassé.

- Celui de Frege sur la vérité³³ est transposable à la causalité.

³³ Voir infra, elle tend à considérer la vérité comme une notion première.

1 - Philosophie- De la cause matérielle à l'inconnaissable de la chose en soi.

Comme annoncé, ce survol historique doit permettre de dégager, sur une assez longue période, les principales interrogations philosophiques et les principaux concepts utilisés par la philosophie dans son étude de la causalité. Les réponses ne seront pas commentées d'un point de vue physique, seules seront abordées les réfutations philosophiques. La nature des problèmes posés ayant par leur permanence, une importance plus grande que les solutions proposées, c'est plutôt à eux que nous nous attacherons.

La quadruple causalité

Nous avons relevé dans l'introduction la présence de la causalité dans la métaphysique d'Aristote. Il est logique de supposer que son étude devrait également se trouver en tête de la physique à qui elle fournirait un cadre d'analyse. Les phénomènes étudiés seraient alors parfaitement expliqués par leur description et la mise en évidence de leurs causes. Et de fait une aitiologie se trouve en *Physique*, II, 3 reprise en métaphysique Δ 67. Les deux textes ont un contenu quasiment identique. Cette double position de la théorie de la cause permet-elle de considérer que cette partie de la métaphysique est la plus liée à la physique ? Il y a d'autres indices qui le laissent à penser.

D'abord, mais cela est valable pour toute la métaphysique, cette œuvre côtoie un ensemble exceptionnel d'ouvrages regroupant des observations sur les animaux, sur le ciel, sur l'univers, enfin sur tout ce qui pouvait être sujet de connaissance. Son contenu n'est actuellement plus étudié pour sa valeur scientifique, mais il témoigne par son ampleur de la préoccupation de son auteur de connaître le monde qui l'entourait et rend improbable la rédaction d'une métaphysique qui, bien que science portant sur l'être en tant qu'être, pourrait apparaître sans lien avec les observations des étants.

Ensuite parce que les autres mentions de la théorie des causes en A3 et A7 donnent à la causalité une place centrale tant comme critérium de la tentative

La quadruple causalité

d'explication du monde tentée par les autres systèmes philosophiques, que comme objet fondamental de la métaphysique puisque la philosophie première est en A3 983a25 définie comme la science des causes premières.

Dans les deux passages similaires rappelés précédemment, Aristote distingue quatre causes :

La cause est d'abord « la matière immanente dont la chose est faite », elle est qualifiée généralement de cause matérielle. La cause est ensuite « la forme et le paradigme, c'est-à-dire la définition de la quiddité », cette cause est appelée formelle. Elle est aussi identique aux « parties de la définition ». La troisième cause, motrice ou efficiente, est ce qui produit le changement, Polyclète sera la cause efficiente de la statue dont l'airain est la cause matérielle. La quatrième cause, dite finale, est ce pourquoi le changement a été opéré. Ainsi la santé est cause de la promenade. Il y a dans toute l'œuvre d'Aristote une insistance appuyée sur le rôle de la cause finale, que celle-ci soit « un bien en soi ou un bien apparent » (Δ , 1013b25)

Aristote va distinguer ensuite des classes de causes et leurs modes ainsi que leurs relations. En distinguant entre causes éloignées et causes proches, il va étendre la notion de cause jusqu'aux accidents. Ainsi blanc et musicien qui sont également, en plus de sculpteur, des qualificatifs de Polyclète sont des causes éloignées de la statue dont il est cause efficiente. Les causes peuvent être en acte ou en puissance et peuvent ne pas être « en même temps que les choses dont elles sont causes ». Les six modes de la cause sont : individuel, genre de la cause individuelle, accidentel, genre de la cause accidentelle, combinaison des causes individuelles et accidentelles et combinaison de la cause individuelle et du genre de la cause accidentelle. Ils peuvent être multipliés selon que les causes sont en acte ou en puissance. Nous noterons seulement que plus tard Spinoza, à propos de la seule causalité divine, ne distinguera pas moins de huit aspects de la causalité avec leurs opposés : émanative ou opérante, c'est-à-dire efficiente ou active, immanente non transitive, libre non naturelle, par soi et non pas contingente, principale, seule, générale, prochaine mais aussi dernière. Nous retiendrons surtout, qu'en ne définissant pas complètement l'éloignement possible de la cause et de l'effet, Aristote permet d'inclure tout l'univers préalable à l'effet comme cause de celui-ci et que la cause d'Aristote veut englober l'ensemble des conditions de possibilité de

l'effet.

En donnant un exemple de la notion de cause chez Aristote, Michel Malherbe envisage le cas de l'aspirine comme cause de la santé³⁴. Il note que nous plaçons spontanément dans l'aspirine un pouvoir qui n'est pas « empiriquement appréhendé », Il reste une cause de la cause à découvrir et il s'interroge sur la postulation, in fine, d'une cause primitive qui posséderait le pouvoir dont découle celui de l'aspirine. Il note que de fait ce pouvoir dépendra aussi de la réceptivité du corps du patient aux effets de l'aspirine, (cause matérielle), et à la capacité de celui-ci de posséder une puissance, une capacité à se conserver, qu'il considère comme une cause formelle. La cause la plus importante sera la cause finale, la raison pour laquelle nous prenons de l'aspirine, supprimer les maux de tête. Cet exemple montre la complexité de la grille d'analyse d'Aristote, en particulier pour la cause formelle, et de fait causalité formelle et causalité matérielle seront les premiers concepts abandonnés.

Critiques sceptiques

Nous ne dirons, de la période qui s'étend d'Aristote à Hume que peu de choses, car la causalité a surtout été traitée dans le cadre de la théologie. Il est cependant impossible de ne pas citer Nicolas d'Autrecourt qui dès 1340 avait posé en termes 'humains' la problématique de la cause. Le principe de causalité, disait-il, consiste à affirmer que « parce qu'une chose (l'effet) est, une autre chose (la cause) doit être aussi. Mais ce raisonnement est sophistique car si la chose dont on conclut l'existence est autre que la chose donnée dans l'expérience, nous dépassons la portée légitime du principe de contradiction en affirmant du sujet un prédicat dont rien ne prouve qu'il lui appartienne nécessairement.³⁵ » L'affirmation « si a est alors b est » n'est pas évidente si a et b sont des termes absolus. « *quod ex eo unares est, non potest evidenter evidentia reducta ex primo principio inferri quod aliares sit* ». Rien de la cause n'étant dans l'effet, il est impossible de déduire celle-ci de l'analyse de l'effet. Il faut noter également l'existence des 16 *disputationes* (XII à XXVII) de Suarez consacrées à la cause, car il semble avoir eu le dessein de

³⁴ Michel Malherbe, *Qu'est-ce que la causalité ? Hume et Kant*, Paris, Vrin, 1994, p. 8

³⁵ R. Jolivet, *La notion de substance*, Paris, Beauchesne, 1929, p. 87. Citation extraite de *Cartularium Universitatis parisiensis*, 2^o vol p. 576

refonder la métaphysique comme ontologie et il a réduit le système des quatre causes à la cause efficiente.³⁶

Cependant, tout homme portant en soi la forme entière de l'humaine condition, ce serait se priver d'un apport de portée générale que d'ignorer la vision de la philosophie sceptique telle qu'elle apparaît dans *les Essais* de Montaigne et particulièrement dans le chapitre consacré à *l'apologie de Raymond de Sebon*. Rappelons que Sextus Empiricus dans les *Esquisses Pyrrhoniennes* prête à Enésidème huit tropes relatifs à la causalité dont Montaigne va s'inspirer. Il reprend la définition selon laquelle la cause est ce dont l'action produit l'effet. La causalité est ce qui donne l'être mais nous n'avons aucun accès à l'être, à la nature ou à l'essence des choses. Il ne se manifeste que le phénomène mais il se manifeste sans nous donner ce à partir de quoi il se manifeste. La causalité ne peut alors se concevoir que comme une relation, pas à titre de propriété naturelle d'une chose.

Cette relation peu se situer sur trois plans, soit les relata sont dans l'esprit, soit dans les choses telles qu'elles apparaissent, soit entre l'esprit et les choses. Mais dans ce dernier cas nous ne pouvons connaître séparément les termes de la relation phénoménale. C'est la partie de la critique de Montaigne qui interdit toute quête ontologique par laquelle nous pourrions rendre raison de l'engendrement des choses à partir de leurs causes absolues³⁷. Elle permet cependant de penser la causalité en termes de rapports quantifiables au moins dans les premiers et second cas. En effet établir un rapport permet en partie d'éliminer les termes communs aux choses considérés, donc quelque part de ne conserver que les variations mesurables³⁸.

Il existe également dans *les Essais*, selon S. Giocanti une critique logique de la causalité, l'entendement cherchant à remonter des effets aux causes il suppose que toute chose à une raison d'être. Nous n'entrerons pas dans la signification croisée entre *causa* et *ratio* au XVI^e siècle, relevons simplement que pour Montaigne il n'est pas évident que le réel soit rationnel, puisque résultante de la critique ontologique, la structure objective des choses reste cachée. Un événement sans cause ni raison n'est pas impensable car notre rationnel ne peut être que la projection de l'esprit dans les choses. En bonne philosophie sceptique cette

³⁶ Jean Paul Coujou, *Philosophies médiévales*, Louvain, ISP, 1999

³⁷ Sylvia Giocanti, *La critique sceptique de la causalité dans les Essais de Montaigne*, cahiers philosophiques 2008/2 n°114, Paris, CNDP, p 9 sq

³⁸ Cela n'est pas dans Montaigne, mais peut en être déduit.

proposition est seulement énoncée comme possible (une esquisse), sûrement pas certaine mais les propositions contraires des ‘dogmatiques’, il ‘n’y a pas d’effet sans cause’, ‘la relation entre la cause et l’effet est nécessaire’ ne sont pas plus certaines.

Si le fait avéré est une chose évidente, le quatrième moyen d’Enésidème s’applique, rappelons-le: « Le quatrième est, lorsque concevant quelques choses apparentes, de la manière qu’elles sont ou qu’elles se font, on s’imagine que par comparaison à ces choses-là, on comprend aussi comment se font celles qui sont cachées ; quoique celles-ci puissent se faire peut-être de la même manière, que celles que l’on connaît par expérience, et peut-être aussi d’une manière particulière et toute différente. »³⁹, les choses cachées désignent les causes. Alors s’applique le deuxième moyen : « Le second est lorsqu’ayant également lieu d’assigner plusieurs bonnes raisons d’une chose, on s’arrête plutôt à une de ces raisons qu’aux autres. » Entre l’incapacité de saisir la bonne famille de causes et dans celle-ci l’incapacité à choisir celle qui est effectivement opérante, notre raison ne manifeste que sa capacité à établir un ordre de son cru.

Cette critique logique lorsqu’elle assimile la raison à la seule imagination, n’aura pas de postérité en ce sens, Pascal séparant l’imagination de la raison mais il sera conservé le caractère non démonstratif de la causalité et la remarque que l’esprit opère par habitude mentale qui le fait lier, de façon non nécessaire la cause et l’effet comme s’associent en son sein les idées.

Par contre la critique ontologique subsistera. Le raisonnement de Descartes prouvant Dieu par l’existence en un être imparfait fini de la notion de parfait infini qui est en lui, est contesté avec un demi-siècle d’avance. Elle le conduira à construire un système dans lequel la substance de l’univers demeure radicalement inhomogène à l’esprit, tandis qu’elle s’y révèle entièrement transparente dans ses modalités. Il sera alors possible d’édicter « les lois exactes de la mécanique » suivant lesquelles « la nature agit en tout »⁴⁰.

³⁹ Sextus Empiricus, *Les hipotiposes pyrrhoniennes*, livre 1, CH 17,17525, traduction Claude Huart https://fr.wikisource.org/wiki/Les_Hipotiposes_pyrroniennes/Livre_premier

⁴⁰ Exemple empruntés à Léon Brunschwig, *Descartes et Pascal lecteurs de Montaigne*, Neufchatel, la baconnière, 1942, p 116

Solutions mécanistes

Galilée initie un mouvement qui oscille entre une conception mécanique de la causalité et son effacement sous une mathématisation des relations. Il donne en 1612 une définition de la cause dans le *Discours sur les corps flottants*. « La cause est ce qui est tel que, lorsqu'elle est posée, l'effet s'ensuit ; lorsqu'elle est ôtée, l'effet est ôté ». Il ne recherchera pas une cause de la chute des corps, mais davantage l'expression d'une loi, celle de la proportion des temps et des vitesses, par contre il donnera une explication causale aux marées, celle des mouvements combinés de rotation de la terre sur elle-même et autour du soleil, explication par ailleurs inexacte et surtout contradictoire avec ses propres principes du mouvement.

Dans le même temps Kepler, s'appuyant sur la masse des observations de Tycho-Brahé, veut démontrer la perfection de l'univers en emboitant les orbites des planètes connues dans les solides parfaits de Pythagore dits aussi Platoniciens. Mais après une série de raisonnements *a priori* « tirés des pensées secrètes du créateur », dans la seconde partie du *Mysterium cosmographicum* il écrit qu'il existe une âme motrice au centre des planètes, le soleil qui les pousse avec une force proportionnelle à la distance (sans en donner la nature ni la loi) mais dont l'intuition lui permit de découvrir plus tard les trois lois qui portent son nom. ellipticité des orbites, lois des aires, lois des périodes.

Gassendi qui est atomiste et Boyle qui ne l'est pas se contentent d'une causalité mécanique. Boyle considère le monde comme « une grande horloge ».

Newton fait un retour à la mathématisation et refuse de discuter des modèles mécaniques, en particulier pour sa théorie de la gravité. « Je n'examine point ici quelle peut être la cause de ces attractions : cela que j'appelle ici attraction peut être produit par impulsion ou par d'autres moyens qui me sont inconnus » « les qualités sont manifestes, et il n'y a que leurs causes qui soient occultes », écrit-il dans la question 31 du *Traité d'optique*.

Galilée, Kepler et Newton préfigurent ce qui sera la deuxième partie de cet ouvrage, la cause vue par les physiciens qui, ne pouvant donner une explication de type causal aux phénomènes qu'ils étudient, ont assuré leur notoriété en exprimant les lois qui les régissent. Il était toutefois normal de les mentionner, car leurs découvertes en un temps où la distinction moderne entre philosophe et scientifique

était estompée, ont eu un grand retentissement sur l'ensemble des œuvres des auteurs que nous allons étudier

Leibniz, examinant les solutions de ses devanciers au problème des relations entre la chose pensante et la chose étendue, voit trois solutions possibles : « la première consiste dans l'influence mutuelle d'une horloge sur une autre ; la seconde dans le soin d'un homme qui y prend garde, la troisième dans leur propre exactitude, »⁴¹ soient trois systèmes causaux, même si dans la troisième hypothèse la causalité mécanique est conservée seulement pour la matière. Les trois solutions répondent cependant au principe de raison suffisante qu'il exprime différemment mais qui se retrouve dans diverses parties de son œuvre, en ébauche dans *le discours de métaphysique* (1685/87), au paragraphe XXI⁴²

Dans *la théodicée* (1710) :

« Il faut considérer qu'il y a deux grands principes de nos raisonnements : l'un est le principe de la contradiction qui porte que de deux propositions contradictoires l'une est vrai l'autre fausse ; l'autre principe est celui de la raison déterminante : C'est que rien n'arrive sans qu'il y ait une cause ou du moins une raison déterminante, c'est-à-dire quelque chose qui puisse servir à rendre raison a priori. »⁴³

Dans la *monadologie* (1712/14) au paragraphe 32 après le principe de non contradiction :

§32 « Et celui de la raison suffisante, en vertu duquel nous considérons qu'aucun fait ne saurait se trouver vrai ou existant, aucune énonciation véritable, sans qu'il y ait une raison suffisante pourquoi il en soit ainsi et pas autrement. Quoique ces raisons, le plus souvent, ne puissent point nous être connues »⁴⁴.

Il se retrouve également dans les *Echantillons des découvertes concernant de merveilleux secrets de la nature en général* (1668), dans la correspondance avec Arnauld et dans *les principes de la nature et de la grâce*⁴⁵ (1714) et en germe également dans *L'antibarbarus physicus*.

⁴¹ Leibniz, *Système nouveau de la nature et de la communication des substances*, Paris, Garnier Flammarion 1994, p. 84.

⁴² Leibniz, *Discours de métaphysique Monadologie*, édition établie par M. Fichant, Paris, folio essais, 2010, p. 18.8

⁴³ Leibniz, *Essai de théodicée*, introduction par J. Brunschwig, Paris, Garnier-Flammarion, 1969, § 44, p. 128.

⁴⁴ Leibniz, *Discours de métaphysique Monadologie*, déjà cité, p. 227.

⁴⁵ Leibniz, *Principes de la nature et de la grâce*, déjà cité, §7, p. 228.

Leibniz interprète le principe comme l'impossibilité qu'il y ait une chose sans que « la puissance, la connaissance, et la volonté parfaite, c'est à dire [...] une toute puissance, une omniscience, et une bonté souveraine »⁴⁶ qui sont en Dieu n'aient pas déterminé cette chose de façon à produire pour l'univers le meilleur plan possible. Leibniz selon le mot de Bayle « élève au-dessus de tout ce qu'on peut concevoir la puissance et l'intelligence de l'art divin ». Pour lui, la puissance divine est certes nécessaire mais l'entendement de Dieu intervient aussi. Entre plusieurs possibles, Dieu ne veut que ce qu'il trouve le meilleur. Car « on considère tous les possibles comme les objets de sa puissance, mais on considère les choses actuelles et existantes comme les objets de sa volonté décrétoire »⁴⁷. Aucun événement, « quelque petit qu'il soit, puisse être conçu comme indifférent par rapport à sa sagesse et à sa bonté »⁴⁸, Jésus a dit que tout était compté jusqu'aux cheveux de notre tête. L'infinie bonté de Dieu ayant observé tous les mondes possibles, n'a fait venir à l'existence que le meilleur dans lequel la place de chaque objet a une raison, même si celle-ci n'est visible que par Lui. « Dieu », dit expressément Leibniz au chapitre sept de sa troisième réponse, ne peut vouloir quelque chose « sans qu'il y ait aucune raison suffisante de sa volonté ». Nous n'entrerons pas dans le débat que soulève cette position face à la toute-puissance divine. Son exemple favori d'application était la présence de poids égaux sur des plateaux de balance suspendus à des bras égaux, il n'y avait pas de mouvement des plateaux, car rien ne pouvait justifier un tel mouvement. Si le principe de non contradiction régissait selon lui les mathématiques, le principe de raison suffisante régissait la physique, la métaphysique et la morale. Seule la complexité des causes interdisait que l'esprit puisse avoir une juste appréciation des effets. Bernoulli lui objecta la théorie des probabilités et que, de ce qui dépend d'une infinité de circonstances, donc dépassant la capacité de l'esprit humain, l'effet pouvait être connu. Le lancer d'un dé cubique et bien équilibré par l'intermédiaire d'un godet que l'on secoue dépend d'un nombre trop important de variables pour pouvoir être appréhendé par l'esprit. Toutefois le résultat est exprimable sous une forme mathématique. Le problème de la causalité retrouvait celui du déterminisme. Comme ces deux notions se trouveront constamment employées avec celle de nécessité, il semble utile d'en

⁴⁶ *Idem*, § 9, p. 229.

⁴⁷ Leibniz, *Essai de Théodicée*, déjà cité, p. 217.

⁴⁸ *Idem*, p. 220

donner des définitions.

Définitions provisoires

Or il s'agit sans doute de notions premières, insusceptibles de recevoir d'autres définitions que nominales, leurs synonymes ou leurs antonymes étant, souvent de façon subreptice, inclus dans leurs définitions. Sous ces réserves le déterminisme sera la doctrine qui dit que quel que soit le moment, d'un état de fait donné A, ne s'ensuive qu'un autre état de fait B. Ce qui implique que l'apparition de A produit nécessairement B. Le déterminisme implique la nécessité.

La nécessité est une modalité qui désigne ce qui doit être, qui ne peut pas ne pas être. L'exemple le plus cité de nécessité logique est le principe de non-contradiction, un attribut et son contraire ne peuvent en même temps être prédicat d'un même sujet. La nécessité métaphysique, si elle existe, serait fondée sur l'essence des choses, la chose est telle que son contraire est impossible, « Socrate ne peut être qu'un homme, et la prise de la Bastille un événement »⁴⁹.

La causalité est entendue sous plusieurs sens, nous distinguerons sommairement le principe de causalité et la relation de causalité. Le principe qui désigne le fait que tout événement B doit pour exister être produit par un autre événement A. L'usage du verbe produit, dont le synonyme est 'est cause', montre à quel point dans ce domaine il est difficile d'avoir des définitions non récursives. La relation désigne le lien qui doit exister entre A et B pour que A soit cause de B. Il pourra y avoir des causalités déterministes, les mêmes causes produisant les mêmes effets et des causalités non déterministes, les effets ont toujours besoin de causes mais celles-ci ne produisent pas les mêmes effets.

La causalité déterministe est incluse dans la notion de nécessaire.

Critique fondamentale

L'on connaît le texte kantien célèbre « Je l'avoue franchement : C'est précisément l'avertissement de David Hume, qui, il y a bien longtemps, me réveilla pour la première fois de mon sommeil dogmatique et donna à mes recherches dans le domaine de la philosophie spéculative une direction toute nouvelle »⁵⁰. Dans cette

⁴⁹ Extrait d'une conférence de Jean-Pascal Anfray, maître de conf. ENS

⁵⁰ E. Kant, *Prolégomènes à toute métaphysique future*, Trad. Brunschvicg, Paris, Hachette, 1891, p. 11

même préface des *Prolégomènes à toute métaphysique future*, Kant explique l'importance du problème de la causalité comme pivot de la métaphysique, il note que Hume ne fut compris de personne et qu'il ne lui fut répondu que par la philosophie « du sens commun ». Il faut donc, avant d'étudier la réponse kantienne avoir une notion précise du dit avertissement.

Nous nous appuyerons essentiellement sur l'*Enquête sur l'entendement humain*⁵¹, au motif que Hume, avant sa mort a inclus cet ouvrage parmi les quatre qu'il considérait comme exprimant l'état de sa pensée philosophique. Dans cet ouvrage la relation de cause à effet apparaît dès la section trois, consacrée à l'étude de l'association des idées. Avec les relations de ressemblance et de voisinage la causalité est présentée comme un des « grands principes de connexion de toutes les idées »⁵². Comme les démonstrations de Hume vont porter sur des exemples souvent repris et sur son affirmation de l'incapacité de ses adversaires à trouver des contre exemples, nous allons dégager, sans reprendre à chaque fois son argumentation, ses thèses fondamentales.

On ne peut a priori inférer l'effet de la cause

La première distinction de notre raison, porte selon Hume entre les idées et les faits. Du genre des idées sont la géométrie et l'algèbre, « toute affirmation qui est intuitivement ou démonstrativement certaine. »

Les faits ne partagent pas cette propriété. Le contraire d'un fait quelconque est toujours possible. La proposition « le soleil ne se lèvera pas demain » n'est « pas moins intelligible et elle n'implique pas plus contradiction que l'affirmation : il se lèvera »⁵³. Si une des deux propositions était démonstrativement fausse, l'esprit en percevrait la contradiction. Pour affirmer l'une ou l'autre de ces propositions notre esprit va élaborer un raisonnement fondé sur la relation de la cause à l'effet. C'est la seule façon de dépasser « l'évidence de notre mémoire et de nos sens ». Hume prend pour exemple un fait non constaté effectivement, la présence d'un ami en France. D'une lettre reçue ou de l'annonce par l'ami de son voyage notre esprit déduit une connexion entre le fait présent (l'absence de l'ami en Angleterre) et ce qu'il en infère (il est en France).

⁵¹ David Hume, *Enquête sur l'entendement humain*, présentation et note M. Beyssade, Paris, GF Flammarion, 2006, ci-après en abrégé *EEH*

⁵² *EEH*, p. 81

⁵³ *EEH* p. 85

Toute raison justifiant une inférence entre faits est un fait. La thèse centrale sera exprimée par Hume peu après : C'est une « proposition générale qui n'admet pas d'exception », « que la connaissance de cette relation ne s'obtient, en aucun cas, par des raisonnements *a priori* ; mais qu'elle naît entièrement de l'expérience. »⁵⁴. Des exemples célèbres suivent, Adam n'aurait pu inférer de la fluidité de l'eau qu'elle eut pu le suffoquer ou de la lumière du feu que celui-ci le brûlerait. Certes ajoute-t-il, nous sommes enclins à penser que nous pourrions découvrir ces effets par la seule raison et sans expérience, mais c'est une impossibilité.

Notre mémoire vient d'ailleurs à l'appui de cette thèse en nous faisant souvenance des expériences nouvelles que l'on a pu nous présenter. Deux plaques de marbre polies, glissent l'une sur l'autre par le côté mais sont difficilement séparables directement. L'esprit à leur vue ne pouvait prévoir cet effet, il aurait attendu que la séparation des plaques soit aisée. L'esprit est certes réticent à admettre qu'il ne peut découvrir par lui-même des effets, sans en avoir fait l'expérience, surtout à l'égard des événements que nous rencontrons fréquemment dans le monde. Pour eux en fait « la coutume ne masque pas seulement notre ignorance naturelle, mais elle se cache elle-même. »⁵⁵

A supposer que notre esprit doive inférer l'effet de la cause, comment devrait-il procéder ? S'il imagine un événement tenant le rôle d'effet, cet événement ne saurait être qu'arbitraire car l'effet est totalement différent de la cause, il est impossible de ne jamais l'y découvrir.

Lorsque deux boules de billard se heurtent, s'il s'agit de ma première expérience je ne peux prédire ce qui va se passer, immobilité des deux boules, mouvements des deux dans le même sens ou en sens contraire, mouvement d'une seule etc...Tous les raisonnements *a priori* ne sont pas capables de donner un fondement à notre préférence. Toutes les hypothèses auront le même degré de cohérence il n'est pas logique de donner la préférence à l'une d'elles.

Les raisonnements démonstratifs sont inefficaces

De son raisonnement sur l'impossibilité de déduire l'effet de la cause en l'absence d'expérience, Hume va déduire l'impossibilité de déduire les causes premières (qu'il appelle dernières). Par l'observation, l'expérience et l'analogie il

⁵⁴ *EEH*, p. 86

⁵⁵ *EEH*, p. 88

sera peut-être possible d'établir un raisonnement permettant de réduire les nombreux effets particuliers à un petit nombre de causes générales, mais les causes de ces causes générales demeureront inconnues. Il cite toutefois comme causes proches de ces causes dernières, l'élasticité, la gravité, la cohésion des parties, la communication du mouvement par impulsion. Il faut noter que ce ne sont pas des faits mais des lois ou des relations entre objets, ce qui est assez curieux mais significatif, car tout le chapitre précédent avait été consacré par Hume à des causes matérielles, eau, feu, boule de billard, etc.

L'appel aux mathématiques n'est pas « capable de remédier » à notre impossibilité de déduire a priori l'effet de la cause. Hume indique clairement que les mathématiques appliquées supposent « que la nature a établi certaines lois pour ses opérations »⁵⁶ et que l'on emploie des raisonnements abstraits. Mais l'accord du raisonnement mathématique avec les faits a été fourni par l'expérience. C'est elle seule qui a permis de déterminer que « la force d'un corps en mouvement est en raison composée de sa masse et de sa vitesse », la « découverte de la loi elle-même est due à l'expérience » et « tous les raisonnements abstraits du monde ne pourront jamais nous faire faire un pas pour arriver à la connaître ».

Hume distingue par ailleurs nettement la cause de l'effet, ainsi il signale que « l'effet est totalement différent de la cause » pour affirmer que par suite l'on ne peut jamais l'y découvrir⁵⁷ et il conclura son raisonnement sur le choc des boules de billard par « en un mot, tout effet est un évènement distinct de sa cause⁵⁸, on ne peut donc le découvrir dans sa cause.»

De causes semblables on ne peut déduire des effets semblables

La nature de nos raisonnements sur les faits utilise la causalité, nos raisonnements sur la causalité demandent l'expérience, mais « quel est le fondement des conclusions tirées de l'expérience ? », sa découverte paraissant très difficile, Hume se propose de donner seulement une réponse négative. Montrer que même après que nous avons eu l'expérience « des opérations de causalité » les conclusions que nous en tirons « ne se fondent pas sur le raisonnement ni sur aucune opération de l'entendement »,

⁵⁶ *EEH*, p. 91

⁵⁷ *EEH*, p. 89

⁵⁸ *EEH*, p. 89

Il prend l'exemple du pain. Nous savons que le pain a pour effet de nous nourrir mais ni nos sens ni la raison ne peuvent « nous informer des qualités qui le rendent propre à nourrir et à soutenir le corps humain »⁵⁹, car nous n'en percevons que des qualités sensibles, en dépit de cette ignorance nous prêtons les vertus du pain à tout ce qui ressemble à du pain. Hume s'interroge sur les fondements de cette opération de l'esprit. Les philosophes s'accordent dit-il sur le fait qu'il n'y a pas de rapport entre les qualités sensibles et les pouvoirs cachés (Il néglige toute la théorie des signatures voulant justement que l'aspect des plantes soit une indication de leur pouvoir médicinal), par suite il affirme que « l'esprit n'est porté à cette conclusion (envisager tout pain comme nourrissant), que parce qu'il connaît cette conséquence comme constante et régulière ». Mais il ne s'ensuit pas de cela que cette conséquence doive être constante. L'inférence qui dit que tout pain nourrit est tirée des expériences précédentes. Mais elle n'est pas la conséquence d'une chaîne de raisonnements. Et Hume met au défi de « produire ce raisonnement »⁶⁰.

La matière étant nouvelle, Hume propose de ne pas admettre cette conclusion négative sans examen. Il va distinguer les jugements démonstratifs, ceux qui utilisent les relations d'idées et les jugements qui concernent les faits et l'existence. Pour ces derniers il ne peut y avoir de preuve démonstrative car il n'y aurait pas de contradiction si des objets naturels semblables produisaient des effets différents. Nous constaterons le fait sans avoir pu le déduire par un raisonnement *a priori*.

Considérons le raisonnement permettant de fonder notre confiance sur les choses passées, il portera sur les faits et utilisera les notions de cause et d'effet, mais ces notions dérivent de l'expérience et toutes les « conclusions procèdent de la supposition que le futur sera égal au passé »⁶¹. Il y a évidemment un cercle puisque l'on se sert de l'hypothèse à démontrer dans la démonstration. Hume en conclut qu'après la répétition nous nous servons de la ressemblance. Des causes qui nous paraissent semblables, nous attendons des effets semblables. Si cette conclusion était formée par un jugement démonstratif elle serait parfaite. Mais il est facile d'en trouver un contre-exemple, des œufs tous semblables ont des goûts différents, des causes semblables produisent donc des effets différents. Le raisonnement sur la causalité tire de cent cas semblables la même conclusion qu'il aurait pu en tirer d'un

⁵⁹ *EEH*, p. 92

⁶⁰ *EEH*, p. 94

⁶¹ *EEH*, p. 95

seul. Hume ne peut ni trouver ni même imaginer la forme d'un tel raisonnement.

Dire que nous inférons une connexion entre des qualités sensibles et des pouvoirs cachés au terme d'une pluralité d'expériences, c'est dire que de causes semblables nous attendons des effets semblables avec des mots différents. Le processus d'argumentation qui mène à l'inférence n'est pas établi. Hume note toutefois l'inutilité de l'expérience dans un monde où l'invariance n'est pas constatable⁶².

L'accoutumance et la conjonction constante

Après avoir démontré que « dans tous les raisonnements tirés de l'expérience, l'esprit fait un pas qui n'est soutenu ... par aucune opération de l'entendement », Hume va chercher à établir le principe qui détermine l'homme à franchir ce pas, ce qu'il appelle « solution sceptique » des doutes précédents. Si en effet l'esprit « fait un pas « qui n'est soutenu par aucun argument »⁶³ et le fait toujours en présence d'une circonstance précise, il faut trouver quel est le principe qui le détermine. Il est impossible d'inférer l'existence d'un fait isolé de l'apparition d'un autre, mais si pendant un temps assez long, un homme remarque la « conjonction constante » de faits familiers, si la flamme d'une bougie le brûle toujours, il interférera alors de la présence du premier fait, l'apparition de l'autre. Le principe mis en évidence est donc l'accoutumance, l'habitude. Il permet de répondre à l'objection qui s'étonnait que l'on puisse tirer une conclusion de mille cas et non d'un seul. L'absence de raisonnement permettant de passer de la flamme à la brûlure, fera que ce fait sera toujours une simple constatation. Même son invariance et sa répétition ne permettront pas de créer le raisonnement logique passant de l'une à l'autre. L'inférence viendra avec l'accoutumance qui associera les deux faits. La mémoire est nécessaire pour pouvoir tirer des inférences. Découvrir des ruines dans un désert nous fait inférer de l'existence passée d'une civilisation, mais cela n'est possible que parce que nous avons lu et retenu des livres d'histoire. La conclusion Humienne sera que le fondement de notre croyance en la permanence d'une inférence réelle procède d'un « objet présent à la mémoire ou aux sens et d'une conjonction coutumière entre cet objet et un autre »⁶⁴.

⁶² *EEH*, p. 97

⁶³ *EEH*, p. 104

⁶⁴ *EEH*, p. 109

Hume distingue ensuite la différence entre fiction et croyance, la croyance est quelque chose de senti par l'esprit qui distingue « les idées du jugement » des « fictions de l'imagination », le sentiment de croyance est une conception plus « intense et plus stable »⁶⁵ que celle qui accompagne la pure imagination. Les principes de connexion des idées sont, comme annoncé plus haut, au nombre de trois, la ressemblance, la contiguïté et la causalité. Lorsque les idées sont reliées par un de ces trois principes elles renforcent leurs liens et font passer de la fiction à la croyance. Cela est évident pour la ressemblance et la contiguïté et doit être établi comme une loi générale des opérations de l'esprit. Mais la relation de causalité est particulière, elle commence en effet par un objet présent aux sens, et celui-ci a plus de force qu'une idée et rend la certitude de l'effet plus puissant « qu'aucune rêverie vague et flottante de l'imagination ». La relation de causalité en particulier donne « de la force et de la solidité à l'idée reliée »⁶⁶.

La probabilité lorsqu'elle est forte, ajoute également de la force à nos croyances. Notre notion de probabilité provient de ce que nous n'avons jamais observé d'exemple de manquement dans la production d'un effet singulier. Pour avoir lancé des milliers de fois un dé, nous observons que les tirages se répartissent également entre toutes ses faces, Si un dé avec mille faces est marqué neuf cent quatre-vingt-dix-neuf fois du même signe et une fois d'un signe différent, alors après un lancer, la croyance en la sortie du signe le plus fréquent sera extrêmement forte.

Hume transpose la probabilité des chances à la probabilité des causes, les causes invariables ont toujours produit les mêmes effets, donc la probabilité d'apparition de l'effet dans ce cas est égale à un. Nous l'attendons donc de façon certaine. Nous transférons donc dans le futur les événements passés.

Si les effets ne se montrent qu'avec une probabilité plus faible, comme le gel au mois de mars, nous transférons ces événements dans la même proportion (constatée par l'expérience) où ils sont apparus dans le passé et si cette proportion change nous recherchons la cause cachée du changement. Une telle opération de l'esprit est pour Hume difficile à expliquer dans « un des systèmes reçus de philosophie », elle implique en effet l'apparition d'une croyance dans la

⁶⁵ *EEH*, p. 112

⁶⁶ *EEH*, p. 117

permanence d'une fréquence alors même que nous ignorons la cause d'un seul événement.

La nécessité

« Toutes nos idées sont des copies de nos impressions »⁶⁷, les idées complexes étant formées par connexion des idées simples qui les composent. Il faut donc examiner l'impression qui est à la base de l'idée de nécessité. Après avoir rappelé les apories auxquelles conduit le problème de la relation entre le corps et l'esprit et avoir nié longuement que l'on puisse trouver en Dieu une cause première des faits que nous observons⁶⁸, Hume répète que nous ne pouvons jamais « découvrir que la succession de deux événements » et que lorsqu'une « espèce d'événements a toujours été et dans tous les cas conjointe à une autre » « Nous appelons l'un des objets cause et l'autre effet ». Il n'est pas possible d'atteindre dans la cause « une définition qui puisse désigner dans la cause, la circonstance qui la met en relation avec son effet »⁶⁹. Mais après cette remarque Hume va donner trois définitions de la cause: « Un objet suivi d'un autre et tel que tous les objets semblables au premier sont suivis d'objets semblables au second » et un objet « tel que, s'il n'avait pas existé, le second n'aurait jamais existé ». Puis en relevant que la transition « coutumière » conduit l'esprit de la cause à l'effet, il va terminer par cette définition, la cause est « un objet suivi d'un autre et dont l'apparition conduit toujours la pensée à l'idée de cet objet »⁷⁰. Ces définitions ont à son sens le mérite de ne pas introduire de synonyme du mot cause dans sa propre définition. Il précisera plus loin « Si l'on avait dit une cause est ce après quoi une chose existe constamment, nous aurions compris les termes de la définition. Car c'est en vérité tout ce que nous connaissons du sujet »⁷¹.

Hume a pris soin de faire porter son argumentation sur « l'idée de connexion nécessaire » et non sur 'la causalité'. Il différencie bien la conjonction des objets de leur connexion qui a la forme logique de la nécessité. Il montre en prenant pour exemple l'action de la volonté, que le pouvoir que nous prêtons aux choses de pouvoir être cause, « n'est pas copié de la conscience de notre pouvoir interne »⁷²

⁶⁷ *EEH*, p. 129

⁶⁸ En particulier en critiquant la théorie des causes occasionnelles de Malebranche

⁶⁹ *EEH*, p. 145

⁷⁰ *EEH*, p. 144

⁷¹ *EEH*, p. 165

⁷² *EEH*, p. 134

car nous n'en avons simplement aucune conscience.

La nécessité en tant que telle et non plus « l'idée de connexion nécessaire » est étudiée en parallèle avec la liberté. Une des difficultés de cette étude est que son vocabulaire emploie constamment les termes cause et effet en niant la relation causale, ou plutôt la possibilité de connaissance d'une relation causale. Mais après avoir remarqué que si tout « était entièrement nouveau, sans aucune analogie avec ce qu'on avait vu auparavant »⁷³, nous n'aurions jamais atteint l'idée de nécessité ou de connexion, Hume conclut que, quelle que soit la définition que l'on donne à la nécessité, soit « constante conjonction d'objets semblables » soit « inférence de l'entendement d'un objet à un autre »⁷⁴, elle n'est jamais justifiée que par l'accoutumance.

Synthèse

Les textes précédents, se voulant pragmatiques, dénués de langage philosophique technique, n'ont qu'une apparente simplicité. Leur analyse peut s'établir à deux niveaux, une explicitation des thèses présentées et une évaluation de leur pertinence. Il est évident que le deuxième ne peut être étudié que si l'on a établi le premier. Or pour le texte Humien les interprétations récentes sont divergentes des interprétations plus classiques, en particulier sur sa réelle affirmation de l'inexistence de la causalité⁷⁵. Ces divergences sont possibles car la causalité pose une double question, celle de son principe, 'tout effet a une cause',⁷⁶ et celle de la nature de la relation causale. Il est possible de les lire, ce fut le cas de ses contradicteurs immédiats, comme s'attaquant au principe plutôt qu'à la nature de la relation, la critique moderne considère plutôt l'inverse. Le même problème se pose d'ailleurs pour la nécessité. C'est pourquoi nous commencerons cette synthèse par les idées dont la présence fait consensus.

Les thèses clairement explicitées :

A) Il est impossible, sans expérience, d'inférer ce que peut produire la mise en relation d'un objet avec un autre, l'analyse d'une boule de billard ne peut permettre de prévoir ce que sera son comportement en cas de choc. Les arguments présentés

⁷³ *EEH*, p. 151

⁷⁴ *EEH*, p. 166

⁷⁵ M. Malherbe, *Qu'est ce que la causalité ?*, Hume et Kant, Paris, J. Vrin, 1994

⁷⁶ Ou plus précisément par exemple, Spinoza *Ethique*, trad B. Pautrat, Paris, Points, 2010. Axiomes III partie I, « Etant donné une cause déterminée, il en suit nécessairement un effet, et au contraire, s'il n'y a aucune cause déterminée, il est impossible qu'un effet s'ensuive »

par Hume n'ont pas été remis en cause et même si l'on infère ce que produira le choc de deux objets quelconques dont on n'a aucune expérience, le résultat attendu dépend de notre mémoire du choc d'objets similaires. Et de fait si l'on décrivait deux boules de billard au niveau de leur structure atomique, l'étonnant est qu'elles ne s'interpénètrent pas⁷⁷.

B) De même selon Hume « Il n'y a pas un pouvoir dans les choses »⁷⁸, ou du moins, il est évident que nous n'avons pas et ne pouvons en avoir l'expérience. Cette proposition est démontrée plus longuement dans le *Traité de la nature humaine*⁷⁹ que dans le texte que nous avons étudié où il est dit simplement que nous nous imaginons pouvoir par la seule raison, découvrir la qualité que possède une boule de billard de communiquer par choc un mouvement⁸⁰. La causalité n'est pas une propriété de la cause. Les pierres ne tombent pas parce qu'il est de la nature des graves d'aller vers le bas. La remise en cause de la physique des qualités d'Aristote est évidente, mais il est nécessaire d'apporter une nuance, c'était surtout la cause finale aristotélicienne qui était critiquée par les empiristes. Le bas n'était pas le lieu naturel vers lequel tendent les pierres mais les empiristes (Locke, Clarke et Cudworth) pouvaient conserver un pouvoir dans les choses d'être une cause. Cela épargnait d'avoir recours à Dieu pour donner le mouvement aux choses matérielles. Hume s'oppose aux deux conceptions. A la première lorsqu'il écrit « Descartes suggéra cette doctrine de l'efficace universelle et unique de Dieu sans y insister, Malebranche et d'autres cartésiens en firent le fondement de toute leur philosophie. Cette doctrine n'a toutefois pas d'autorité en Angleterre »⁸¹ et à la deuxième lorsqu'il rappelle que, lorsque nous appelons un pouvoir situé dans les choses, *vis inertiae*, « nous désignons seulement ces faits [un corps au repos ou en mouvement demeure dans son état jusqu'à ce qu'il en soit chassé par une nouvelle cause] sans prétendre avoir une idée du pouvoir d'inertie.

Mais les explications scientifiques ne se terminent-elles pas en termes de pouvoir ? Lorsque l'on trouve écrit, dans un ouvrage illustrant la pensée de Hume⁸² « La terre n'attire pas la pierre, parce qu'elle est la terre et parce qu'elle posséderait

⁷⁷ Voir annexe C

⁷⁸ *Idem* p. 24

⁷⁹ Hume, *traite de la nature humaine*, Paris, Aubier, 1946 livre I, 3^o partie, section 3, Trad. A. Leroy

⁸⁰ *EEH*, p. 83

⁸¹ *EEH*, p. 140, note 1

⁸² M Malherbe, *Qu'est-ce que la causalité ?*, Paris, Vrin, 1994, p. 17

en elle je ne sais quelle vertu ou puissance d'abstraction : Elle attire la pierre parce qu'elle entretient avec elle tel rapport précis eu égard aux masses et parce qu'elle se trouve à tel moment donné et à telle distance. » Il y a un accord avec ce que Hume refuse, c'est-à-dire le pouvoir qu'aurait la terre d'attirer. En remplaçant ce pouvoir par un rapport précis entre les masses et les distances l'explication ne fait que déplacer le problème. L'on peut lui répondre qu'elle ne fait que mesurer le pouvoir que possèdent les masses de s'attirer. Une explication plus fine, qui considérerait que les masses ne s'attirent pas, mais qu'elles courbent l'espace où elles sont situées, et que leur trajectoire suit des géodésiques dans cet espace courbe, supprime le « pouvoir d'attraction » mais lui substitue « le pouvoir de courber l'espace ». Là où apparaît la matière l'espace se courbe, est actuellement l'explication dernière. Même si elle s'est toujours moquée des « vertus dormitives » des médecins de Molière qui expliquent pourquoi l'opium endort, la science termine toujours ses explications par une vertu qu'elle a l'habileté de transformer en loi. Nous y reviendrons.

C) Hume affirme également clairement que seule l'accoutumance permet à l'esprit de dégager la relation de causalité entre deux faits que l'esprit voit toujours se succéder. La sensation de douleur, toujours produite par une flamme, conduit l'esprit à dire que la flamme est cause de la douleur. Cette création de la notion par accoutumance a été critiquée car « une habitude n'est rien qu'une habitude, elle instruit un comportement, elle ne fixe pas une règle »⁸³, emprunter le même trajet tous les matins est une habitude, d'autres trajets sont équivalents. En distinguant entre conjonction et connexion, Hume éclaircit le problème, nous voyons toujours une conjonction, nous en inférons une connexion.

D) Hume affirme également qu'après que la concomitance de deux faits a été vérifiée, (le pain et le fait d'être nourri par exemple) et que cette conjonction a été interprétée comme une causalité, il est impossible de construire un raisonnement permettant d'aller de la cause à l'effet. Prouver que nous ne pouvons sans expérience prévoir l'effet d'une cause, n'est pas prouver que cet effet une fois constaté, il soit impossible de l'expliquer. Hume avance que « nos conclusions tirées de l'expérience, ne se fondent pas sur le raisonnement, ni sur aucune

⁸³ *Idem*, p. 36

opération de l'entendement »⁸⁴. Mais alors que l'on peut comprendre qu'il sera impossible de connaître la totalité des causes qui conduisent du pain à la nourriture, et que l'on attend une démonstration de cette impossibilité, Hume argumente sur les pouvoirs cachés que nous prêtons aux qualités sensibles et qui nous font affirmer que tout ce qui ressemble à du pain nourrit. Cette inférence est certainement sans fondement rationnel, mais ce n'est pas le problème de départ. L'on est passé de l'affirmation d'une incapacité de la raison à la démonstration d'une erreur de raisonnement. De fait ce sera une des principales critiques portées à la conception Humienne qui semble nier les capacités explicatives de la science. Pour l'exemple considéré, l'étude de la digestion, de plus en plus fine permettra au moins de diviser le problème et si, *in fine*, on se heurtera à l'arbitraire d'une loi physique, établie certainement *a posteriori*, il est difficile de soutenir que la conclusion « ne se fonde sur aucune opération de l'entendement ». Les *regulae ad directionem ingenii* lui sont opposables.

Les thèses interprétables :

Au sujet de la nécessité, Hume affirme que nous ne pouvons jamais découvrir autre chose que la succession de deux événements, « sans jamais « comprendre la force ou le pouvoir qui fait agir la cause, ou la connexion qui la joint à son effet supposé ». Sa critique porte essentiellement, une fois encore, sur l'impuissance à connaître « le pouvoir qui dans l'un, lui fait infailliblement produire l'autre ». Elle ne porte pas sur une possible instabilité des lois naturelles ou sur une confusion dans une échelle de probabilité, où un événement très probable est pris pour certain. Mais l'impuissance de l'esprit à comprendre la connexion qui joint la cause à l'effet est-elle la preuve de l'inexistence de la nécessité ? Lorsqu'il énonce qu'une « régularité du passé ne prouve pas une régularité dans l'avenir », Hume met seulement en cause notre incapacité à définir un mécanisme nécessaire, il ne prouve pas son inexistence. Pour comprendre sa pensée, Il faut revenir au *traité de la nature humaine*⁸⁵ qui affirmait clairement : « La nécessité est quelque chose qui existe dans l'esprit, mais non dans les objets ». Et il ne s'agit pas là de la négation d'une « puissance » qui serait dans l'objet, mais bien de la succession d'événements. D'ailleurs le fait même d'avoir étudié les probabilités avant la nécessité montre la

⁸⁴ *EEH*, p. 92

⁸⁵ Hume, *traité de la nature humaine*, Paris, Aubier, 1946 livre I, 3^e partie, section 14, p. 252

propension de Hume à penser que nous ne pouvons que nous attendre très probablement à ce qu'un même effet suive une même cause, mais que, comme le chiffre qui résulte du jet d'un dé, cet effet n'a qu'un caractère probabiliste.

A ce sujet notons au passage que dans son emploi des probabilités, Hume utilise un raisonnement circulaire, la probabilité d'un événement est le quotient du nombre des cas favorables sur les cas possibles, mais ces événements possibles doivent être équiprobables. La probabilité est utilisée dans sa propre définition.

Il semble donc que Hume nie la nécessité, l'esprit en conçoit l'existence, mais il n'y a pas de nécessité physique.

Quant au principe de causalité est-il vraiment remis en cause ? Il est absolument clair à la lecture de Hume que l'on ne peut a priori déduire l'effet de la cause ni d'un effet déduire une cause mais il définit ce que sont la cause et l'effet comme des événements dont l'apparition a toujours été conjointe, et il donne de la cause et de l'effet des définitions fondées sur l'expérience. Donc si la causalité n'existe pas, il existerait au moins des événements que nous nommons cause et effet.

Si le principe de causalité implique que l'effet suit nécessairement la cause, alors en ayant avancé que la nécessité n'existe pas dans les objets, il est clair que Hume ne peut retenir une telle définition de la causalité. Mais si l'on reprend ses propres définitions de la cause, elle est telle qu'elle conduit toujours l'esprit vers l'effet. Que celui-ci ne puisse concevoir la nature de liaison entre les deux objets ne prouve pas l'inexistence d'une relation causale. Nous avons dit que le problème de la relation causale est double, il y a la question du principe et une question sur la nature de la relation causale. En démontrant que la nature de la relation causale nous restera inconnue, Hume ne remet pas en cause le principe de causalité qui permet une compréhension de l'univers, il montre seulement que l'esprit le déduit de l'expérience sans pouvoir le justifier par une opération de l'entendement. Selon un langage kantien ici anachronique et sans doute inapproprié tant le rappel de l'expérience nécessaire est constant, il est *a priori*. Cette possibilité d'interprétations divergentes des thèses de Hume est également due à la faiblesse de sa définition de la cause. De fait elle n'arrive qu'assez tard dans son ouvrage, la cause étant auparavant ce que le sens commun désigne ainsi. Or aux définitions de la cause de Hume l'on peut opposer des contre exemples, si un effet peut résulter

de plusieurs causes, si le pain et le riz nourrissent également, alors sa définition contrefactuelle ne joue pas, supprimer le pain ne supprime pas la bonne santé. Mais surtout si notre esprit établit une relation de causalité entre deux faits contigus et successifs dont l'apparition est fréquente, il y a des cas où il ne le fait pas. Personne ne dit que la nuit est la cause du jour ou que la lumière de l'éclair est la cause du tonnerre. Ces faits pour lesquels nous ne concevons pas de rapport causal tendent à prouver que la source de l'idée de causalité n'est pas dans la seule succession ou entièrement comprise dans les trois définitions Humienne. Il faudra donc étudier plus précisément ce que l'on entend par connexion et comme la nature de la connexion influera sur celle des éléments qui peuvent être connectés, donc sur ce que l'on entend comme cause et effet, le risque de raisonnement circulaire est réel.

Défense

Ce qui ne sera qu'un survol des thèses de Wolff sur la causalité est apparue nécessaire pour aux moins trois raisons : Il a échoué à donner un sens à la relation causale dans le cadre d'une philosophie rationnelle avant que les écrits de Hume ne parviennent en Allemagne, il est selon Michel Puech incontournable pour comprendre la position de Kant et il va permettre une critique du projet de recherche d'une théorie de la causalité, épurée des affirmations contestées par la science.

Wolff tente aussi de répondre à la question, « Pourquoi sommes-nous certains des lois fondamentales de la nature, puisqu'elles nous sont données par l'expérience ? »⁸⁶. Souhaitant amener la philosophie à la certitude, il tente de construire un système logique à partir de définitions et d'axiomes. Il veut construire un rationalisme non théologique. La raison pure doit mener à une doctrine des fondements. Ecartant Dieu, elle va la trouver dans les principes leibniziens de non contradiction et de raison suffisante. Sa métaphysique sera essentiellement ontologie, et les connaissances scientifiques et la logique devront permettre de clarifier « l'ontologie naturelle » qui est celle de chacun. Elle promet d'apporter une solution au problème de la causalité. Wolff pense prouver le principe de raison suffisante à partir du principe de non contradiction, « si rien est la raison de quelque chose, alors rien contient quelque chose, comme rien ne contient rien, alors rien n'est pas la raison de toutes choses, donc toutes choses ont une raison. » Cette

⁸⁶ Michel Puech, *Kant et la causalité*, Paris, Vrin, 1990, p. 73

démonstration lui sert à donner un unique fondement au principe de causalité, et sur la nature de la relation causale, Wolff répond par une cosmologie rationnelle. La cause est la raison ou le principe de l'actualité de chaque être possible. (Le principe de non contradiction permet de concevoir des possibles, pas de passer du possible à l'existant, de fait supprimer Dieu du système de Leibniz oblige à considérer l'ensemble des mondes possibles⁸⁷). La cause « rend raison de la présence de l'objet dans le monde » et définit en même temps sa nature. Cette cause est une cause efficiente. Il met en place une « théorie des séries causales temporelles » qui est la science du monde ou de l'univers ; Le monde consiste en choses connexes, cette connexion étant le fait pour chaque chose de recevoir sa raison suffisante de la part de sa cause efficiente. Le devenir est une chaîne ou série causale qui se déploie selon la nécessité, « les valeurs de nécessité et de réalité parcourent tous les termes de la série successivement, ce qui atteint son existence par l'action est appelé effet,...ce qui par son action porte à l'existence est appelé cause ». Mais le mécanisme de la production reste non élucidé.

La substance chez Wolff est ce qui reste identique dans le changement. Il appelle *elementa* et non monades les substances simples. De l'état de chaque *elementum* on peut déduire ses états passés et ses états futurs. Il y a entre les *elementa* un *nexus elementorum*, qui les lie en un tout par une relation harmonique. Wolff considère que la physique n'a pas à se préoccuper des *elementa*, elle ne le peut d'ailleurs pas, ce sont des points métaphysiques. Elle doit créer un système explicatif à partir des lois mécaniques qui régissent des 'forces dérivées', *vires derivatae*.

Des problèmes apparaissent assez rapidement. Entre le *nexus elementorum* qui dérive de l'harmonie préétablie Leibnizienne à laquelle s'est rallié Wolff et l'ordre physique du monde il y a incompatibilité de principes ou du moins insuffisance d'explication du rapport entre les deux, il n'y a pas, par exemple, de possibilité d'action d'un *elementa* sur un autre, alors qu'il y a efficacité causale d'une chose sur une autre. De plus, utiliser la notion de possible comme fondement d'une ontologie était également hasardeux puisqu'elle doit aussi penser l'existence.

L'échec de Wolff, selon M Puech, « n'est nulle part aussi clair que dans la

⁸⁷ De fait, cette ontologie est très actuelle, une partie de la philosophie analytique ne s'intéressant qu'aux 'mondes possibles'

question de la causalité... Wolff n'est capable ni de définir la nature de la relation causale, ni de fonder métaphysiquement la validité du principe de causalité »⁸⁸.

Les successeurs de Wolf n'apporteront pas de réponse au problème de la causalité qui apparaîtra de plus en plus comme une crise de la métaphysique allemande. C'est pourquoi la confiance de Kant rendant Hume responsable de son réveil est à relativiser, Hume était responsable d'une attaque directe de la causalité, la métaphysique Wolffienne n'avait pas réussi de son côté à lui trouver un fondement satisfaisant.

La critique d'une ontologie épurée

Nous avons annoncé que la critique du projet Wolffien pouvait servir de support à une des visées de cette étude, qui est de dégager des affirmations métaphysiques sur la causalité qui ne seraient, aux yeux de la science, plus tenables. La critique s'articule sur trois axes mis en lumière par M. Puech⁸⁹, elle reproche à une telle recherche, sa logicisation, son épistémologisation et sa psychologisation. Examinons ces trois griefs et rapportons-les à la situation scientifique contemporaine et au présent projet.

La logicisation ; la science de l'être considéré comme possible est fondée sur le principe permettant la possibilité, celui de non contradiction. L'être dont elle s'occupe est essentiellement « déterminable et susceptible de recevoir des prédicats logiques qui en énoncent les propriétés »⁹⁰. Ces prédicats ne peuvent pas être contradictoires entre eux. Les fondements sont réduits à un minimum « précisément à ce minimum qui n'a pas besoin de Dieu et de sa volonté ». Le principe de non contradiction est la seule connaissance *a priori* qui assure son fondement. Si le projet de logicisation de Wolff a été un échec il semble que c'est son ambition à fonder positivement des thèses ontologiques qui en est responsable. Eliminer des propositions obsolètes est infiniment plus simple. Cependant l'outil fondamental reste le principe de non contradiction, il est toujours insusceptible d'être prouvé car, comme l'a montré Aristote, toute preuve du principe utiliserait le principe. Mais ce ne peut être un reproche, il s'agit d'avoir une axiomatique et plus elle est réduite, plus rares sont les possibilités de contradiction en son sein. Cependant il faut être

⁸⁸ Michel Puech, *Kant et la causalité*, Paris, Vrin, 1990, p. 91

⁸⁹ *Idem*, p. 80

⁹⁰ *Idem*

conscient des problèmes engendrés. Si l'être ne peut recevoir des prédicats contradictoires alors il va être difficile par exemple de définir ceux qui sont applicables à ce que l'on appelle particule élémentaire.

L'épistémologisation ; elle réduit la métaphysique de Wolff à une théorie de la connaissance. Selon M. Puech, la *ratio*, qui demeurait chez Leibniz un principe ontologique se réduit à la *ratio cognoscendi*. Il subsistait malgré tout chez Wolff une présence de la raison dans la cause, « Lorsque qu'une chose A contient en elle quelque chose à partir de quoi on peut comprendre pourquoi B est, ... on appelle cela raison (Grund) de B et on appelle A cause de B »⁹¹. Vouloir dégager grâce à la science, l'ontologie de propositions intenable est certes une épistémologisation, mais elle n'est pas réductrice, le principe de raison suffisante peut subsister tant qu'il ne conduit pas à une contradiction avec un fait.

La logification ; son ontologie conduit Wolff, selon son analyste, à « réduire les principes logiques à de simples modes opératoires de l'esprit humain ». Cette psychologisation interdit à sa métaphysique d'être une doctrine des fondements. Ce manque explique par exemple que les notions de possible et d'impossible sont jugées à l'aune du bon sens et de la pratique des mathématiciens. Si cela peut être dirimant pour la fondation d'une ontologie, cela est sans conséquence sur le projet défini plus haut.

La synthèse kantienne

Nous ne nous attarderons pas sur la réflexion de Kant concernant la cosmologie de Baumgarten qui se dégage de ses écrits antérieurs aux *critiques* et qui est mise en lumière par M. Puech à partir des *reflexionen*. Il faut cependant savoir que dans les années qui suivent 1770 dans sa recherche d'un nexus qui permettrait de penser le monde comme une totalité, Kant envisage le principe de coordination comme une possibilité à côté de celui de subordination, la synthèse de la raison est « ou bien celle de la coordination : le tout et les parties, le nombre et l'unité, ou bien celle de la subordination : raison et conséquence » (Ak, 17, 354)⁹². Le choix d'une synthèse qui serait une coordination réelle et objective entre les substances du monde, évite sans doute de se poser le problème de la causalité mais n'en demeure

⁹¹ *Idem*

⁹² Comprendre : Kant, *Gesammelte Schriften*, Berlin, édition de l'académie, 1902, t 17, p.354, Toutes les références Ak proviennent de *Kant et la causalité*, déjà cité

pas moins pas très clair. Certes Kant précise que : « le *nexus* qui constitue la forme essentielle du monde est considéré comme le principe des influx possibles des substances qui constituent ce même monde » (Ak, 2, 390), mais cela en absence d'une définition précise de ce qu'est un 'influx' ressemble assez à une solution « purement verbale ».

Nous citerons toutefois, un ouvrage que M. Puech ne prend pas en compte, paru en 1755 sous le titre *Histoire générale de la nature et théorie du ciel*, Kant y développe une théorie qui sera connue sous le terme « d'univers iles »⁹³ où la matière cosmique se structure selon les lois dégagées par Newton à partir des irrégularités d'un chaos initial. Il le dépasse et le complète car celui-ci imaginait le système créé par Dieu dans un état proche de celui qui lui était contemporain. Kant se déclare satisfait de pouvoir fournir, sauf pour la création du chaos initial, une explication entièrement causale.

Nous prendrons cependant pour référence fondamentale de la pensée de Kant les textes de la *critique de la raison pure* mais ne pouvons pas ne pas retenir un moment important de la formation de cette œuvre, contenu dans les *reflexionen* 4674 à 4682 (vers 1775) qui mettent « en relief la prééminence du principe de causalité dans la mise en place des doctrines critiques les plus importantes »⁹⁴, Kant y expose sans systématisation ce qui sera la solution donnée dans la critique, « A ne peut être déterminé dans le temps, lorsqu'il survient, qu'au moyen d'une règle. Aucune expérience de A ne peut donc avoir lieu sans règle. Le principe de raison suffisante est donc un principe de la règle de l'expérience »⁹⁵.

Dans la *Critique*, avant d'aborder la question de la causalité, Kant met en place l'espace et le temps comme formes des phénomènes des sens externe et interne. Pour la compréhension de son exposition de la causalité il faut se souvenir que le temps n'est « pas quelque chose qui existerait pour lui-même ou qui serait attaché aux choses comme une détermination objective »⁹⁶, le temps n'est « rien d'autre que la forme du sens interne, c'est-à-dire de l'intuition que nous avons de nous-mêmes et de notre état intérieur »⁹⁷. Après cela il définit les concepts originaires purs

⁹³ Baptisés ainsi par A. Von Humboldt dans *Kosmos*, 1847-1859

⁹⁴ *Kant et la causalité*, p.366

⁹⁵ *Idem*, citation de *Reflexionen* 4680

⁹⁶ Kant, *Critique de la raison pure*, traduction Alain Renault, Paris, GF-Flammarion, 2006, p.128, ci-après *CRP*

⁹⁷ *Idem*

ou catégories de l'entendement articulées selon la quantité, la qualité, la relation, et la modalité. Ensuite viennent logiquement les principes « de l'entendement pur » qui se rapportent à la manière d'user des catégories précédentes. Ces principes gouvernent les jugements qui ont déjà été définis comme appartenant à deux grands groupes, analytiques et synthétiques. En matière de jugements analytiques, qui ne mettent en œuvre qu'un concept, le principe suprême est celui de non contradiction, « à nulle chose ne convient un prédicat qui la contredise »⁹⁸, mais Kant note que ce principe ne peut être applicable que si on lui ajoute la précision « en même temps ». En matière de jugement synthétique qui nécessite deux concepts, il faut certes sortir du premier concept pour considérer son rapport avec l'autre, mais il faut encore connaître la nature du rapport qui est « comme le *médium* de tous les jugements synthétiques⁹⁹ ». Ce médium est la possibilité de l'expérience, puisque seule elle donne de « la réalité objective à toutes nos connaissances *a priori*. ». La recherche des conditions de l'expérience conduit alors Kant à montrer que des principes de l'entendement pur peuvent être exprimés ainsi : « Tous les phénomènes sont, quant à leur intuition, des grandeurs extensives »¹⁰⁰. « Tous les phénomènes sont, quant à leur existence, soumis *a priori* à des règles déterminant les rapports qu'ils entretiennent dans un temps »¹⁰¹. Ou bien que « Tous les phénomènes contiennent quelque chose de permanent constituant l'objet même, et quelque chose de changeant, correspondant à une simple détermination de cet objet, c'est-à-dire à un mode de son existence. ». Kant a déjà défini que les trois modes du temps sont la permanence, la succession et la simultanéité. Tous les éléments sont donc en place, pour aborder comme « deuxième analogie de l'expérience », le « Principe de la succession chronologique selon la loi de causalité », il dispose en effet de la constitution d'un objet, de son extension dans l'espace, de sa permanence dans le temps, et de la notion de changements successifs. Il énoncera ce principe comme « Tous les changements se produisent d'après la loi de la cause et de l'effet », il faut noter que dans la première édition sa formulation était différente : « Tout ce qui se produit (commence d'être) suppose quelque chose à quoi il succède d'après une règle ». Il va ensuite en donner une preuve de ce principe, que nous allons

⁹⁸ CRP, p.232

⁹⁹ CRP, p.234

¹⁰⁰ CRP, p.239, ce principe est appelé axiome de l'intuition

¹⁰¹ CRP, p.249, la formulation de la première édition a été retenue car plus explicite.

examiner en suivant au plus près son texte.

La preuve du principe

« Je perçois que les phénomènes se succèdent, ..., je relie donc proprement deux perceptions dans le temps. Or une telle liaison n'est pas l'ouvrage du simple sens et de l'intuition, mais elle est ici le produit d'un pouvoir synthétique de l'imagination laquelle détermine le sens interne relativement au rapport chronologique ». Nous sommes ici dans la partie relative aux jugements synthétiques, il faut donc qu'il y ait au moins deux événements constitués en tant qu'événement. Cette constitution est supposée réalisée ici, l'imagination fait alors le lien entre les deux événements selon ce qui était déjà défini comme un mode du temps, la succession. Tout en conservant l'identité des deux événements, l'imagination les relie.

« Toutefois l'imagination peut associer les deux états évoqués de deux manières, en sorte que l'un ou l'autre intervienne en premier dans le temps ; car le temps ne peut être perçu en lui-même et c'est en relation à lui, pour ainsi dire empiriquement, que l'on peut déterminer dans l'objet ce qui précède et ce qui vient ensuite. ». Ce paragraphe qui présente de nombreuses difficultés, énonce d'abord la possibilité pour l'imagination de placer dans l'ordre qu'il lui plaît deux événements. La justification donnée, car le temps ne peut être perçu en lui-même semble pertinente. Nous ne percevons pas le temps, nous percevons 'dans' le temps. Mais alors l'imagination qui ne pouvait placer les événements dans le mode permanent car il y a changement n'aurait-elle pas pu les placer dans le mode simultané ? Et cette possibilité de placement de deux manières heurte la compréhension car elle est associée à un mode empirique où l'ordre de succession n'est plus à la merci de l'imagination. Cette difficulté de compréhension est due à ce que nous donnons au temps un caractère non kantien, il semble difficile que l'ordre des perceptions ne s'impose pas à l'imagination, mais à ce moment, dans la *Critique*, l'imagination a la possibilité de construire la liaison des deux états comme il lui plaît, comme un monteur qui prendrait au hasard les images d'un film. Nous percevons des choses et les perceptions sont placées dans le temps, si elle n'avait pas de règle l'imagination pourrait les mettre dans n'importe quel ordre, car le temps dans lequel nous les mettons n'est pas un temps perçu mais le cadre de la perception.

« Je suis donc conscient uniquement du fait que mon imagination place un des termes avant, l'autre après et non pas que dans l'objet, un état précède un autre, ou, pour le dire autrement : le rapport objectif des phénomènes qui se succèdent reste non déterminé par la simple perception. »¹⁰² Nous sommes face à la même difficulté. Elle sera résolue en partie plus loin en considérant les perceptions successives d'une maison et d'un bateau qui descend le courant, la perception de la maison peut être d'abord celle du toit puis celle des murs ou celle des murs puis du toit, pour le bateau celle en aval et celle en amont du fleuve, la perception n'établit aucune différence dans les deux cas. Pour reprendre la métaphore du monteur, il va falloir lui donner une règle pour que son film ait un sens.

« Dès lors, afin que ce rapport soit connu dans sa détermination, il faut que le rapport des deux états soit pensé de telle manière que soit par-là déterminé comme nécessaire lequel des deux doit être placé en premier, lequel en second et non pas inversement ». L'imagination, dans le cas du bateau, construit le rapport des perceptions en plaçant la perception de l'amont avant la perception de l'aval, et ce rapport doit être pensé comme nécessaire.

« Or le concept capable d'introduire une nécessité de l'unité synthétique ne peut être qu'un concept pur de l'entendement, lequel ne se trouve pas dans la perception ». Conséquence logique de l'incapacité de la perception d'ordonner par rapport au temps et de la nécessité de le faire, l'entendement devra se charger de l'organisation, mais il ne peut le faire *a posteriori*, car l'expérience même, sans *a priori* lui serait incompréhensible.

« Il s'agit ici du concept de la cause et de l'effet dont le premier terme détermine le second dans le temps, comme constituant une conséquence et non pas comme quelque chose dont on pourrait simplement imaginer qu'il puisse précéder... (Ou qui pourrait ne pas être perçu du tout) ». Kant donne là un simple nom de baptême au concept qui permet de déterminer l'ordre de la succession dans le temps. A ce stade nous n'avons encore qu'une simple succession qui résout mal le paradoxe de la maison (perception du toit et des murs permettant de construire un objet aussi bien que la perception des murs puis du toit) et la nécessité n'est apparue que dans la construction de l'unité, elle n'appartient pas au concept.

Pour pouvoir donner des exemples d'expériences de la mise en œuvre d'un tel

¹⁰² CRP, p.259 l'ordre des propositions a été modifié par rapport à la traduction.

concept, Kant va devoir rappeler la synthèse de 'l'objet' à travers des appréhensions successives. Les phénomènes sont aussi des objets de la conscience, en tant que tels, ils ne se distinguent pas du tout de l'appréhension, « c'est-à-dire de ce qui fait qu'ils sont admis dans la synthèse de l'imagination ». Mais le divers des phénomènes est toujours produit dans l'esprit de façon successive, si les phénomènes étaient des choses en soi « nul ne pourrait mesurer ».

Mais quel est le type de l'association du divers des phénomènes ? Kant reprend alors les deux événements exemplaires, la perception d'une maison et celle d'un bateau descendant un fleuve. Ce sont deux phénomènes distincts des choses en soi, des représentations dont « l'objet transcendantal est inconnu ». Dans la perception du bateau il est impossible de le percevoir en aval avant de le percevoir en amont, mais l'on peut très bien percevoir le toit d'une maison avant d'en percevoir les murs. Pour la maison il n'existe aucun ordre nécessaire que devraient suivre les perceptions successives, il n'y a pas besoin de règle pour lier empiriquement le divers de la perception. Pour le bateau il n'en est pas de même car dans son cas « quelque chose arrive qui n'était pas auparavant ». C'est donc toujours « par référence à une règle, d'après laquelle les phénomènes sont déterminés dans leur succession...que je rends objective ma synthèse subjective »¹⁰³. Par ailleurs dans le cas où il n'y aurait, avant un événement, nul autre événement auquel il devrait succéder selon une règle, mais qu'il en existe malgré tout, alors « notre perception ne distinguerait nullement un phénomène de n'importe quel autre sous le rapport du temps »¹⁰⁴. Nous ne pourrions avoir de connaissance d'un quelconque objet.

Kant constate que cette conception s'oppose à celle de Hume pour lequel la découverte d'une règle est provoquée par la comparaison de nombreux événements ultérieurs, succédant 'de façon concordante' aux mêmes événements antérieurs. Le concept de cause n'est pas empirique, il est *a priori* comme possibilité de liaison des événements successifs.

Mais la théorie de Kant, à ce moment du raisonnement, peut être soumise à la même critique que celle de Hume, d'une succession constante d'événements, une relation causale ne peut être dans certains cas envisagée (le jour n'est pas cause de la nuit). Aussi Kant va-t-il tenter de prouver par un 'exemple' qu'il faut qu'il y ait

¹⁰³ *CRP*, p. 262.

¹⁰⁴ *Idem*

une règle qui implique la nécessité d'observer un ordre des perceptions plutôt qu'un autre. Kant explique cette nécessité par la perception d'une autre nécessité. En effet, c'est si nous percevons qu'il y a dans la succession « une relation à l'état précédent » et que « c'est en rapport avec l'état précédent, que le phénomène obtient sa succession chronologique ». Alors dans ce cas, nous ne pouvons inverser la série et si l'événement est posé, l'événement postérieur suit « inévitablement et nécessairement ». Puis reprenant son argumentation en des termes à peu près semblables à ce qu'il a précédemment exposé, Kant donne une preuve du principe de raison suffisante, fondement de la connaissance objective des phénomènes « relativement à la façon dont ils se rapportent les uns aux autres dans la succession du temps »¹⁰⁵.

La raison suffisante est entendue comme une cause efficiente et Kant précise bien que le raisonnement ne porte que sur les phénomènes, pas sur les choses en soi.

Kant termine en notant que la succession dans le temps ne remet pas en cause la simultanéité de l'effet et de la cause. Un poids posé sur un coussin le déforme au moment même où il y a été posé. La succession est préservée car avant que le poids ne soit là, le coussin n'était pas enfoncé. L'absence d'effet en l'absence de cause valide le principe de succession.

Discussion

Il n'est que de lire un peu de la production qui tente d'éclaircir le passage consacré à la deuxième analogie de l'expérience que nous venons de parcourir pour se persuader qu'il est sans doute impossible de décider de la pertinence des démonstrations kantienne. Peu de temps après la parution de la *Critique* des philosophes aussi différents que G.E. Schulze ou S. Maimon l'ont combattue. Une étude de leurs objections, réalisée au 5^e congrès de la société d'études kantienne fait ressortir une des difficultés principales de compréhension. Elle réside dans l'explication que donne Kant lui-même de l'opération de l'entendement : « il transfère l'ordre du temps aux phénomènes et à leur existence, en attribuant à chacun d'eux, à titre de conséquence, une place déterminée a priori dans le temps, vis-à-vis des phénomènes précédents, faute de quoi il ne s'accorderait pas avec le temps lui-même qui détermine pour toutes ses parties la place qui leur revient. Or

¹⁰⁵ *CRP*, p. 266

la détermination de ces places ne peut pas être tirée du rapport des phénomènes au temps absolu. Mais les choses se passent à l'envers, les phénomènes doivent se déterminer les uns aux autres leurs places dans le temps lui-même et rendre ces places nécessaires dans l'ordre du temps.»¹⁰⁶ Rapportés aux exemples choisis par Kant il semble qu'il y ait au moins deux difficultés, d'abord l'ordre des perceptions du bateau est successif dans l'expérience et l'on voit mal comment les deux phénomènes qui sont *a posteriori* pourraient user d'une règle *a priori* leur place dans le temps.

Ensuite le principe qui permet la condition de l'expérience (la causalité), résulte de l'expérience puisqu'il n'intervient que lorsqu'il y a changement lorsque quelque chose arrive qui n'existait pas auparavant donc lorsqu'il y a déjà une expérience.

L'on pourrait également, en reprenant encore la métaphore du monteur de film, si tant est qu'elle soit pertinente, objecter que l'ordre des images est donné par la règle qui veut que le film soit cohérent, mais sa cohérence n'est assurée que par la causalité qui doit unir une image à celle qui la précède, et que la causalité est définie comme le principe qui rend le film cohérent

En installant le principe de causalité dans l'*a priori*, et en le limitant aux phénomènes, Kant répond certes à Hume qui ne le voyait que comme une simple conséquence d'une répétition constatée. Il devient dans une interprétation minimale simplement une notion dont nous nous servons pour donner une cohérence à la succession des phénomènes. La causalité est le pouvoir de déterminer le sens interne relativement au rapport chronologique. Qu'il y ait une vraie démonstration Kantienne peut laisser sceptique, Il semble cependant qu'il ne pouvait concevoir les phénomènes qu'interagissant de façon causale, nous avons déjà cité ses recherches en astronomie, mais cela transparait aussi dans sa solution de la troisième analogie de l'expérience qui n'est qu'une extension de la seconde (ce que constatait un de ses contemporains C.G. Schütz, lettre à Kant 10/07/1784). Sa notion de causalité lui permet de concevoir la liberté comme la capacité à instaurer un commencement, il n'y a jamais dans la nature qu'un commencement subalterne, donc jamais de premier commencement, donc aucune complétude de la série des causes. La liberté est la capacité à pouvoir commencer un état. La liberté est une cause fondant le

¹⁰⁶ CRP, p. 265

commencement d'une série de phénomènes.

Toutes les argumentations qui suivent A 444 et A 445, emploient les notions de succession de commencements, c'est-à-dire des notions temporelles. Elles relient toutes liberté et causalité mais à l'intérieur du temps.

Tous les phénomènes en général se trouvent donc placés dans des relations temporelles, mais pour les choses en soi ? Il est dénié au temps (A36) toute réalité absolue. Du rapport des choses en soi au temps on peut au minimum ne rien dire, assez aisément conclure que le rapport n'existe pas. Mais si les choses en soi sont hors du cadre temporel, y a-t-il une causalité au niveau de la chose en soi ? Une causalité transcendantale ? Ce serait une possibilité de résoudre le troisième conflit des idées transcendantales qui s'interroge sur l'existence d'une liberté face à une causalité qui fait que tout arrive dans le monde uniquement d'après les lois de la nature. La causalité au niveau des phénomènes est liée à la forme du temps, « L'action causale d'un être, en tant que phénomène, et par conséquent telle qu'elle a lieu dans le temps, est toujours déterminée par une action que cet être a antérieurement subie et ainsi de suite. » mais pour les noumènes il est possible qu'un être considéré comme chose en soi, exerce par rapport à ce même événement une causalité d'un autre genre, qui échappe à la forme du temps. « Cet objet agissant, ne serait donc soumis, selon son caractère intelligible, à aucune condition de temps, car le temps est seulement la condition des phénomènes, pas des choses en soi »¹⁰⁷. Cette causalité n'est pour nous l'objet d'aucune intuition. Elle ne pourrait pas être connue, seulement pensée. Dès lors il existe une possibilité de résoudre la troisième aporie en distinguant phénomène et noumène. Ce sujet a été abordé durant la séance du 27 octobre 1904 de la société de philosophie, étaient présents, Bergson, Couturat, Delbos et Parodi qui a déclaré : « Liberté ne veut rien dire de plus, dans le sens de la troisième antinomie, que possibilité d'une autre espèce de causalité que celle qui est soumise à la forme du temps. Cette liberté permet de résoudre la troisième antinomie en permettant d'admettre quelque chose au-delà du mécanisme, elle reste un postulat. »

La remise en cause de la causalité par Hume a porté essentiellement sur notre incapacité à la définir autrement que par une relation d'accoutumance et sur l'impossibilité de construire un cheminement logique de l'effet à sa cause. Les

¹⁰⁷ CRP, p. 499

réponses qui étaient apportées à ses objections étaient insuffisantes, faisant appel soit à une philosophie ‘du bon sens’, soit à des principes mal fondés, Kant a déplacé le principe de causalité dans les conditions *a priori* en faisant de lui une condition de la possibilité de l’expérience, mais par ce moyen il n’a pas démontré pour autant son effectivité au niveau des phénomènes. L’espace comme forme *a priori* de la sensibilité et la causalité comme principe *a priori* de l’entendement et la causalité, partagent curieusement des caractères similaires. La définition de l’espace chez Kant n’est pas aussi univoque qu’il y paraît, en fait il y a une « réalité empirique de l’espace » autant affirmée que son « idéalité transcendantale »¹⁰⁸. M. Fichant distinguait un troisième type d’espace, ‘géométrique’¹⁰⁹. L’on peut sans doute distinguer également trois types de causalité, l’une comme un principe *a priori* de l’entendement, l’autre au niveau des noumènes qui se nomme liberté, la troisième au niveau des phénomènes qui est une causalité mécanique ayant un pur caractère de nécessité.

Kant résout le problème de Hume de la même façon qu’il résolvait la querelle de Newton et de Leibniz sur l’espace en déplaçant dans le sujet le centre de la connaissance. Il refuse tout innéisme mais il existe pour lui des « concepts et des propositions fondamentales que nous admettons *a priori* »¹¹⁰. De même que ce n’est que dans des ouvrages extérieurs à la critique¹¹¹ que l’on trouve pour l’espace une tentative d’intégrer « la matière du phénomène dans l’*a priori* synthétique propre du sujet », pour la causalité c’est dans l’histoire générale de la nature et théorie du ciel, déjà citée, qu’il faut constater l’absence de répugnance de Kant à recourir à la causalité mécanique pour expliquer la structure de l’univers.

Kant permet aux scientifiques d’avoir un schéma d’explication simple lorsque l’on les interroge sur leur réalisme ou leur idéalisme. S’il n’y avait pas d’étoiles il n’y aurait pas d’astronomes mais ceux-ci ne peuvent étudier l’étoile que comme un phénomène, par la lumière qu’elle dégage. Et leurs instruments ne sont que des instruments de mesure, le fondement de l’activité scientifique consiste à observer « le déplacement d’une aiguille devant une échelle »¹¹². Le phénomène suffit à

¹⁰⁸ CRP, p. 124

¹⁰⁹ M. Fichant, *Espace esthétique et espace géométrique chez Kant*, Paris, PUF, Revue de métaphysique et de morale, 2004/4, n° 44

¹¹⁰ CRP, p. 79

¹¹¹ Voir en particulier, Kant *Années 1796-1803, Opus postumum*, direction I. Schüssler, Paris, Vrin, 2001, p.69-71

¹¹² Congrès international de Philosophie, Congrès Descartes, *Causalité et déterminisme physique et*

l'astronome, l'étoile en soi n'est pas son problème. Le mode de connaissance Kantien, dégagé de la notion *d'a priori*, semble le plus communément adopté par le monde scientifique.

L'apport de Kant est également d'avoir mis en lumière les notions de temporalité et d'événements qui sont liées à la causalité. Il faut rappeler que selon M. Puech, la formation du système critique « porte en elle une véritable *ontologie du changement* »¹¹³ et que la notion d'état que nous retrouverons comme problématique dans la philosophie contemporaine y tient un grand rôle. L'état est défini (Refl 4313, Ak17 :503) comme « l'existence d'une chose en tant qu'elle est déterminée dans le temps ». C'est « ou bien celui des déterminations coexistantes ou bien celui des déterminations se succédant l'une l'autre. Un être originaire n'est pas dans un état ». La refl 4323 porte : « Tout changement est une succession d'état, le changement d'état interne est un changement de la chose, le changement d'état externe une relation modifiée ». Mais dans ce cas l'on retrouve les problèmes temporels de la succession et de la continuité. La refl 4323, toujours citée par M. Puech stipule : « Deux états qui se succèdent l'un l'autre ne sont jamais immédiatement liés l'un à l'autre [...] Mais entre ces deux états il y a un temps. Dans quels états était donc la chose pendant cet intervalle ? Les états sont les extrêmes d'une ligne, il y a donc une série infinie d'états intermédiaires ». La réflexion sur le changement conduit à introduire la notion d'événements et la notion de légalité qui règle les changements. Cette philosophie antérieure à la critique, admettait selon M. Puech « tel quel le modèle causal de la connaissance physique » il semble qu'il n'y ait pas eu, sur ce point, de changement. On retrouve la réflexion in extenso dans la CRP¹¹⁴ elle est suivie d'une analyse conduisant à ce que la cause ne conduit pas son changement « tout d'un coup, en une fois ou en un instant » mais dans un temps « de telle manière que, tout comme le temps se déploie de l'instant initial A jusqu'à son achèvement en B, la grandeur de la réalité (B-A) est elle aussi produite par tous les degrés moindres qui sont contenus entre le premier et le dernier ». La conclusion donne le principe de la 'loi' de la continuité : « ni le temps ni non plus le phénomène inscrit dans le temps ne sont constitués de parties qui soient le plus petites possible, et cependant l'état de la chose, lors de son

philosophie, Paris, Hermann, 1937, p.84

¹¹³ Michel Puech, *Kant et la causalité*, Paris, Vrin, 1990, p 386

¹¹⁴ CRP, p 270

changement, passe par toute ces parties , pour parvenir à ce qu'il est sous sa deuxième forme ». Ce principe ne devra être analysé à nouveaux frais lorsque nous nous pencherons sur la notion d'état et d'événements dans la philosophie contemporaine. Nous devons également tenir compte de l'affirmation suivante qui est présentée comme la « troisième analogie de l'expérience », « toutes les substances, en tant qu'elles sont simultanées, s'inscrivent en communauté universelle (c'est-à-dire dans une relation d'action réciproque) »¹¹⁵, la question est de trouver le quelque chose qui, en dehors de la simple existence « fait que A détermine la place de B dans le temps, et aussi en retour B celle de A ». Chaque substance doit alors détenir quelques conditions de causalité des déterminations de l'autre substance. Cela a été traduit par M. Puech comme « le problème ontologique du la mondanité du monde comme totalité des simultanés »¹¹⁶

Conclusions.

La causalité reste pour le philosophe, malgré les arguments de bon sens qui la soutiennent, soit considérée comme impossible à construire, soit une notion subjective, « déterminer le sens interne relativement au rapport chronologique » parallèle à une loi (non démontrée) qui régit la succession des phénomènes. La critique Humienne n'a pas vraiment été surmontée.

L'impossibilité pour l'entendement d'aller au-delà de la simple certitude de l'existence de la chose en soi, fondement du phénomène mais qui ne partage pas avec lui la temporalité et la causalité marque une borne philosophique à la connaissance scientifique.

Une autre borne aussi importante découle de la démonstration Humienne sur l'impossibilité de bâtir un raisonnement logique allant de l'effet à la cause. La science a besoin qu'une expérience, reproduite dans « les mêmes conditions de température et de pression » pour prendre une expression proverbiale, produise les mêmes effets. Hume ne niait pas le fait, il niait la possibilité de l'expliquer rationnellement.

Pourtant Berkeley malgré son idéalisme demandait que l'on étudie la nature et Kant vante la méthode et les résultats de la science dans la préface de la deuxième édition de la Critique. Il n'y a pas là de contradiction, seulement l'annonce de ce

¹¹⁵ CRP, p272

¹¹⁶ Michel Puech, *Kant et la causalité*, Paris, Vrin, 1990, p 392

que les résultats futurs, aussi brillants qu'ils fussent ne seront fondés que sur des principes empiriques, la raison interroge la nature mais elle n'y voit « que ce qu'elle produit elle-même selon son projet ». Pour résumer en une formule la philosophie n'est pas parvenu à établir une connaissance de la nature, elle croit en l'efficacité de la science, mais elle nie ou défend mal la validité de ses principes et ne lui reconnaît pas le pouvoir de décrire le réel.

2.1 - Physique : Vers la recherche de la dernière décimale

Nous n'avons pas pu, dans la partie précédente, ne pas citer Galilée et Kepler comme initiateurs du mouvement de mathématisation du réel, nous n'y reviendrons pas. Mais avant d'ouvrir, ce qui ne sera qu'un survol de la notion de cause envisagée par les scientifiques, nous pouvons d'abord cerner les limites de la connaissance scientifiques telles que Pascal les a établies au milieu du XVII^e, elles constitueront un prélude à d'autres limites qui seront découvertes plus tard et sont intéressantes en ce qu'elles n'utilisent que des arguments métaphysiques mais confrontés à des considérations scientifiques. Elles sont également une réponse¹¹⁷ aux remarques de Hume sur l'impossibilité de construire un raisonnement allant de la cause à l'effet. Pascal va montrer que la science va pouvoir construire un système d'explication de plus en plus fin mais se heurtera structurellement à l'impossibilité d'obtenir une connaissance complète et aura à terme un problème de définition car il existera toujours des « mots primitifs ». Le problème reste évidemment d'actualité et nous le retrouverons plus avant¹¹⁸.

Les limites de la science

Puisqu'il a si clairement marqué la distance « infiniment plus infinie des esprits à la charité »¹¹⁹, Pascal pouvait sans empiéter sur le domaine de la charité réserver à la science un espace infini. Les trois ordres sont de différents genres et il suffisait d'appliquer ce qu'il avait découvert en mathématiques ; pour étudier les limites d'un degré, il ne faut pas « considérer les degrés inférieurs qui se révèlent de nulle valeur »¹²⁰. La science fut elle infinie n'ajoute rien à la charité. Trois principes nous empêchent une connaissance complète ; notre disproportion face à l'univers, notre nature ambivalente, âme et corps et l'impossibilité de résolution du cercle herméneutique.

¹¹⁷ Logique, pas chronologique.

¹¹⁸ En annexe A par exemple.

¹¹⁹ Toutes les citations de Pascal, extraites de : Pascal, *Œuvres complètes (tomes I et II)*, édition Michel Le Guern, Paris, Gallimard, La pléiade, 2000. , sont notées en abrégé *LG* suivi du numéro de tome et de la page dans la suite du texte. Ici *LG t.II*, p 648. Dans le cas d'un fragment numéroté il sera indiqué le numéro dans cette édition suivie du couple des numéros dans les éditions Lafuma et Sellier, ici *LG t.II*, p 648, 290 308-339

¹²⁰ *LG t.I*, Le triangle arithmétique, p 266

Nous sommes en effet au 'milieu' entre l'infini et le néant tel que décrit par le fragment « Disproportion de l'homme »¹²¹. Le néant ou l'infiniment petit a pour exemple le ciron qui, dans sa petitesse, est malgré tout un composé d'organes et de nerfs qui fonctionnent et au sein desquels l'on peut imaginer d'autres cirons où l'on pourra trouver d'autres merveilles « sans fin et sans repos ». L'infiniment grand nous entoure autant dans notre conception des espaces imaginables à la vue des astres que des propositions de la géométrie qui ne peuvent connaître de limites. Cette position centrale, de « néant à l'égard de l'infini... Tout à l'égard du néant ... milieu entre rien et tout » doit nous convaincre que « Notre intelligence tient dans l'ordre des choses intelligibles le même rang que le corps dans l'ordre de la nature.¹²² ». Ajoutons-y que nos sens sont imparfaits, cela nous rend « Incapables de savoir certainement et d'ignorer absolument. »¹²³

Notre nature elle-même est un frein à la connaissance : « Notre impuissance à connaître les choses est qu'elles sont simples en elles-mêmes et que nous sommes composés de deux natures opposées et de divers genres, d'âme et de corps... nous serions simplement corporels, cela nous exclurait bien davantage de la connaissance des choses, n'y ayant rien de si inconcevable que de dire que la matière se connaît soi-même. Il ne nous est pas possible de connaître comment elle se connaîtrait. »¹²⁴ Cet argument a fait l'objet de nombreuses rédactions car si l'impossibilité de la connaissance de la matière par la matière peut sembler évidente il n'en est pas de même de la combinaison esprit matière. Nous noterons seulement que c'est un moyen que Pascal emploie pour conclure que « L'homme est à lui-même le plus prodigieux objet de la nature », donc que les outils de connaissance qu'il a de l'univers sont tellement inadaptés qu'il ne parvient pas à se connaître lui-même.

Cette incapacité de nous connaître nous conduit à un cercle herméneutique, nous sommes une des parties qui doit connaître du tout. Cette partie ne se connaît pas elle-même, elle pourrait limiter sa prétention à ce qui est avec elle en « proportion », mais, « toutes choses étant causées et causantes, aidées et aidantes, médiatement et immédiatement, et toutes s'entretenant par un lien naturel et insensible qui lie les plus éloignées et les plus différentes, je tiens pour impossible

¹²¹ *LG t.II*, p 609, 185 199-230

¹²² *Idem*, p 611

¹²³ *Idem*, p 612

¹²⁴ *Idem*, p 613

de connaître les parties sans connaître le tout, non plus que de connaître le tout sans connaître particulièrement les parties. »¹²⁵

Ces trois limitations de l'homme font que, « La fin des choses et leurs principes sont pour lui invinciblement cachés dans un secret impénétrable. » Et que « Nous n'enfantons que des atomes au prix de la réalité des choses. ». Cependant nous brûlons du désir de « trouver une assiette ferme », mais ce désir sera toujours déçu.

Il serait toutefois exagéré d'interpréter le fragment « Ecrire contre ceux qui approfondissent trop les sciences. Descartes »¹²⁶ comme entraînant une condamnation. Il s'agit plutôt d'une injonction à s'occuper de son salut plutôt que des sciences. Pour preuve une particularité curieuse des trois ordres, les ordres de la chair et de l'esprit sont respectivement invisibles, celui de la charité est invisible à la chair et à l'esprit, mais l'ordre de l'esprit n'est pas 'invisible' depuis la charité. Il faut remarquer que si Pascal précise que « l'éclat des grandeurs n'a pas de lustre pour les gens qui sont dans les recherches de l'esprit », il ne note pas, sans doute à cause de leur distance infiniment plus infinie qui ne le rend pas nécessaire, un tel détachement des œuvres de l'esprit pour ceux qui sont dans la charité.

L'abandon des causes finales et de la métaphysique

Déjà en 1605, F Bacon avait écrit : « Causarum finalium inquisitio sterilis est, et tanquam virgo deo consecrata, nihil parit », la recherche des causes finales est stérile, et telle une vierge consacrée à Dieu, elle n'enfante rien¹²⁷. Pascal tire de l'argument qu'il a précédemment invoqué sur notre double nature, une autre raison de condamner l'utilisation des causes finales en physique, Notre nature nous porte à parler « des choses corporelles spirituellement et des spirituelles corporellement »¹²⁸. C'est pour cela que l'on énonce que les corps « tendent en bas, qu'ils aspirent à leur centre, qu'ils fuient leur destruction ». Donc que nous leur prêtons les caractéristiques des esprits, tandis qu'à ceux-ci nous supposons la capacité de se mouvoir d'un lieu à l'autre, ce qui est impossible à l'esprit de l'homme, uni à son corps d'une manière incompréhensible. Ce n'est pas

¹²⁵ *Idem*, p 613

¹²⁶ *LG t.II*, p 752, 476 553-462

¹²⁷F. Bacon, *De dignitate et augmentis scientiarum*, Livre III, chap 5

¹²⁸ *LG t.II*, p 613, 185 199-230

directement la justification des critiques envers Noël¹²⁹ à qui il était plutôt reproché de construire des propriétés *ad hoc* pour justifier des résultats des expériences, mais davantage une critique générale de l'Aristotélisme.

L'on sait que Descartes, reprenant la métaphore de l'arbre des connaissances, très utilisée avant lui, le décrivait ainsi : « les racines sont la métaphysique, le tronc est la physique et les branches qui sortent de ce tronc sont toutes les autres sciences, qui se réduisent à trois principales, à savoir la Médecine, la Mécanique et la Morale »¹³⁰. Or en plaçant la Métaphysique dans un ordre distinct de celui de l'esprit, Pascal supprime la continuité, de plus en refusant la connaissance certaine des premiers principes des choses il se libère de tout fondement. Il peut alors reprocher à Descartes d'avoir écrit un roman de la nature¹³¹ en partie parce que celui-ci se targuait d'avoir « trouvé les vrais principes des choses matérielles » en partie parce que celui-ci croyait en une *mathésis universalis* capable de fournir une explication rationnelle à l'ensemble des phénomènes. La matière n'étant considérée par lui que par son extension, elle se prêtait particulièrement au traitement géométrique. Mais cette identification de l'espace à la matière a pour conséquence la négation du vide que Pascal pensait être expérimentalement prouvé. Il y a donc pour Pascal une illégitimité du fondement cartésien car il conduit au moins à une conséquence invalidée par l'expérience. Les deux toutefois partageaient la même liberté à l'égard de la tradition. Mais dans son cheminement, à la recherche d'une science idéale construite à partir de l'évidence et des principes de la métaphysique, et développée par la déduction, Descartes a semble-t-il moins rompu que Pascal avec l'aristotélisme.

Définition et raisonnement

La critique faite à Noël, son contradicteur dans la querelle sur le vide, d'introduire dans la définition les termes du défini, puis de raisonner sans avoir établi des principes et axiomes est détaillée dans *De l'esprit géométrique* opuscule où Pascal se montre très cartésien, sans doute nourri des « secondes réponses » de Descartes, publiées avec ses *Méditations*, en retour des objections qu'il avait demandées à Mersenne.

¹²⁹ Le jésuite Etienne Noël qui polémiqua avec Pascal sur l'existence du vide, voir supra

¹³⁰ Descartes, *Principes de la Philosophie*, Vrin, bilingue, Paris, 2009, p 260

¹³¹ Blaise Pascal, *Œuvres complètes*, Louis Lafuma, Paris, Seuil, L'intégrale, 1963, « Propos attribués à Pascal », § 1008

Les définitions sont assez longuement étudiées. En géométrie n'existent que des définitions de nom : Nous désignons clairement une chose en termes parfaitement connus et nous lui donnons un nom. Ainsi tout nombre divisible en deux entiers égaux est appelé pair. Dans le raisonnement, pour ne pas s'égarer, on substitue mentalement la définition à la place du défini. Mais il existe nécessairement des « mots primitifs » limite à notre capacité de définition. Il en est ainsi de l'homme et du temps, pour le premier « l'on sait assez quelle est la chose que l'on veut désigner par ce terme »¹³², pour le second le mot temps porte la pensée de tous vers le même objet, mais si on dit : « le temps est le mouvement d'une chose créé », on ne peut sans difficulté conserver le mot temps, sinon il faut prouver cette particularité. Si elle est évidente ce sera un axiome.

En disant « le temps est la mesure du mouvement », nous ne faisons pas une définition mais une proposition. Le temps ainsi désigné ne peut être sans confusion, le temps tel qu'on l'entend naturellement.

L'interdiction d'expliquer un mot par le mot même rend impossible la définition de l'être. Il faudrait dire 'c'est' donc utiliser le mot défini dans la définition.

A ces termes premiers donc indéfinissables se rajoutent des principes que la géométrie ne peut prouver parce qu'ils sont évidents. Cette proposition est à rapprocher de l'existence des vérités éternelles chez Descartes et des propositions « Qui aussitôt qu'elles sont connues, rencontrent une adhésion générale » mentionnées par Gassendi¹³³. Il faut donc admettre que la science ne « définit pas tout et ne démontre pas toutes chose ».¹³⁴

Sur ces bases peuvent être construits des raisonnements à condition de suivre trois préceptes :

Ne pas tenter de démontrer ce qui doit être admis en axiome.

Tout prouver en utilisant soit des axiomes soit des propositions déjà démontrées.

Toujours substituer mentalement les définitions aux noms utilisés.

Pascal va insister sur la simplicité de ces méthodes et sur le danger qu'il y a à complexifier les règles de logique. Connaître l'ensemble des types de syllogisme

¹³² *LG t.II*, « *De l'esprit géométrique* », p158

¹³³ Gassendi, *Syntagma*, tII, p 457, cité in *LG t.II*, p 1189

¹³⁴ *LG t.II*, « *De l'esprit géométrique* », p 161

ne sert à rien à celui qui a compris le principe général. L'on notera que l'ordre des raisonnements, la fréquente récapitulation de leur enchainement, et toutes les précautions dont s'entourera Descartes dans les *Regulae*, ne sont pas mentionnées, Il a noté toutefois que « Toutes les fois qu'une proposition est inconcevable il faut en suspendre le jugement »¹³⁵, dans sa discussion au sujet de la divisibilité et propose alors de tenter de prouver la fausseté de la proposition contraire, donc admet le raisonnement par l'absurde jugé faible par Aristote.

Les règles que propose Pascal sont peu nombreuses, sans doute au profit d'une plus grande simplicité mais aussi parce que l'art de persuader comporte aussi l'art de convaincre, qui fait plus appel à la volonté qu'à l'entendement, et dont il dit ne pas connaître les règles, car cette manière est « plus difficile, plus subtile et plus admirable »¹³⁶. Cette reconnaissance de la supériorité de l'art de convaincre sur celui d'agréer peut s'expliquer par plusieurs raisons :

En matière de charité, donc dans l'ordre le plus important, seul importe l'agir sur la volonté et c'est en agissant sur notre cœur que Dieu nous persuade.

En matière d'esprit, et nous en avons une illustration au sujet du vide, l'atteinte de la certitude rationnelle n'est jamais complète, il faut toujours faire un saut en faveur de ce que l'on croit être sans pouvoir le prouver ou en faveur de ce que l'on croit ne pas être sans pouvoir le nier.

De cela, comme le souligne Madame C. Chevalley, se dégage « une conception de la connaissance littéralement inaudible par le rationalisme classique » car elle récuse toute idée de « connaissance unifiée », de « principe d'intelligibilité universel »¹³⁷. Elle cite « Ordre. La nature a mis toutes ses vérités chacune en soi-même. Notre art les renferme les unes dans les autres, mais cela n'est pas naturel. Chacune tient sa place »¹³⁸. Le principe d'intelligibilité que pourraient fournir les mathématiques et que Galilée et Descartes mettent en avant, est très peu utilisé par Pascal. Ses études mathématiques concernent des objets mathématiques et ne rejoignent le réel que par le biais de l'étude des lois du hasard. Il est significatif qu'il note à ce sujet « Cela doit être recherché par le raisonnement d'autant plus

¹³⁵ *Idem*, p 164

¹³⁶ *Idem*, p 173

¹³⁷ C. Chevalley, *Ce que Pascal doit à la physique des principia*, Revue d'histoire des sciences, volume 58, p 18

¹³⁸ LG t.II, p 783, 578, 684-563

fortement qu'il est moins possible de l'explorer par l'expérience »¹³⁹. L'on utilisera le calcul que parce que le hasard est « rebelle » à l'expérimentation.

L'expérience nécessaire

Les français insistent volontiers sur le rôle déterminant que Pascal a donné à l'expérience en matière scientifique. Il faut rappeler toutefois l'antériorité de F. Bacon qui écrivait en 1578 dans le *De verulamio Novum organum scientiarum*, « Les empiriques, semblables aux fourmis, ne savent qu'amasser et user ; les rationalistes, semblables aux araignées, font des toiles qu'ils tirent d'eux-mêmes ; le procédé de l'abeille tient le milieu entre ces deux : elle recueille ses matériaux sur les fleurs des jardins et des champs ; mais elle les transforme et les distille par une vertu qui lui est propre : c'est l'image du véritable travail de la philosophie, qui ne se fie pas aux seules forces de l'esprit humain et n'y prend même pas son principal appui. ...C'est pourquoi il y a tout à espérer d'une alliance intime et sacrée de ces deux facultés expérimentale et rationnelle ; alliance qui ne s'est pas encore rencontrée. »¹⁴⁰. Il est impossible également d'ignorer Galilée dont le *Dialogue concernant deux sciences nouvelles*, paru en 1638 a fait écrire à Einstein, « Les hypothèses démontrées par des raisonnements de pure logique restent complètement vides pour ce qui concerne la réalité. C'est parce que Galilée l'a remarqué, et tout particulièrement parce qu'il l'a imposé au monde scientifique, qu'il est le père de la physique moderne et même de la science moderne ». L'on retrouve la pensée de ces deux précurseurs en particulier dans le reproche que Pascal fait à Descartes, d'avoir construit un roman de la nature¹⁴¹. Sa science idéale construite à partir de l'évidence et des principes de la métaphysique, et développée par la déduction, n'a pas rompu avec l'aristotélisme. Même si Descartes a pu se plaindre de n'avoir eu « la commodité de faire toutes les expériences dont (il) aurait besoin pour appuyer et justifier (ses) raisonnements »¹⁴², son œuvre n'en comporte guère et ses expériences sont surtout des observations¹⁴³.

¹³⁹ LG t.I, Le triangle arithmétique, p 172

¹⁴⁰ F. Bacon, *Novum organum*, traduit par Lorquet, Hachette, Paris, 1857, p 51, numérisé par Gallica, <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k201287p/>

¹⁴¹ Blaise Pascal, *Œuvres complètes*, Louis Lafuma, Paris, Seuil, L'intégrale, 1963, « Propos attribués à Pascal », § 1008

¹⁴² R. Descartes, *Principes de la philosophie*, Paris, Vrin, bibliothèque des textes de la philosophie, 2009, p 26

¹⁴³ Ainsi de la théorie des tourbillons, justifiée par le mouvement des poissons dans l'eau où il ne provoque pas de remous.

Ainsi, sans en exagérer le rôle, il est juste de donner à Pascal une place importante dans la promotion d'une physique expérimentale. Dans la préface du traité du vide l'on trouve successivement que « Les sciences qui sont soumises à l'expérience doivent être augmentées pour devenir parfaites »¹⁴⁴ et si cette augmentation peut être le fait du seul raisonnement pour la géométrie ou l'arithmétique, la physique a besoin « d'inventions nouvelles » car « les secrets de la nature sont cachés »¹⁴⁵. Pour percer ces secrets, « les expériences qui nous en donnent l'intelligence multiplient continuellement ». Les expériences sont alors clairement désignées comme « les seuls principes de la physique »¹⁴⁶. Le raisonnement permet d'en déduire des conséquences qui augmentent sans cesse, et la mémoire qui permet de conserver les acquis, permet au couple expérience raisonnement de faire accomplir aux hommes « de jour en jour...dans les sciences... un continuel progrès ».

La multiplication des dispositifs constatée à Rouen¹⁴⁷, différents liquides, différentes hauteurs de tubes, usage de tuyaux simples et de siphons s'explique « Car dans toutes les matières dont la preuve consiste en expériences et non en démonstration, on ne peut faire aucune assertion universelle que par la générale énumération de toutes les parties ou de tous les cas différents »¹⁴⁸. Pascal ne donne pas, contrairement à ce que tente Descartes dans les *regulae*¹⁴⁹, une méthode permettant de s'assurer que l'ensemble des cas différents ait été considéré. Il introduit là, simplement une méthode pour pallier au mieux l'absence d'expérience cruciale.

L'expérience non suffisante

Car il n'est pas d'expérience qui puisse apporter de certitude. C'était déjà une conséquence de la place accordée à la science, cela est confirmé par la fin de *la Préface*, « nous disons que le diamant est le plus dur de tous les corps », car nous n'en connaissons pas d'autre qui soit plus dur, mais cela ne démontre pas l'impossibilité de son existence. Une expérience faite avec un corps qui rayerait le

¹⁴⁴ *LG t.I, Préface sur le traité du vide*, p 453

¹⁴⁵ *Idem*, p 455

¹⁴⁶ *Idem*, p 455

¹⁴⁷ Où Pascal a fait de nombreuses expériences, les verriers de Rouen pouvant fournir les tubes nécessaires.

¹⁴⁸ *Idem*, p 458

¹⁴⁹ Voir en particulier la règle IV, qui affirme la nécessité d'une telle méthode

diamant, rendrait caduques toutes les expériences précédentes. Avoir fait rayer par un diamant l'ensemble des corps connus permet seulement de faire une assertion valide mais non universelle, sur sa dureté.

En effet « s'il restait un seul cas à examiner, ce seul suffirait pour empêcher la définition générale, et si un seul était contraire, ce seul... »¹⁵⁰. La phrase de Pascal reste en suspens, exactement comme doit être toute conclusion scientifique fondée sur l'expérience, elle peut prouver la fausseté d'une théorie, jamais sa vérité car il y a une impossibilité naturelle à examiner tous les cas différents.

De plus, d'une même expérience, l'on peut tirer différentes hypothèses dont « s'ensuivent tous les phénomènes »¹⁵¹, ces hypothèses « demeurant toujours dans les termes de la vraisemblance », ne peuvent accéder au statut de démonstration. C'est pourquoi il est possible de reprendre l'expression de Mme Chevalley selon laquelle Pascal pratique une physique « non déductive mais ostensive »¹⁵². Dans sa lettre à le Pailleur il affirmera à propos de Noël « il se figure que j'ai assuré en termes décisifs l'existence réelle de l'espace vide » alors que son sentiment est simplement « que cet espace est vide, jusqu'à ce que l'on m'ait montré qu'une matière le remplit », ce qui n'est précise-t-il « pas une assertion réelle du vide .»¹⁵³

L'expérience n'est suffisante que dans un cas, lorsqu'elle montre l'invalidité d'une hypothèse et ces dernières ne sont, en tout état de cause que plus ou moins probables. Leur degré de véracité est toutefois proportionnel à la qualité de la démonstration, au nombre d'expériences concordantes qui ont été faites et aussi à l'avis de la communauté des expérimentateurs dès lors qu'une opinion commune semble se dégager.

Affirmations péremptoires

Les notions de pouvoir dans les choses, aux relents aristotéliens, combattues, avaient disparu, et la causalité était devenue au XVIII^e siècle, le mode d'explication dominant. Les causes deviennent de plus en plus détaillées, les métaux s'oxydent parce qu'ils se lient avec une des composantes de l'air. Demander pourquoi ils se

¹⁵⁰ LG t.I, « Préface sur le traité du vide », p 457

¹⁵¹ LG t.I, « Lettre au Père Noël », p 383

¹⁵² C. Chevalley, *Ce que Pascal doit à la physique des principia*, *Revue d'histoire des sciences*, volume 58, https://www.persee.fr/doc/rhs_0151-4105_2005_num_58_1_2233

¹⁵³ LG t.I, « Lettre à le Pailleur », p 398

lient avec une des composantes de l'air n'est pas la mise en cause d'une explication causale mais une nouvelle question à résoudre. La science usera de plus en plus des explications causales et ne considérera plus l'ignorance soulevée par Hume que comme un défi à trouver des explications de plus en plus fines. Le déterminisme ne connaît aucune remise en cause et ses conséquences sont poussées à l'extrême.

Déterminisme causal

En 1770, dans le *Système de la nature ou Des lois du monde Physique et du monde moral*, le baron d'Holbach pouvait écrire, « Dans un tourbillon de poussière qu'élève un vent impétueux ; quelque confus qu'il paraisse à nos yeux,..., il n'y a pas une seule molécule de poussière ou d'eau qui soit placée au hasard, qui n'ait sa cause suffisante pour occuper le lieu où elle se trouve, et qui n'agisse rigoureusement de la manière dont elle doit agir. Un géomètre qui connaîtrait exactement les différentes forces qui agissent dans ces deux cas, et les propriétés des molécules qui sont mues, démontrerait que, d'après les causes données, chaque molécule agit précisément comme elle doit agir, et ne peut agir autrement qu'elle ne fait »¹⁵⁴. Il écrira plus loin : « Ce que nous appelons ordre dans la nature est une façon d'être ou une disposition de ses parties rigoureusement nécessaire. »¹⁵⁵

Le déterminisme absolu sera assez curieusement présenté dans un texte dédié aux probabilités par Pierre-Simon Laplace édité en 1814. L'existence même d'une probabilité sous-tend pourtant l'impossibilité de la connaissance absolue telle qu'il la définit dès la préface de l'ouvrage : « Nous devons envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur, et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui, pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux »¹⁵⁶. Retenons que dans le reste de l'ouvrage, la probabilité ne remet pas en question, chez Laplace, la causalité. Elle n'est qu'une des façons de pallier l'impossibilité de connaître tous les paramètres. Si ceux-ci étaient connus, il

¹⁵⁴ Paul Henri Thiry d'Holbach, *Système de la nature*, édition électronique, <http://classiques.uqac.ca/>, page 41-42

¹⁵⁵ *Idem*, p 46

¹⁵⁶ P.S. Laplace, *Essai philosophique sur les probabilités*, Paris, Bachelier, 1840, p 5

y aurait une possibilité de déterminer complètement le résultat. Il faut sans doute redonner des définitions qui ne seront que les conceptions les plus communément admises par le monde scientifique. Le déterminisme est une forme de causalité qui implique que les mêmes causes produisent les mêmes effets. La causalité est entendue comme le principe du déterminisme, elle implique qu'il n'y a pas d'effet sans cause, et que la cause est ce qui explique l'effet. Cependant et l'exemple du calorique le montre bien, les physiciens parviennent à établir des lois mais peinent à donner des explications causales. Les lois ont un caractère déterministe, leur validité provient de la possibilité d'une application universelle et de l'absence de contre exemples. La prévision des phénomènes devient le critère déterminant. Il est postulé de façon implicite la stabilité des lois dans le temps, pas celle de leurs résultats qui souvent en dépendent¹⁵⁷, celle de leur énoncé. Hume n'est pas très loin car la loi n'est alors que l'interprétation dans un langage mathématique d'un phénomène maintes fois constaté. Ainsi les principes de la thermodynamique ne connaissent pas d'exception, ils peuvent être utilisés, que la chaleur soit considérée comme fluide calorique ou agitation moléculaire. Par cause, on entend alors souvent un modèle qui sera plus tard baptisé « nomologique déductif » où donner la cause d'un phénomène consiste à montrer qu'il existe « une description du phénomène telle qu'elle peut être logiquement déduite d'un énoncé nomologique (celui d'une loi), joint à la formulation des conditions initiales qui spécifient les circonstances dans lequel le phénomène en question s'est produit, ou est attendu à se produire »¹⁵⁸.

Il n'y a cependant que peu de place à l'incertitude, Albert Michelson en 1899, écrira que : « les lois fondamentales et les faits les plus importants de la science physique ont tous été découverts, et ils sont désormais si fermement établis que la possibilité qu'ils soient un jour supplantés à la suite de nouvelles découvertes est excessivement réduite¹⁵⁹, [...], nos futures découvertes, seront à chercher du côté de la sixième décimale »

Cette tendance, résultant empiriquement d'une impuissance à obtenir une précision absolue des mesures et d'une croyance dans le caractère déterministe des lois, va conduire A. Comte à rejoindre la critique de Hume et à placer les causes

¹⁵⁷ Le paramètre temps est souvent dans la loi. La position d'un mobile est fonction du temps, la loi du mouvement est la même pour tous les mobiles placés dans la même situation.

¹⁵⁸ Maximilien Kistler, *Causalité et lois de la nature*, Paris, Vrin, 1999, p 8

¹⁵⁹ Michelson, *Ligt Waves and their uses*, cité par L.S. Feuer, *Einstein et le conflit des générations*, Bruxelles, complexe, 2005, p 175

dans le domaine métaphysique tandis qu'il demande à la science de ne plus se préoccuper que des lois. Il s'agit de passer de l'âge du 'théologique' à l'âge 'positif'. La centralité de la notion de cause fait qu'elle est abordée, pour être critiquée, dès le premier de ses cours de philosophie positive.

Ou déterminisme légal

« L'intelligence humaine a dû se servir de conceptions intermédiaires, d'un caractère bâtard, propres par cela même, à opérer graduellement la transition¹⁶⁰ (de l'âge théologique à l'âge positif.) ». Les causes sont des « agents métaphysiques » ne devenant plus que « des noms abstraits des phénomènes ». Mais l'utilisation du concept est le « seul chemin pour passer du régime théologique au positif », il a donc été nécessaire. Comte poursuit : « Nous voyons par ce qui précède, que le caractère fondamental de la philosophie est de regarder tous les phénomènes comme assujettis à des lois naturelles invariables, dont la découverte précise et la réduction au moindre nombre possible sont le but de tous nos efforts, en considérant comme absolument inaccessible et vide de sens pour nous la recherche de ce qu'on appelle les causes, soit premières, soit finales. ». Les causes secondes sont ensuite exclues formellement de la recherche « Nous n'avons nullement la prétention d'exposer les causes génératrices des phénomènes puisqu'alors nous ne ferions jamais alors que reculer la difficulté ». Il s'agit d'analyser les circonstances de la production des phénomènes, et de les rattacher les uns aux autres « par des relations normales de succession et de similitude »¹⁶¹. Comte va prendre deux exemples, la gravitation et la chaleur. Pour la première il écrit : « ce que sont en elles-mêmes cette attraction et cette pesanteur, quelles en sont les causes, ce sont des questions que nous regardons tous comme insolubles... et que nous abandonnons avec raison à l'imagination des théologiens ». Pour la seconde il cite Fourier qui en trouve les lois sans s'enquérir de sa nature intime, « matière calorique ou vibration d'un éther universel ».

La notion complète

Or Michelson et Comte ont fourni, à leur insu, des contre exemples, la recherche de la sixième décimale provoquera une remise en cause complète des

¹⁶⁰ Auguste Comte, *Philosophie première, cours de philosophie positive*, leçons 1 à 45, Présentation et notes MM. Serres, F. Dagognet, Paris, Hermann, 1975, p 24

¹⁶¹ *Idem* p 26

notions de matière et de causalité, les études pour déterminer la nature de la gravitation et de la chaleur conduiront à reconsidérer les notions d'énergie, d'espace et de temps qui deviendront étroitement liées.

Parmi les questions relevant de la sixième décimale il faut en citer au moins quatre qui ont eu des conséquences importantes :

1) Les équations de Maxwell s'interprétaient en concevant un support matériel, l'éther, dans lequel les ondes électro magnétiques, dont la lumière, vont se déplacer à une vitesse constante. L'éther est présumé fixe. Or la Terre tourne autour du soleil à la vitesse de 30 Km par seconde. Cette vitesse est faible par rapport à celle de la lumière toutefois cette dernière mesurée sur Terre ne sera pas la même selon qu'elle soit considérée dans le sens du déplacement ou perpendiculaire. La mesure directe échappe aux instruments mais un dispositif, l'interféromètre, doit permettre de déceler les variations de la différence de vitesse selon le sens dans lequel la mesure est faite, en effet elle provoque des franges d'interférences dont le déplacement est mesurable. La différence de vitesse est aussi dépendante de la saison, le sens de déplacement de la terre par rapport à l'éther s'inversant. En 1881, A Michelson, physicien américain, construisit un interféromètre suffisamment précis, perfectionné grâce à E. Morley et, en 1887¹⁶², ils font admettre à la communauté scientifique le résultat négatif suivant : Les franges ne varient pas qu'elle que soit l'orientation de l'appareil ou la date de l'expérience. Cette absence constatée de variation conduira à considérer le temps et l'espace comme un continuum.

2) La théorie du rayonnement selon Wien, précisée par Lord Rayleigh prévoit que la puissance rayonnée par les corps chauffés est proportionnelle à leur température et inversement proportionnelle à leur longueur d'onde. Cependant elle conduit à des puissances infinies pour les rayonnements de faible longueur d'onde. Paul Ehrenfest parlera de catastrophe ultraviolette. Cela conduira à abandonner la notion de continuité au moins dans les échanges d'énergie.

3) En 1887 Hertz publia ses résultats sur l'effet photo électrique, une plaque de zinc chargée négativement et éclairée par une lampe à arc, produisait un courant qui se déclenchait à partir d'une fréquence seuil de la lumière incidente, mais pas à partir d'une puissance seuil. Cela aurait dû être le cas si la lumière était une onde

¹⁶² Voir annexe B le descriptif de l'expérience

électromagnétique. Cela conduira à concevoir des états dépassant la dualité onde et corpuscules.

4) Le théorème de récurrence de Poincaré (~1890), énonce que pour presque toutes les conditions initiales, un système dynamique conservatif dont l'espace des phases est de 'volume fini', va repasser au cours du temps aussi près que l'on veut de sa condition initiale, et cela de façon répétée. Sous cette forme il est incompatible avec le théorème de Carnot. Un mélange d'eau chaude et d'eau froide devient de l'eau tiède et l'on n'a jamais vu celle-ci se séparer en deux parties chaudes et froides, éventualité que prévoit la récurrence de Poincaré. Cela conduira à remettre en cause le déterminisme et la causalité au niveau macroscopique.

Il est évident que chacun de ces quatre faits a aussi une incidence sur la conséquence principale que nous avons attribuée aux autres, voire jusqu'à la rendre difficilement compatible. Nous avons cependant souligné des faits principaux à l'origine d'un changement fondamental dans la compréhension des phénomènes physiques. Cette réserve faite, ce sont eux, considérés comme de résolution proche à la charnière du XX^e siècle, dont il convient maintenant d'étudier les conséquences sur nos conceptions de la causalité et du déterminisme.

2.2 - Physique : Relativité et quantification.

« Cela est étrange, mais il n'y a que des choses étranges par le monde.
Et tant mieux, car j'aime les choses étranges¹⁶³. »

L'abandon de l'idéal de « clôture proche » que portait la physique ayant été provoqué en particulier par les considérations que nous venons d'invoquer, de nouvelles théories apparurent qui allaient avoir un impact certain sur les notions de causalité et de déterminisme. Les conceptions classiques n'allaient cependant pas être abandonnées surtout quand leur pouvoir prédictif était considérable, seulement leur domaine de validité allait être restreint. Il semble¹⁶⁴ à première analyse que lorsqu'une théorie est adoptée, c'est parce qu'elle possède un noyau dur lui permettant d'expliquer, dans son domaine, un grand nombre de faits. Les faits en contradiction, il en existe quasiment toujours, sont notés mais supposés être explicables par une amélioration de la théorie ou une prise en compte d'un fait non identifié. Ainsi les lois de Newton permettaient de décrire précisément les mouvements des planètes et avaient même permis à Le Verrier de découvrir Neptune grâce aux seules perturbations de l'orbite d'Uranus. Elles ne permettaient pas d'expliquer la variation du périhélie de l'orbite de Mercure que le même avait calculée plus faible que ne montrait l'observation. L'existence d'un planétoïde non découvert pouvait cependant justifier l'écart. Le passage à la théorie suivante n'est généralement pas une rupture mais soit un abandon progressif soit une généralisation, la théorie précédente étant un cas particulier de la théorie suivante. C'est le cas de la gravitation newtonienne dont les résultats sont équivalents à ceux de la relativité générale lorsque les vitesses des mobiles sont faibles mais dans laquelle le mouvement de Mercure est expliqué sans planétoïde supplémentaire. Une évolution théorique de ce type induit une différenciation entre la causalité objective et la causalité subjective car nous ressentons l'espace et le temps selon les

¹⁶³ Ferrante in *La reine morte*.

¹⁶⁴ Cette acceptation tacite de la théorie d'Imre Lakatos en opposition avec celles de K. Popper et T. Kuhn, ne sera pas défendue ici.

Les outils de la compréhension

lois de Newton pas selon celles d'Einstein, nul n'a vu les maisons se rétrécir alors qu'il courait vite dans une rue.

D'autres questions apparurent dans la première moitié du vingtième siècle à la suite des théories relativistes ou quantiques, citons en désordre et sans exhaustivité :

- L'antériorité de la cause par rapport à l'effet est-elle un absolu dans la perspective de l'existence de temps propres locaux ?

- Quels sont les relata de la causalité dans le monde quantique ?

- Peut-on conserver un déterminisme absolu face au déterminisme statistique résultat des expériences ?

- La connaissance des causes peut-elle être parfaite ?

- Y a-t-il des effets sans causes ? (Un état peut-il varier spontanément ?)

- Le couple effet cause est-il pertinent si effet et cause sont simultanés et dans des lieux séparés ?

- Le niveau macroscopique rétablit-il le déterminisme ?

- Nos critères d'appréciation du réel sont-ils pertinents ? (La causalité fait partie de nos critères d'appréciation)

Ces questions ne sont pas exclusives et présentées dans un ordre arbitraire. De plus la réponse que l'on peut apporter à l'une n'est pas sans influence sur celle que l'on peut apporter à l'autre. Nous les conserverons cependant comme une grille de présentation en priant de nous excuser pour les redites qui seront parfois nécessaires et le plan non linéaire qui en découle. Avant de les passer en revue nous allons commencer par la dernière car elle est très proche de la question du 'réel' que nous ne souhaitons pas aborder au fond et nous ferons une brève digression sur ce qui sera le support théorique des réponses, la relativité et la mécanique quantique pour une présentation rapide et pour illustrer les difficultés communes des questions. Après chaque réponse nous ferons un bref commentaire qui sera repris plus amplement dans la partie d'analyse philosophique du chapitre suivant.

Les outils de la compréhension

Ils doivent permettre de réaliser ce que J. Vioulac considère comme le but de la philosophie, « la compréhension rationnelle du Tout »¹⁶⁵. Les critères de

¹⁶⁵ Jean Vioulac, *Approche de la criticité*, Paris, Puf, 2017, p 33

connaissance de l'étant donné par la métaphysique d'Aristote, forme, matière, substance, attribut, causalité devaient permettre de déterminer, caractériser, classer celui-ci. La philosophie s'est heurtée à la description ontologique de leurs limites ; qu'est-ce qu'une matière sans forme ou une forme sans matière ? Une substance sans attribut ? Elle a également remis en question la notion de causalité la réduisant à une succession habituellement constatée. Cependant malgré leur imperfection ils demeurent des concepts couramment utilisés. Même si Kant fixe des limites à la raison en montrant la vanité de toute spéculation rationnelle au-delà de l'expérience, il ne fait que réorganiser la table des catégories d'Aristote. Lorsque le langage scientifique les utilise c'est dans un but explicatif ou de vulgarisation des résultats. C'est un des indices de la vanité de la prétention de vouloir construire une définition de la causalité indépendante de l'usage que l'on veut en faire.

Nous avons déjà abordé ce sujet dans le paragraphe citant les principes de non contradiction et raison suffisante de Leibniz. Rappelons une de ses formulations : « Il faut considérer qu'il y a deux grands principes de nos raisonnements : l'un est le principe de la contradiction qui porte que de deux propositions contradictoires l'une est vraie l'autre fausse ; l'autre principe est celui de la raison déterminante : C'est que rien n'arrive sans qu'il y ait une cause ou du moins une raison déterminante, c'est-à-dire quelque chose qui puisse servir à rendre raison a priori. »¹⁶⁶

Nous avons également rappelé l'opinion de Pascal à ce sujet dans le chapitre précédent. Il convient de rajouter des précisions apportées déjà par Aristote :

- Sur la non contradiction : A et \tilde{A} ¹⁶⁷ ne peuvent être vraies simultanément. Il est impossible qu'un même attribut appartienne et n'appartienne pas en même temps et sous le même rapport à une même chose » (Aristote, *Métaphysique*, livre Gamma, chap. 3, 1005 b 19-20). Assurément, une chose peut être blanche aujourd'hui ou d'une autre couleur demain. De même, cette chose est plus grande ou plus petite qu'une autre à un moment donné. Mais il est impossible que ce soit en même temps.

- Sur un autre principe, le tiers exclu : Il n'y a rien qui ne soit A ou \tilde{A} , pas

¹⁶⁶ Leibniz, *Essai de théodicée*, introduction par J. Brunschwig, Paris, Garnier-Flammarion, 1969, § 44, p. 128.

¹⁶⁷ \tilde{A} = non A, l'inverse logique de A, mais cela imposerait de définir ce que l'on entend par logique, or il est 'logique' que non-A ne soit pas égal à A, la difficulté n'avait pas échappé à Aristote.

d'état intermédiaire entre l'être et le non être, la logique classique permet de démontrer le principe du tiers exclu à partir du principe de non contradiction, ce dernier n'est pas démontrable, toute démonstration utilise son existence.

Nous utilisons aussi les concepts purs de l'entendement pour reprendre un vocabulaire kantien. Ils nous conduisent à distinguer entre unité et pluralité, entre la substance et ses accidents selon la quantité, le lieu et le temps, à distinguer également pour un objet entre la matière et la forme.

Le temps et l'espace sont perçus en général comme des cadres dans lesquels se déroulent les événements. La métaphysique est parvenue à concevoir leur disparition dans un univers vide de matière mais en aucun cas ne lie leurs propriétés aux événements. Kant propose de ne voir en eux que des formes *a priori* de l'entendement¹⁶⁸

De même la continuité nous est naturelle, il semble normal de pouvoir diviser le temps à l'infini ainsi que l'espace. Les paradoxes de Zénon qui ont semé le doute sur cette possibilité semblent réfutés simplement par le fait qu'Achille rattrape la tortue et que Descartes a démontré que $9,999..9$ est strictement égal à dix.

L'objet est une chose que l'on juge individualisée, littéralement 'placé devant', munie de qualités et que l'on peut, au moins en théorie, 'dé-placer'. Il semble évident qu'un objet plus un objet fasse deux objets si une certaine distance les sépare et que les concepts de masse et d'étendue sont liés à la matière.

Nous distinguons parfaitement les comportements d'un caillou et de la surface d'un étang, (heureusement). En lançant un caillou, nous savons qu'il va décrire une trajectoire précise, déterminée en grande partie par la façon dont il est lancé, selon une force et une inclinaison données, et nous savons qu'il va provoquer à la surface de l'eau des oscillations circulaires que nous appelons ondes. Arrêtons-nous un instant sur ces ondes. Attachons le caillou à une ficelle et plongeons le dans l'eau, en lui imprimant un mouvement régulier de va et vient vertical, nous provoquons sur l'eau les mêmes oscillations circulaires. Elles conservent une permanence et des paramètres constants tant que nous continuons le mouvement. Ces paramètres sont la distance entre deux crêtes de vague dite longueur d'onde et la hauteur des vagues dite amplitude.

Si en un point pas trop éloigné, à la surface de l'eau quelqu'un a posé une

¹⁶⁸ Avec des réserves, il a beaucoup écrit sur les 'propriétés de l'espace'.

planchette avec deux fentes il verra l'onde circulaire passer par les fentes qui deviendront les centres de deux systèmes circulaires oscillants avec la même fréquence que le caillou.

Cependant ces ondes vont se superposer, créer des interférences et selon leurs distances avec les deux fentes il y aura des points où les amplitudes vont s'additionner, d'autres où elles s'annuleront. Ces points seront stables et peuvent être matérialisés par des bouchons qui danseront sur les crêtes maximales, et resteront immobiles ailleurs.

Le caillou possède une trajectoire simple avec une localisation précise (son centre de gravité suit les mouvements de la ficelle),

L'onde a également un trajet, mais elle n'est pas localisée en un point, elle s'étalera naturellement sur toute la surface de l'étang.

Si des cailloux sont jetés contre un mur possédant deux fentes étroites, l'on obtiendra derrière le mur, des tas de cailloux majoritairement dans les axes entre le lanceur et les fentes, peu entre les fentes car ils y arriveront seulement par rebond sur les bords des fentes et la majorité des cailloux ne passera pas le mur. Il semble d'autre part évident que lancer un caillou ne modifie pas sa masse.

L'onde passera aisément par les fentes et s'étendra sur toute la surface disponible, mais sa division produira des interférences. Elle est considérée comme la vibration de quelque chose, l'eau dans notre exemple, il y a un « milieu » qui vibre, ce milieu à la différence du caillou occupe tout l'espace. Longueur d'onde et amplitude peuvent prendre n'importe quelle valeur, il suffit de faire varier le mouvement du caillou.

Un caillou plus un caillou forment deux cailloux, un tas de cailloux est la somme d'individualités que l'on peut aisément séparer, ce n'est pas le cas pour les ondes, l'addition d'ondes différentes produit un seul phénomène de nature ondulatoire, seul le calcul permet de retrouver la nature des constituants, mais ses solutions ne sont pas toujours uniques, plusieurs jeux d'ondes additionnées pouvant produire le même résultat.

Nous allons voir que la physique de la relativité change le cadre conceptuel au bénéfice d'un continuum espace-temps possédant des propriétés propres mais qu'elle tend à conserver les notions de causalité et de déterminisme. La physique quantique bouleverse à peu près tout, conception de l'objet, causalité déterminisme

mais a du mal à intégrer dans ses équations les interactions du cadre spatio-temporel de la relativité. Les deux théories ne se remettent cependant pas en cause, chacune reconnaissant la validité des résultats de l'autre.

L'antériorité de la cause sur l'effet

Si l'on postule une causalité entre deux événements, celui considéré comme effet est postérieur à celui considéré comme cause. Lorsque les physiciens commencèrent à concevoir un temps 'local' et à étudier ses propriétés, il apparut que la perception de l'antériorité de certains événements par rapport à d'autres pouvait être inversée selon les observateurs, l'effet pouvait-il alors précéder la cause ? Nous avons rappelé l'expérience de Michelson et Morlaix qui constate une vitesse de propagation constante de la lumière quelle que soit la vitesse de sa source. C'est une contradiction avec la mécanique dite galiléenne que remarqua sans doute en premier Poincaré. Pour Galilée, et selon le sens commun, la vitesse d'un mobile situé dans un repère en déplacement par rapport à un observateur est, pour cet observateur, la somme de sa vitesse dans le repère augmentée de la vitesse du repère. Le voyageur qui marche dans le train a une vitesse par rapport au quai égale à celle du train par rapport au quai augmentée de sa vitesse dans le train. Pour expliquer le résultat de l'interféromètre il fallait que l'éther se déplace en suivant le mouvement de la Terre. Cette dernière hypothèse étant difficilement tenable, Fitzgerald proposa une contraction de la longueur des bras de l'interféromètre selon leur orientation dans le vent d'éther qui exercerait une pression sur les atomes du bras de l'appareil. Lorentz en relation avec Poincaré calcula les lois auxquelles devait obéir une telle contraction. Son ensemble d'équations donne les formules de combinaison des vitesses pour lesquelles les lois de Maxwell s'appliquent sous la même forme pour tous les repères en translation les uns par rapport aux autres. Il semble cependant que Lorentz était tenant de l'existence d'un référentiel absolu et négligeait les conséquences de la réciprocité, si une voiture passant (très, très vite) dans une rue semble plus courte pour les promeneurs que lorsqu'elle est à l'arrêt, il n'en déduisait pas que les maisons semblaient plus étroites pour les passagers de la voiture. Pour lui, si l'éther agit sur la matière, celle-ci n'agit pas sur l'éther. Les phénomènes de contraction étaient des phénomènes physiques affectant les objets, pas la structure de l'espace. Que Poincaré ait été plus audacieux en ce domaine est

une question de spécialiste. Il s'ensuivit une discussion entre physiciens qui postulèrent également que ce sont soit les ondes électromagnétiques qui subissent une contraction, soit la matière car les forces de liaison qui maintiennent sa cohérence sont de nature électro magnétique. Emil Cohn, Joseph Larmor, Woldemar Voigt développèrent des théories où apparaissait toujours un facteur de la forme $(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ où v est une vitesse relative et c celle de la lumière. On y trouve parfois l'usage d'un temps local mais il ne sert que comme moyen de calcul. En 1905, l'article d'Einstein intitulé *Sur l'électrodynamique des corps en mouvements* se fonde sur deux points, la pertinence des lois de Maxwell et l'impossibilité de définir un mouvement par rapport à un référentiel absolu¹⁶⁹. Une des conséquences d'un tel fondement est que les lois de la physique doivent être les mêmes dans tous les référentiels galiléens, y compris les lois de Maxwell, donc la vitesse de la lumière est la même pour tous ces référentiels. Einstein observait que les lois de transformation de Lorentz permettaient de passer d'un référentiel à un autre en gardant cette vitesse inchangée, il en déduisit qu'elles exprimaient une des caractéristiques du réel et qu'il fallait en venir à une conception différente du temps.

L'interprétation de son article a eu deux conséquences ; l'abandon de l'éther car la contraction des corps en mouvement n'est plus la résultante d'une action de l'éther sur la matière, et la mise en évidence d'un temps propre pour chaque référentiel en mouvement.

La théorie ne fut pas admise immédiatement par l'ensemble de la communauté scientifique, certains de ses résultats sont fortement contre intuitifs¹⁷⁰. Des contre théories furent proposées, qui devaient tenir compte des résultats de Michelson, mais qui par exemple supposaient la vitesse de la lumière constante mais seulement par rapport à sa source (théorie de l'émission), Des expériences telles l'observation des étoiles doubles les réfutèrent en grande partie tandis que d'autres telle l'observation de la courbure des rayons lumineux validaient les prévisions de la théorie de la relativité générale, prolongement de la relativité restreinte. L'éther disparut complètement avec la notion d'espace absolu, du moins comme un milieu doué d'une des propriétés qui caractérisent les milieux pondérables, être constitués de parties pouvant être suivies dans le temps.

¹⁶⁹ Les remarques suivantes proviennent en grande partie de A. Einstein, *La relativité*, traduction M. Solovine, Paris, bibliothèque Payot, 1956

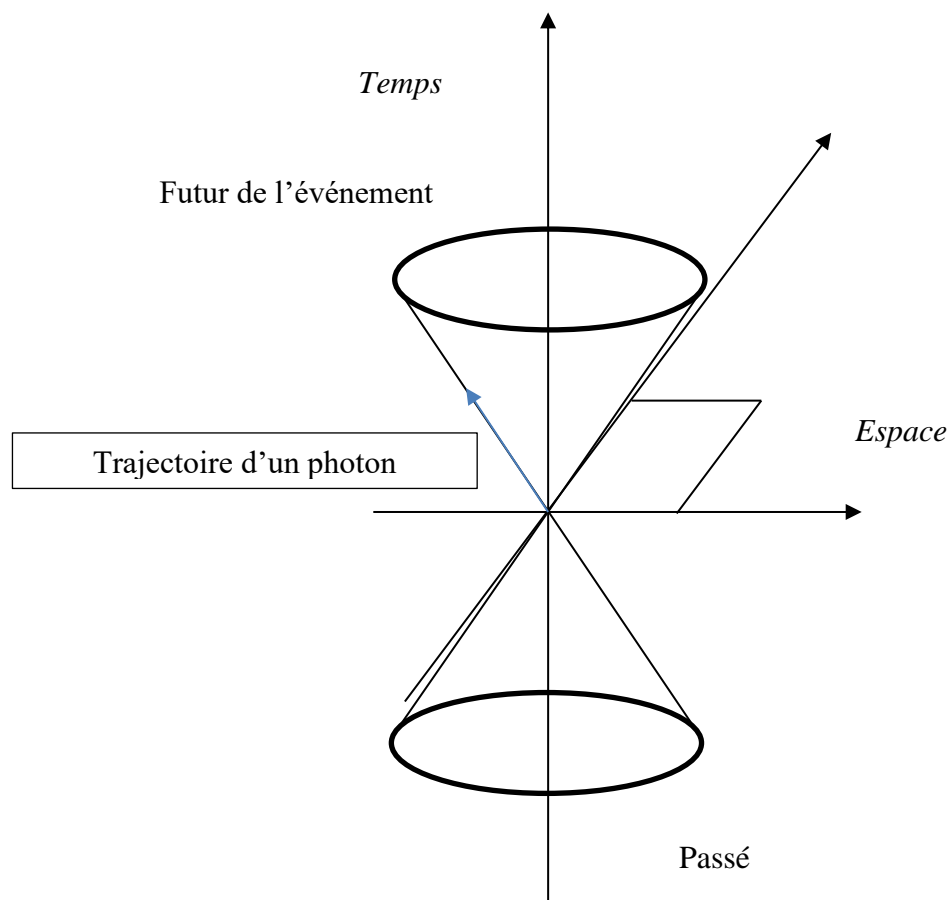
¹⁷⁰ Voir *supra*

En 1907, H. Minkowski considérera l'espace-temps comme « une variété non euclidienne à quatre dimensions ». Nous distinguons selon le sens commun les événements par les lieux où ils se sont produits et le temps qui les sépare. Les horloges des satellites du système GPS sont synchronisées qu'ils soient au-dessus de l'Europe ou de l'Amérique et les armistices de 1918 et 1940 furent signés au même endroit mais pas au même moment. Pour un observateur situé au centre de la galaxie, la simultanéité des bips émis par les satellites est problématique et Rethondes s'est très fortement déplacé dans l'espace. Minkowski montra que si l'on considère que le carré de la distance de deux événements a et b, Δs^2_{ab} est telle que $\Delta s^2_{ab} = c \cdot \Delta t^2_{ab} - d^2_{ab}$ où Δt_{ab} est l'intervalle de temps entre les événements et d leur distance spatiale alors Δs^2_{ab} est un invariant dans tous les systèmes galiléens. La distance séparant deux événements au sens de Minkowski est indépendante du référentiel dans lequel elle est calculée. Il faut noter que Poincaré avait conçu un tel espace géométrique dès 1905, mais il le considérait comme une convention de calcul pratique. Pour Minkowski il s'agit de caractéristiques physiques. Par construction Δs^2 peut être négatif ce qui correspond à une distance imaginaire (au sens mathématique). Les événements pour lesquels Δs^2 est positif sont dits avoir un intervalle du genre temps, ils peuvent être liés causalement car un signal voyageant à une vitesse inférieure de la lumière peut les relier, si Δs est nul les événements ne peuvent être liés que par des particules sans masse, si $\Delta s < 0$ les événements n'appartiennent pas au même ensemble causal. Il est classique de considérer ce que l'on appelle un cône de lumière qui part d'un point de l'espace à un moment déterminé. Si les trois composantes de l'espace sont représentées par deux axes et le temps par un autre perpendiculaire au plan déterminé par les premiers, alors, de ce point partent deux cônes à l'intérieur desquels sont situés tous les points de l'espace pouvant être en relation dans le futur ou le passé avec le point origine. La surface des cônes est le lieu des trajets des photons qui sont issus de O ou qui y convergent. Le plan horizontal représente en deux dimensions l'espace en trois dimensions autour de O.

Tous les points situés dans les cônes sont à une distance positive de O au sens de Minkowski, ils ont un intervalle genre temps et peuvent lui être liés causalement. Ce n'est pas le cas des points extérieurs qui sont à une distance spatiale. La vitesse de la lumière étant indépassable, aucun objet, massif ou non, ne peut avoir eu de

relation avec O, s'il est à l'instant considéré hors du cône de lumière. De même aucun objet futur ne pourra dépendre de O s'il est dans le même cas.¹⁷¹ Il n'y a de possibilité de causalité qu'entre entités dont les coordonnées sont à une distance de genre temps. Cette limitation de la causalité provient de ce qu'on lui attribue au moins deux propriétés :

1-La causalité n'est 'effective' que lorsque « quelque chose » doit relier la cause à l'effet. La causalité est ainsi entendue comme besoin d'une relation entre deux entités, relation qui ne peut s'établir qu'à la vitesse de la lumière. De fait cela semble naturel d'envisager que ce qui se passe actuellement dans le système solaire ne puisse dépendre d'un événement situé à plus d'un milliard d'années lumière que si celui-ci a eu lieu dans un lointain passé. Le choc actuel de deux trous noirs dans la galaxie d'Andromède n'aura pour nous de conséquence éventuelle que dans plus de deux millions d'années. Cette conception rejette comme « fantasmagorique » toute causalité instantanée ou sans support, problème qui sera soulevé par la



¹⁷¹ La détection d'ondes gravitationnelles par exemple le 14 septembre 2015

mécanique quantique. Cet adjectif que la tradition prête à Einstein¹⁷² provient sans doute de l'utilisation par de nombreux récits de magie d'une causalité par similitude de structure. Ainsi le lien de « sympathie » entre une plaie et l'arme qui l'a causée peut être selon ces théories, rendu tel qu'en portant la lame au feu elle provoque à distance et instantanément une souffrance sur la plaie¹⁷³. Le mauvais sort lancé peut avoir besoin d'un esprit agent pour l'exercer, mais il peut aussi agir directement par similitude par exemple entre la poupée confectionnée selon certains rites et la personne qu'elle représente.

2- L'effet est jugé comme étant toujours postérieur à la cause et le temps s'écoule dans la même direction pour tous les systèmes physiques. La relativité permet théoriquement des voyages instantanés dans le futur, elle ne semble pas permettre de voyages dans le passé sinon comme retour au moment initial d'un voyage dans le futur.

Contraction des longueurs apparentes, et existence de temps locaux sont à la base de nombreux paradoxes où la causalité semble bafouée. Si celui, célèbre, dit des jumeaux de Langevin, ou plus exactement des boulets de Langevin¹⁷⁴ ne la concerne pas directement, il n'en est pas de même de celui que nous allons étudier dans lequel l'inversion de la succession de deux événements selon le référentiel semble conduire à la suppression d'un effet pour un observateur alors qu'il est présent pour un autre.

. Supposons un train à très grande vitesse capable d'atteindre 60% de celle de la lumière. Deux contrôleurs ont emporté à son bord un mètre et des chronomètres provenant de la gare de départ dont ils ont vérifié que les paramètres étaient identiques (même heure dans un même lieu, même durée de la seconde, même longueur des mètres) avec ceux de deux collègues qui resteront à quai et iront se poster aux extrémités d'un tunnel. En mesurant les couloirs les contrôleurs trouvent que leur train a une longueur de 200 mètres, ils s'installent un à l'avant, l'autre à l'arrière du train.

A l'intérieur du train, les chronomètres vont battre de façon uniforme, ainsi les temps de passage relevés par les deux contrôleurs sont considérés comme

¹⁷² Je ne suis pas parvenu à trouver la référence directe exacte

¹⁷³ Cf., Umberto Eco, *l'île du jour d'avant*, et le problème des longitudes

¹⁷⁴ Un jumeau parti de la terre dans une fusée très rapide sera plus jeune à son retour que celui resté sur place. Dans l'exposé originel de Poincaré, des voyageurs se déplacent, comme dans le roman de J. Verne, dans des boulets, pas dans des fusées.

appartenant au temps propre du train. S'ils se retrouvent plus tard en un point du train ils s'apercevront que leurs chronomètres indiquent la même heure. Il en est de même pour les chronomètres restés à quai qui mesurent le temps propre de la gare.

Le train va pénétrer dans un instant, à sa vitesse maximum constante, dans un tunnel qui mesure également, pour ceux qui ne bougent pas par rapport à lui, 200 m, les choses se compliquent alors un peu. Vu du quai le train ne mesure plus que 160 m, effet de la contraction relativiste des longueurs, mais vu du train le tunnel mesure également 160 m car le référentiel du quai n'a pas vis-à-vis des lois de la physique, de position privilégiée par rapport à celui du train.

Pour le train vont se succéder les événements suivants :

A : l'avant du train est à l'entrée du tunnel à t égale 0 microseconde¹⁷⁵

B : l'avant du train est à la sortie du tunnel à t égale 0,89 microseconde

C : l'arrière du train est à l'entrée du tunnel à t égale 1,11 microsecondes

E : l'arrière du train est à la sortie du tunnel à t égale 2 microsecondes

Mais vus des observateurs sur le quai les événements ne se déroulent pas ainsi

A : l'avant du train est à l'entrée du tunnel à t égale 0 microseconde

C : l'arrière du train est à l'entrée du tunnel à t égale 0,89 microseconde

B : l'avant du train est à la sortie du tunnel à t égale 1,11 microsecondes

E : l'arrière du train est à la sortie du tunnel à t égale 2 microsecondes

On constate que l'entrée du train dans le tunnel et la sortie complète du train du même tunnel s'effectuent pour les deux référentiels au même moment et que pour les deux l'avant du train a parcouru la même distance.

Mais on constate aussi que les événements ' B, avant du train à la sortie du tunnel' et 'C, arrière du train à l'entrée du tunnel' sont inversés dans les deux référentiels. Imaginons alors l'expérience suivante : une bombe doit exploser au moment B où le train sort du tunnel (avant du train à la sortie du tunnel) mais elle peut être désamorcée par un signal émis par le wagon de queue au moment C où son arrière rentre dans le tunnel.

Pour le train, l'événement B précédant l'événement C de plus de 0,2 microsecondes, la bombe explose. Pour les observateurs sur la voie, l'événement C précédant l'événement B la bombe est désamorcée avant son explosion. Il y a donc manifestement un problème de causalité, l'effet pouvant être antérieur à la cause

¹⁷⁵ Par convention, ce sont les intervalles de temps qui comptent, pas l'instant initial.

selon le repère dans lequel on se place.

Introduisons un événement D qui est l'arrivée du signal de désamorçage à l'avant. Dans le référentiel du train ce signal doit parcourir la longueur du train à la vitesse de la lumière il mettra 0,66 microseconde, mais comme il ne parviendrait de toute façon à l'avant du train qu'après la sortie du tunnel (l'avant est déjà sorti quand il est émis), il y a bien une explosion.

Dans le repère du quai ce signal doit parcourir la longueur du train vue du quai, toujours à la vitesse de la lumière qui est la même dans tous les référentiels galiléens, mais l'avant du train s'éloigne du point d'émission à la vitesse de 0,6 c. Le signal met donc 1,3 microsecondes à atteindre l'avant du train, c'est un délai supérieur au temps nécessaire à l'avant du train pour sortir du tunnel. Donc dans ce référentiel la bombe explose également.

L'on considère que l'événement B n'était pas dans le cône de causalité de l'événement C et réciproquement. La distance spatiale « ds^2 » entre les deux est supérieure à leur distance temporelle « c^2dt^2 », elle est trop grande pour qu'un signal voyageant à la vitesse de la lumière puisse les relier. La causalité n'existe que pour les événements situés à une distance temporelle.

La différence $c^2dt^2 - ds^2$ existant entre des événements est constante quel que soit le référentiel galiléen dans lequel on la calcule. Elle est équivalente à une distance. Les distances entre les événements B et C, B et D, C et D peuvent être aisément calculées. Celle entre C et D est nulle dans tous les référentiels, le temps de propagation du signal étant justement égal à la longueur propre du train divisée par la vitesse de la lumière. Celle entre B et D est positive et égale dans le référentiel du train comme dans celui du quai¹⁷⁶.

Un autre phénomène contre intuitif peut être lié à cet exemple. Si on suppose qu'un signal lumineux est émis par l'arrière du train au moment où il rentre dans le tunnel, il serait vu par l'observateur du quai (le train est 'plus court' que le tunnel), alors qu'il ne serait pas émis par le train puisqu'il a explosé selon l'observateur du train. Cependant l'explosion, comme tout signal de désamorçage ne peut se propager qu'à la vitesse de la lumière et il est facile de calculer que le wagon de queue, dans le référentiel du train, ne sera détruit qu'après avoir pénétré dans le tunnel.

¹⁷⁶ à 71 111 exactement. En m/s

Malgré leur inversion apparente, tous les observateurs perçoivent, in fine les mêmes événements. Le paradoxe provient de l'aspect contre intuitif de la théorie, mais il ne conduit pas à une contradiction ce qui aurait été le cas si le train avait explosé dans un référentiel mais pas dans l'autre. Le champ d'application de la causalité est réduit, il existe des portions d'univers qui ne peuvent être causalement reliées, mais son principe demeure.

Il existe toutefois un problème causal celui du voyage dans le temps. En effet la gravitation n'est plus une force qui agit à distance, elle est une conséquence de la modification de la métrique de l'espace-temps par la matière. Des ondes gravitationnelles peuvent exister comme des perturbations ondulatoires faisant varier les métriques locales. Lier dans un même système d'équations, le temps, la matière et l'espace, revient à considérer, en utilisant l'équivalence matière énergie, qu'il devait être possible en agissant sur l'énergie ou en utilisant les concentrations de matière existantes, de modifier la trame temporelle donc de voyager dans le temps. Des théories, telles celles de M. Alcubierre fournissent des métriques cohérentes avec les équations d'Einstein et le voyage dans le temps, mais il n'est pas sûr qu'elles aient un sens physique, ainsi la propulsion étudiée par ce dernier requiert l'usage d'une matière de masse négative. Quoiqu'il en soit la notion de voyage dans le temps met en lumière le lien étroit entre ce dernier et la causalité. Un voyage dans le temps permettant de tuer son grand-père, conduirait à ne pas exister au début de son voyage, donc à ne pas tuer son grand-père et à une vraie contradiction qui peut être levée en supposant l'existence de différents univers parallèles contenant chacun une trame causale différente. Nous retrouverons cette notion dans une interprétation possible de la mécanique quantique.

Commentaires

Pour la théorie de la relativité, l'effet est toujours postérieur à la cause. Les mêmes effets sont observés par tous les référentiels mais une relation de causalité ne peut intervenir qu'entre éléments situés à une distance de nature temporelle. Une relation de causalité est un échange de 'quelque chose' (cela n'est pas dans les équations mais correspond à la pensée d'Einstein) et ce quelque chose ne peut circuler à une vitesse supérieure à celle de la lumière. En un sens les causes possibles d'un événement deviennent potentiellement plus nombreuses lorsque l'on remonte dans son passé ce qui est une notion que nous avons reprise dans notre

définition de la ‘cause objective’. Les équations utilisées sont continues et le déterminisme règne fondamentalement sur l’univers. Il apparaît que malgré sa capacité à remettre en cause les concepts antérieurs, la théorie de la relativité reste une théorie classique vis-à-vis de la causalité qu’elle précise plutôt. Ce n’est pas le cas avec les théories de la physique quantique qui seront beaucoup plus critiques, en particulier à l’égard du déterminisme.

Les relata des relations causales

Nous nous bornerons à décrire ici ce que R. Feynman considère comme l’expérience fondamentale, celle des fentes de Young adaptée à la mécanique quantique, mais nous devons signaler l’interprétation actuelle à considérer les objets quantiques en termes de « champ ». Un champ est un ensemble de valeurs, scalaires ou vectorielles ou d’objets mathématiques (opérateurs) mesurables en tout point de l’espace. Connaître les lois de variation de ces valeurs suffit à décrire et prévoir les phénomènes (résultats des mesures). Dès lors l’interrogation sur l’objet que traite la mécanique quantique, onde ou particule, devient un problème d’ontologie se rapportant au champ.

On a rappelé en prenant l’exemple trivial d’un caillou jeté dans un lac les différences fondamentales entre une onde et une particule. La lumière était au début du XX^e siècle considérée comme une onde, cependant certains effets de la lumière, en particulier l’effet photo électrique, ne peuvent s’expliquer qu’en supposant à la lumière une structure en grains. Le grain minimal a été baptisé photon. Reprenant le modèle de la planchette à la surface du lac qui provoque des interférences issues de l’onde qui la frappe, l’expérience a été conduite en émettant, des grains de lumière dirigés vers deux fentes rapprochées puis en observant leur point d’arrivée sur un écran luminescent. Des résultats surprenants ont été obtenus.

Si l’on ne conserve qu’une fente ouverte les photons se comportent comme des particules et forment sur l’écran placé derrière la fente, des taches lumineuses présentant un maximum dans son alignement avec la source, comme les cailloux à travers les fentes d’un mur.

En ouvrant une fente, puis l’autre l’on observe, mutatis mutandis, la même chose.

Mais si l’on ouvre les deux fentes ensemble alors, l’on n’obtient pas, comme

l'on pourrait s'y attendre, une image sur l'écran qui soit la somme des images produites par les deux fentes, mais une image avec des raies d'interférence comme avec une onde. Pour mieux comprendre le phénomène, la source de photons a été réduite de façon à les émettre un par un.

- L'émission des photons un par un fait apparaître des taches individuelles sur l'écran mais au fur et à mesure qu'elles apparaissent elles forment sur l'écran des franges d'interférence. Chaque photon semble interférer avec lui-même pour s'interdire certains emplacements.

- Si l'on cherche à déterminer par quelle fente passe le photon en plaçant un détecteur auprès de chacune, le photon est détecté mais les fentes d'interférence disparaissent. L'image obtenue est celle correspondant à une distribution de particules passant par des fentes, la somme des images à laquelle on s'attendait. La détection du 'chemin' du photon lui fait perdre son caractère ondulatoire. On dit que la détection 'réduit la fonction d'onde' de la particule.

L'expérience a été modifiée en remplaçant les photons par des électrons, puis par des particules plus lourdes. Les mêmes phénomènes apparaissent. Les particules semblent également interférer avec elles-mêmes et leur détection sur un chemin supprime les franges d'interférence. Les particules se comportent comme une onde ou un corpuscule selon les conditions de l'expérience. La mesure effectuée pour déterminer le point de passage de la particule influe sur son comportement. Les deux fentes ouvertes, il est impossible de déterminer par où est passée la particule qui va heurter l'écran. Les conditions d'émission des particules sont inchangées. Dans le cas d'une détection chaque fente voit passer un nombre de photons identique mais il est impossible de déterminer dans quelle fente sera détecté le photon individuel. Il n'y a pas de trajectoire déterministe.

Cette expérience a un côté spectaculaire qui lui vaut sa célébrité. Elle a été compliquée par l'expérience dite de la gomme quantique à effet retardé dont l'idée était de pouvoir *a posteriori*, dans le cas de la formation de franges d'interférence, déterminer par quel chemin était passé le photon. Il existe en effet un appareil qui ne provoque pas la réduction de la fonction d'onde mais qui émet deux photons corrélés lorsqu'il en reçoit un. Il suffit alors de comparer ensuite le comportement des photons secondaires pour connaître le chemin du photon initial.

Mais si l'observation des photons secondaires à lieu longtemps après la

Déterminisme absolu ou déterminisme statistique ?

formation de franges d'interférence par les photons initiaux, l'on aurait une possibilité de déterminer le chemin pris par un phénomène ondulatoire. Il semble, car les problèmes d'interprétation deviennent très ardues, que lorsque l'on parvient à connaître ce chemin, le phénomène de diffraction disparaisse. Une des interprétations fait réagir la deuxième mesure, postérieure, sur le résultat de la première. Elle autoriserait une rétroaction quantique de l'effet sur la cause.

Commentaires

Ce que la causalité met en relation en mécanique quantique, les relatifs, n'ont pas un statut ontologique classique. L'objet peut apparaître sous des modalités différentes ; dès lors les effets d'une même expérience seront interprétés selon la nature que l'on prête à l'objet. Il existe une éventualité théorique d'effet antérieur à la cause.

Déterminisme absolu ou déterminisme statistique ?

Le formalisme quantique s'appuie sur le principe de superposition des états. La particule observée est caractérisée par un vecteur d'état parfois appelé fonction d'onde qui contient toutes les informations que l'on peut obtenir sur elle. Cet état a la forme mathématique d'un vecteur (une flèche qui relie deux points). Les points sont repérés dans l'espace usuel, euclidien, par trois nombres « réels¹⁷⁷ » les coordonnées dites cartésiennes et s'ils correspondent à la localisation d'une particule en mouvement, la connaissance d'un vecteur égal au produit de sa masse par sa vitesse suffit à prévoir ses positions futures. Rajouter d'autres particules complexifie le système mais l'expression des équations reste dans l'espace de dimension trois. L'espace dans lequel évolue le vecteur d'état de la particule quantique n'est de dimension trois que si l'on étudie une seule particule, la dimension augmente avec le nombre de particules, d'autre part les nombres utilisés sont de type « complexes¹⁷⁸ ». En l'absence de mesure le vecteur d'état évolue selon l'équation de Schrödinger. Notons bien que « l'espace » dans lequel s'effectue cette évolution n'est pas l'espace de Descartes, celui de notre perception habituelle, mais un espace formel, mathématique dit de Hilbert.

¹⁷⁷ Les nombres habituels, (1,672 ; 34,2 ; 8 ; -2 ; etc...)

¹⁷⁸ De la forme $a + ib$ où a et b sont des nombres « réels » mais où i^2 est égal à -1 . La composante ib est dite imaginaire.

Un tel espace est mathématiquement compatible avec un des principes de base de la physique quantique qui postule que tout système physique qui peut mathématiquement être défini comme étant dans les états A ou B peut l'être dans des combinaisons linéaires de A et de B, soit $pA + qB$, p et q étant des coefficients complexes

Cette formulation permet de prévoir le résultat des mesures que l'on peut effectuer sur le système étudié. Mais le résultat d'une mesure ne peut pas être deux valeurs à la fois. L'aiguille d'un ampèremètre n'a jamais pris à la fois deux positions distinctes. Le formalisme utilisé permet de dire quels sont les résultats possibles et quelle est la probabilité d'obtenir chacun. La quantification implique qu'il n'y ait qu'un ensemble dénombrable de valeurs possibles. Si l'on mesure l'énergie de l'électron d'un atome d'hydrogène l'on ne trouvera que des valeurs égales à $-13,6/n^2$ électronvolts¹⁷⁹ divisées par n^2 où n est un entier et la probabilité d'obtention d'un résultat sera fournie par la théorie. Ainsi si le système est convenablement décrit à l'instant $t = 0$, son évolution parfaitement déterministe suit l'équation de Schrödinger et le physicien saura quelle est la probabilité d'obtenir $-13,6$ eV ou $-3,4$ eV ($13,6/4$). Certaines préparations fourniront le résultat $-13,6$ à tous les coups, probabilité égale à 1, d'autres la réduiront à 0, d'autres donneront 50% de $-13,6$ et 50% de $-3,4$.

Il faut noter que ces résultats ne seront pas les résultats obtenus si l'on mélange des objets quantiques dans l'état pA et d'autres dans l'état qB et si l'on effectue les mêmes mesures. Il existe des états superposés distincts d'un « mélange propre » de pA et de qB . La mesure effectue une « réduction » ou une « projection » ou un « effondrement » en supprimant l'état superposé.

Il y a ici une contradiction flagrante avec la mécanique classique, son principe étant que toutes choses étant égales par ailleurs, les mêmes expériences donneront le même résultat. Toutes les billes identiques lâchées à la même altitude auront au bout du même laps de temps la même vitesse. La mesure similaire effectuée pour des particules quantiques préparées identiquement donnera des vitesses différentes.

La physique classique postule que l'objet mesuré possédait la propriété que l'on mesure avant celle-ci. Si un radar mesure la vitesse de votre voiture et trouve 120 km/h il est patent que l'on vous imputera de posséder cette vitesse avant la

¹⁷⁹ L'électronvolt est une mesure d'énergie, celle acquise par un électron soumis à une tension de 1 volt

Déterminisme absolu ou déterminisme statistique ?

mesure. Cette affirmation est impossible en mécanique quantique. C'est par un abus de langage que l'on dit que l'objet quantique possède plusieurs vitesses à la fois ou bien se trouve partout à la fois. Il a plusieurs potentialités de vitesse et de lieux et la mesure lui fait prendre une valeur unique. Il est selon la terminologie courante dans un état superposé. Mais cela ouvre à bien des paradoxes, en particulier celui du chat de Schrödinger, en liant le destin de ce chat à celui d'un atome dans un état excité, avant toute mesure sur l'atome le chat est supposé pouvoir rester dans un état $p.mort + q.vivant$.

SI l'on considère la causalité, l'ensemble des physiciens considère que l'équation de Schrödinger est déterministe, elle décrit parfaitement l'évolution d'un système. Cependant lors de la mesure elle 's'effondre' puisqu'une seule des possibilités émerge. Si nous considérons, dans un premier temps, que c'est la mesure qui est la cause de l'effondrement de la fonction d'onde¹⁸⁰, le résultat étant aléatoire c'est le déterminisme seul qui est en question. Plusieurs interprétations ont été proposées, nous nous arrêterons sur les trois principales en ayant conscience de n'en fournir qu'une version simplifiée¹⁸¹. Nous suivrons les interprétations dites orthodoxe, de de Broglie Böhmer et Everett.

L'interprétation orthodoxe dite de Copenhague

Le vecteur d'état n'est pas un objet du monde. L'objet du monde est ce à quoi s'applique le vecteur d'état. Le monde est décrit en termes de particules (électrons, molécules) ou de champs. Mais l'objet du monde étudié « n'a pas toujours de propriété¹⁸² », il n'en a que lorsque la probabilité du résultat de la mesure de cette propriété est égale à 1. Ou évidemment après une mesure. Le vecteur d'état possède un statut « subtil »¹⁸³ il ne décrit pas directement les propriétés d'un système mais il n'est pas relatif à un observateur ou un autre.

L'état du monde est complètement décrit par le vecteur d'état, ce point est

¹⁸⁰ Cette considération est-elle pertinente ? Oui au moins dans une conception contrefactuelle de la cause. Avant toute mesure un objet quantique peut être décrit dans un état superposé, sans interaction ses ondes de probabilité se modifient mais son état reste superposé. La mesure implique une interaction mais l'objet non isolé interagit avec son environnement, il est en quelque sorte mesuré par les particules voisines.

¹⁸¹ La présentation des interprétations s'appuie en particulier sur l'ouvrage de Thomas Boyer Kassem *Qu'est-ce que la mécanique quantique*, Paris, Vrin, Chemins philosophiques, 2015. L'auteur note (p 34) qu'il va présenter chaque interprétation dans une version que l'on peut qualifier de médiane. Nous nous bornerons ici à une simplification de la médiane !

¹⁸² Même ouvrage p 40

¹⁸³ F. Laloë, *Comprenons-nous vraiment la mécanique quantique ?*, <https://www.phys.ens.fr/cours/notes-de-cours/fl-mq/mq.PDF>, département physique ENS, p 4

important car l'on pourrait postuler l'existence de variables cachées qui suppriment l'indéterminisme du résultat, une ou plusieurs variables inconnues s'ajouteraient aux nombres quantiques décrivant l'électron et expliqueraient le résultat des mesures.

Le monde a un caractère indéterministe au niveau le plus fondamental. Rien ne permet de prévoir que le résultat de la mesure sera de -13,6 ou de -3,4 selon notre exemple. Seules les probabilités d'apparition de ces résultats seront déterminées. Ce qu'est le monde entre deux mesures ne préoccupe pas le physicien qui sait seulement que son évolution est déterministe.

Il demeure le problème fondamental de l'interruption d'une évolution déterministe par une mesure qui provoque un résultat non déterminé. A partir de quel moment et dans quelles circonstances apparait le fait d'être mesuré ? Et qu'est-ce qu'une mesure ? Le problème englobe le besoin d'expliquer pourquoi le monde que nous percevons n'a pas un caractère quantique.

Ce champ de recherche est aujourd'hui celui des théories de la décohérence. Une théorie classique¹⁸⁴ stipule qu'il n'y a pas de différence fondamentale pour un objet quantique entre son interaction avec un appareil de mesure et un autre objet quantique, une mesure est un type d'interaction. La fonction d'onde que l'on doit considérer est de plus en plus complexe à mesure que croissent les interactions. Son évolution conduit à rendre négligeable la probabilité des états superposés. Elle ne conduit cependant pas à un état unique mais à un ensemble d'états exclusifs. Il n'y a pas de projection sur une seule valeur. Le chat de Schrödinger a ainsi selon la théorie une probabilité d'être vivant ou mort égale à la probabilité de désintégration de l'atome auquel on a lié son sort. Cela est conforme à la réalité, reste dans le cadre de l'indéterminisme¹⁸⁵, mais ne résout pas entièrement le problème, un observateur constatera *hic et nunc* la mort ou la survie du chat.

L'interprétation de Böhm :

C'est un développement de la théorie de l'onde pilote de de Broglie, ce dernier considérant que la lumière, une onde, se comportait parfois comme une collection de particules, a eu l'idée que la matière pouvait avoir des propriétés ondulatoires. Même si cette théorie est dite parfois 'à variables cachées' ce terme est souvent

¹⁸⁴ N'introduisant pas comme certaines, le rôle de la conscience de l'observateur

¹⁸⁵ Une poussière de 10⁻³ cm³ perd dans l'air ses propriétés quantiques en 10⁻³⁶ secondes, E. Joss, *Decoherence and the appearance of a classical world in quantum Theory*, Springer-Verlag, 1996

récusé car il prête à confusion avec la démonstration par Bell de l'inexistence des variables cachées locales. Dans cette théorie une onde 'pilote' gouverne le mouvement de la particule associée. Onde et particules sont des entités « authentiquement physiques¹⁸⁶ ». L'extension de l'onde pilote dans l'espace et son interférence avec les ondes pilotes des autres particules assurent le caractère non local de la théorie, il n'y a au fond qu'une seule onde pilote, rebaptisée par Böhm « potentiel quantique » qui conduit à la notion d'un « ensemble continu de l'univers entier¹⁸⁷ ».

Les variables introduites en plus de la fonction d'onde sont les positions des particules. Elles sont définies à chaque instant mais ne peuvent être connues que statistiquement. Le monde est déterministe car la fonction d'onde suit l'équation déterministe de Schrödinger et les positions des particules, sont déterminées par cette fonction. Le monde « nous apparaît cependant comme indéterministe »¹⁸⁸ car nous ne pouvons connaître précisément la position des particules. Si la mesure de l'orientation du spin¹⁸⁹ des électrons d'un ensemble les divise en deux sous-ensembles égaux l'un ayant un spin positif l'autre ayant un spin négatif, ce n'est pas parce que les deux états étaient superposés avec une égale probabilité dans chaque électron, mais parce qu'avant la mesure la position des électrons était distribuée de façon à produire le résultat. Il n'y avait cependant aucun moyen de connaître cette position et de plus le résultat dépend également de l'orientation de l'appareil qui mesure le spin, puisque la mesure dépend des positions relatives de l'appareil et des électrons. Une interprétation déterministe produit à cause d'une impossibilité de connaissance des résultats indéterminés

La théorie d'Everett :

Pour ce dernier il n'y a pas de réduction de la fonction d'onde au moment d'une mesure et l'équation de Schrödinger gouverne tout le temps son évolution. Pour notre exemple précédent elle considère comme dans l'interprétation orthodoxe, que l'électron incident possède un état superposé mais elle rajoute qu'il faut même après

¹⁸⁶ P 52

¹⁸⁷ D. Bohm, B. J. Hiley: *On the intuitive understanding of nonlocality as implied by quantum theory*, Foundations of Physics, Volume 5, Number 1, pp. 93-109, 1975, citation non vérifiée

¹⁸⁸ P 55

¹⁸⁹ Le spin est une propriété quantique, non assimilable aux propriétés de la physique classique, elle ne peut prendre que des valeurs quantifiées, il possède une orientation également quantifiée. Deux valeurs sont seulement possibles pour l'électron.

une mesure, conserver cet état.

Cependant l'appareil que nous avons considéré n'enregistre qu'une valeur de spin. Everett postule donc que le monde se dédouble à l'instant de la mesure en deux mondes dont la différence n'est que le résultat de la mesure du spin. Dans un monde il est positif, dans l'autre il est négatif. Les phénomènes de décohérence étant nombreux à chaque instant se créent une multiplicité d'embranchements chacun dédoublant les observateurs et leur conscience. Le formalisme quantique est ainsi pris au « pied de la lettre »¹⁹⁰ et le problème de l'effondrement de la fonction d'onde est contourné.

Les mondes qui divergent ne peuvent communiquer entre eux et dans chacun le physicien mesure une valeur correspondante à la prévision théorique. Dans un monde le spin sera positif et dans un autre négatif. Même si l'on peut avoir du mal à considérer l'infinité de monde parallèles devant coexister il n'a pas été trouvé d'arguments invalidant cette hypothèse. Dans chaque embranchement les prédictions de la théorie quantique sont réalisées. Everett propose un univers déterministe dans lequel les résultats observés dans n'importe quel chemin suivi parmi les embranchements sont probabilistes.

Commentaires

Il n'existe pas d'expérience permettant de choisir entre les trois interprétations. Les résultats théoriques attendus sont les mêmes. Ce sont les entités mesurées et les objets des prédictions des théories qui sont différents¹⁹¹, l'interprétation classique mesure des objets quantiques pour obtenir des grandeurs physiques, l'interprétation de Böhm mesure les positions de particule et les valeurs d'une onde pilote, celle d'Everett obtient à l'issue de ses mesures toutes les valeurs possibles mais chacune dans un monde différent. Tout en postulant des réels différents elles conduisent à l'observation de phénomènes semblables. Même dans le cas où le réel est déterministe (Böhm, Everett) les phénomènes ont un caractère indéterminé. La compatibilité de ces interprétations avec le caractère local ou non-local de la physique sera examinée plus loin.

¹⁹⁰ D'Espagnat, *traité de physique et de philosophie*, p 220

¹⁹¹ Thomas Boyer Kassem *Qu'est-ce que la mécanique quantique*, Paris, Vrin, Chemins philosophiques, 2015, p 69 sq.

Peut-on connaître certainement les causes ?

Problèmes de continuité

Parmi les quelques décimales qui restaient à préciser pour que la physique soit complète à la fin du XIX^e siècle, figurait le problème du corps noir. Celui-ci est théoriquement constitué d'un corps quelconque dans lequel une cavité intérieure communique par un minuscule trou vers l'extérieur. Lorsque l'on chauffe le corps les parois de la cavité émettent un rayonnement électromagnétique aussitôt absorbé par les mêmes parois. Il n'y a pas de perte d'énergie. Le petit trou permet de mesurer l'énergie émise à chaque fréquence selon la température où est porté le corps.

Le problème provenait d'une considération triviale, tous les corps prennent la même couleur à la même température, il devait donc y avoir une 'constante universelle' à découvrir. Cette considération trouvait aussi une application pratique dans la construction des ampoules électriques, son étude fut donc soutenue internationalement par les industriels.

Max Planck décida très tôt dans sa carrière de se consacrer à la découverte de constantes universelles. Donc en particulier à la relation reliant l'intensité du rayonnement d'un corps noir, la longueur d'onde et la température. Il avait été précédé par les travaux de Kirchhoff et par Wien qui avait donné une loi liant l'intensité du rayonnement d'un corps noir, la fréquence du rayonnement et la température du dit corps. Cette loi correspondait aux observations pour les hautes fréquences mais n'avait pas de support théorique et s'écartait des résultats pour les basses fréquences.

Rayleigh proposa une loi qui s'adaptait à ces dernières mais divergeait pour les hautes. Le 8 octobre 1900 Planck proposa une loi qui recouvrait l'ensemble du spectre. Il s'agissait cependant d'un bricolage ad-hoc. Elle n'avait pas d'interprétation théorique. Il en établit une en six semaines, en adapta son raisonnement à la répartition des énergies par fréquence en se souvenant de la méthode de Boltzmann. Il fut alors forcé de découper l'énergie par tranches extrêmement fines certes, mais discontinues.

Les tranches d'énergie, appelées quanta étaient égales au produit de h par la fréquence absorbée soit $h\nu$, (cette expression allait connaître une fantastique notoriété). Pour Planck ce n'était qu'un mode particulier d'absorption, l'énergie

devait rester une variable continue, mais ‘révolutionnaire malgré lui’¹⁹², il introduisit le concept fondamental de quanta.

Les phénomènes photo électriques, c’est-à-dire l’émission d’électricité par un métal éclairé, ne pouvaient s’expliquer par l’action d’ondes sur le métal, or la lumière était considérée comme une onde. Ils ne se déclenchaient qu’au-delà d’une certaine longueur d’onde incidente et l’énergie cinétique des électrons émis ne dépendait pas de l’intensité de l’éclairage, qui modulait seulement leur nombre, alors que l’on pouvait attendre l’inverse.

Dans son mémoire du 17 mars 1905, Albert Einstein établissait des similitudes entre le comportement d’un gaz d’une part et le couple absorption et rayonnement d’un corps noir de l’autre. Planck s’était déjà servi des raisonnements de Boltzmann et Einstein donnait un nouveau fondement mathématique à ceux de Planck. En utilisant ses résultats à l’étude de l’effet photo électrique il proposait une explication nouvelle. La lumière agissait comme une collection de particules chacune dotée d’une énergie égale à $h\nu$. Cette énergie devait être supérieure à l’énergie nécessaire pour extraire les électrons de l’atome. Si la fréquence d’émission était trop faible, l’intensité de la lumière, aussi forte soit-elle, ne produisait aucun effet, si la fréquence était plus forte, l’énergie excédentaire expliquait la vitesse d’éjection. Les échanges d’énergie ne se faisaient pas de façon continue.

Problèmes d'imprécision

Une chambre de Wilson est un dispositif physique dans lequel un brouillard est artificiellement créé par la détente brusque d’un gaz. Pendant un court instant, si des électrons traversent ce gaz, ils laissent une trace que l’on peut photographier, à l’instar des traînées d’un avion dans l’atmosphère. Ce phénomène semblait la preuve ‘évidente’ de l’existence d’une trajectoire. En l’étudiant, Heisenberg se persuada que la trajectoire n’était qu’une suite discrète de gouttelettes d’eau qui se formaient aux points de plus forte probabilité de présence de l’électron. La goutte d’eau étant infiniment plus grosse que l’électron ce que l’on pouvait considérer comme une trajectoire n’était qu’une suite discontinue de volumes aux contours flous.

Cette étude le conduisit à mettre en évidence un principe qui porte le nom

¹⁹² Les références et la structure de ce chapitre doivent beaucoup à : Manjit Kumar, *Le grand roman de la physique quantique*, Paris, Flammarion, Champs sciences, 2008 , p 55.

Peut-on connaître certainement les causes ?

d'incertitude ou d'indétermination, lui-même utilisait le terme d'*Ungenauigkeit*, imprécision. Il était impossible de connaître précisément, pour une particule, sa position et sa quantité de mouvement. Ce principe s'appliquait aussi au couple énergie et temps, il était également impossible de déterminer l'énergie exacte d'une particule à un moment donné¹⁹³. Cela n'est pas dû à l'imprécision d'un instrument ou aux conditions de la mesure comme le croyait Heisenberg lorsqu'il découvrit le principe. C'est une caractéristique fondamentale, un « trait intrinsèque » de la réalité, mais cela ne lui parut établi qu'après la parution de la critique de son expérience par Bohr qui expliqua le principe comme résultat de la dualité onde particule de tout phénomène quantique. Pauli, par une voie différente, était parvenu à la même conclusion.

Le clivage sur la réalité de la description quantique se fit plus vif. Pour ce qui nous concerne nous ne continuerons à l'étudier, pour les phénomènes, qu'au travers des notions de causalité et de déterminisme, mais il faut savoir qu'il était très profondément axé sur la « nécessité de concevoir la nature comme une réalité objective ». Le non déterminisme pesait moins à Einstein, selon Pauli, que le fait d'admettre que les électrons ne possédaient pas en eux les valeurs qui étaient découvertes au moment leur mesure. Ces valeurs pouvaient être aléatoires mais il devait y avoir des variables cachées permettant de les déterminer.

Le congrès international de physique de Côme, en septembre 1927, permit à Bohr de définir ce que l'on allait appeler, 'l'interprétation de Copenhague', il n'y avait pas d'univers réel caché derrière un univers statistique perçu. Heisenberg ajouta que dans le principe de causalité, qui dit que si nous connaissons le présent avec précision nous pouvons prédire le futur, il n'est pas démontré que la conclusion est fautive, c'est l'hypothèse de base qui est erronée, nous ne pouvons connaître le présent avec certitude.

Bohr, Pauli et Born partageaient avec lui l'opinion qu'il n'y a pas de place dans l'univers quantique pour le déterminisme causal de l'univers classique. Mais Heisenberg, à la source du conflit, continuait à s'interroger en dehors des laboratoires : « la nature peut-elle être vraiment aussi absurde qu'elle nous semblait dans ces expériences atomiques ?¹⁹⁴ ».

¹⁹³ Si p et q sont la position et la quantité de mouvement, alors $\Delta p \cdot \Delta q \geq h/2\pi$. L'on retrouve la constante de Planck utilisée dans un tout autre domaine.

¹⁹⁴ Werner Heisenberg, *Physique et philosophie*, Paris, Albin Michel, 1961, p. 31

Commentaires

Une large partie des théories sur la causalité implique un échange de ‘quelque chose’ entre la cause et l’effet. Le plus simple est un échange d’énergie. Or celle-ci ne s’échange que par paquets. Les effets n’apparaissent pour certains phénomènes qu’à partir d’un certain seuil, ainsi pour reprendre un exemple trivial, une accumulation de billets de cinq euros ne peut produire l’effet d’un seul billet de dix, ce qui est contraire à notre perception usuelle.

Notons simplement que le début du 20^e siècle a vu l’abandon progressif de la continuité dans les phénomènes physiques. Il devenait impossible de décrire ce qui se passait en terme physique pendant des intervalles de temps extrêmement brefs à l’intérieur d’espaces extrêmement restreints¹⁹⁵. Cela induit la possibilité d’envisager un temps et un espace fondamentalement non continus. L’on retrouve ici l’objection de Russell que nous étudierons, s’il n’y a pas de continuité, comment passe-t-on de la cause à l’effet ?

Y a-t-il des effets sans cause ?

L’effet tunnel

Cet effet génère des applications dans tous les ordinateurs et téléphones portables, il est déterminé statistiquement avec une immense précision, mais il est acausal et indéterministe au niveau de la particule élémentaire. Son analogie mécanique est simple : Un poids qui descend une pente ne peut avec son seul élan gravir une pente plus haute. Il en est de même si l’on envoie un électron avec une énergie insuffisante vers une barrière de potentiel qu’il ne peut franchir. Il sera arrêté. Or si c’est le cas majoritaire, l’on constate que certains électrons, malgré une énergie insuffisante, parviennent à franchir l’obstacle. L’explication se trouve dans la propagation ondulatoire, la probabilité de présence de l’électron est dans ce cas, certes très faible, mais non nulle de l’autre côté de la barrière de potentiel. Un nombre d’électrons, proportionnel à cette probabilité et au nombre total d’électrons qui se heurtent à la barrière, la traversera ou plutôt se re-matérialisera de l’autre côté.

¹⁹⁵ La durée de Planck de l’ordre de $5,4 \cdot 10^{-44}$ secondes détermine en la multipliant par la vitesse de la lumière, une distance de Planck telle qu’à son échelle une fluctuation quantique peut créer une particule de façon spontanée.

Y a-t-il des effets sans cause ?

Cet effet a une probabilité significative, pour un atome se déplaçant lentement la probabilité de franchir une colline d'un micromètre de haut et d'autant de large est voisine de 1%. Cette probabilité est divisée par cent pour une molécule formée de deux atomes.

La durée du passage au travers de la barrière pose un problème mais il est indéniable que des électrons franchissent un 'tunnel'. Le microscope électronique utilisant cette propriété fonctionne parfaitement. La 'particule' que l'on observe de l'autre côté de la barrière est-elle la particule incidente ? L'on peut considérer que son couplage avec le champ de Higgs (voir plus loin) lui conférant une masse s'est interrompu avant l'obstacle et que la nature d'onde de la particule lui ayant permis la traversée il se soit rétabli ensuite.

Lorsque l'on observe le phénomène dit de réflexion totale d'une lumière polarisée sur une surface réfléchissante, dans le cas classique d'un rayon incident très rasant, l'on s'aperçoit qu'une faible partie de la lumière traverse la surface sur une courte distance. Il s'agit de l'onde évanescente de Fresnel qui s'apparente à l'effet tunnel¹⁹⁶. La loi de Descartes prévoit dans ce cas une réflexion totale.

Or ces effets ne se constatent que statistiquement. Les particules incidentes ne possèdent pas avant la traversée une caractéristique les différenciant de leurs voisines et autorisant le saut quantique. L'on observe un effet sans une cause qui serait dû à une propriété individuelle, mais soumis à une loi d'une précision parfaite.

Le 'déterminisme' est retrouvé au niveau statistique puisque le courant de fuite, lui, est fonction des paramètres de la loi. La désintégration nucléaire est aussi un effet tunnel, une partie du noyau passant à travers une barrière de potentiel normalement infranchissable.

La désintégration nucléaire

C'est un phénomène trivial, on sait qu'une certaine masse d'un élément radio actif sera exactement divisée par deux au bout d'un temps calculable, savoir quel atome va se désintégrer est impossible. Cet événement particulier surgit sans cause. Les particules du noyau atomique franchissent la barrière de potentiel qui les maintient unies, alors qu'elles n'ont pas l'énergie suffisante pour le faire.

¹⁹⁶ Décroissance exponentielle de la fonction d'onde dans une zone où le potentiel électrostatique interdit les solutions oscillantes

L'effet Aharonov-Bohm.

Il a été qualifié de sixième merveille du monde quantique. Les franges d'interférence que l'on observe sur l'écran dans l'expérience de Young, peuvent, s'il s'agit d'interférences dues à des électrons, être déplacées si l'on place un aimant à proximité de l'écran. Ce phénomène, dû au champ magnétique de l'aimant est aisément interprétable. Cependant des chercheurs, suivant la suggestion d'Aharonov ont donné une forme torique à l'aimant puis ont enfermé l'aimant dans une substance traitée de façon à ce qu'aucun champ magnétique ne soit détectable à l'extérieur de l'aimant. La déviation des raies persiste. Les électrons qui interfèrent sont donc sensibles à un champ qui n'est pas sur leur trajectoire. Les expériences récentes (1986 par Akira Tonomura) ont démontré qu'il ne s'agissait pas d'un champ 'de fuite'.

Un champ est l'entité physique actuellement fondamentale, il se définit en tous points par un scalaire ou un vecteur¹⁹⁷, et c'est sa valeur en un point qui provoque une réaction des particules qui le traversent. Ici il est nul à l'extérieur de l'aimant. Or un champ est mathématiquement la dérivée d'un potentiel, entité qui pour la majorité des physiciens n'avait pas d'existence, sinon de permettre le calcul des champs. Dans le cas de l'effet Aharonov l'on peut soit considérer que la particule, non localisée, ressent un champ distant, extérieur à sa trajectoire, soit qu'elle est sensible au potentiel qui deviendrait alors une entité fondamentale.

Commentaires

Si l'on admet notre définition de la cause, état initial plus lois permettant de conduire à l'état final, il n'y a pas à proprement parler d'effet sans cause. Le déterminisme par contre n'est toujours que statistique.

Y a-t-il des relations cause effet à distance instantanées ?

Le paradoxe EPR

Les congrès Solvay de 1927 et 1930, du nom de l'industriel belge qui les finançait, furent l'occasion pour Einstein de présenter des 'expériences de pensée', qui, quoique théoriques car elles impliquaient des appareillages qui n'existaient pas, permettaient, à partir de leur résultats supposés et généralement acceptés par

¹⁹⁷ Voir annexe G

Y a-t-il des relations cause effet à distance instantanées ?

l'ensemble des auditeurs, de mettre en défaut le formalisme quantique. Toutefois aucune de ses tentatives ne put réellement mettre Bohr en difficulté. En 1935 il proposa une autre expérience de pensée, dite paradoxe EPR, qui eut un grand retentissement. Dans un article cosigné avec Boris Podorsky et Nathan Rosen il pose trois hypothèses de départ :

1) Les prévisions de la physique quantique sont justes.

2) Aucune influence ne peut voyager plus vite que la lumière.

3) Si en ne perturbant aucunement un système, on peut prédire avec certitude la valeur d'une quantité physique, c'est qu'il existe un élément de réalité physique correspondant à cette quantité. (Le formalisme doit être capable d'intégrer cet élément de réalité).

Puis Einstein propose l'expérience suivante : deux photons sont émis dans un état dit intriqué, l'un ayant son spin polarisé verticalement, le second horizontalement. La mesure de la polarisation d'un photon doit permettre de connaître la polarisation de l'autre. Eloignons les photons et mesurons la polarisation de chacun avec un délai entre les mesures suffisamment court pour qu'aucune action n'ait le temps d'aller d'un photon à un autre. Le délai est de l'ordre de la distance entre les photons divisé par la vitesse de la lumière.

Si l'on trouve une polarisation Verticale pour le photon a notée aV on trouvera une polarisation horizontale pour le photon b notée bH.

L'explication de Copenhague, classique, dit qu'avant la mesure chaque photon était dans l'état polarisé verticalement et polarisé horizontalement a (V+H) et b (V+H). La mesure d'un seul photon détruit l'intrication et place chaque photon dans un état unique et différent de celui de l'autre. On trouvera (aV et bH) ou (aH et bV).

Mais selon Einstein, comme aucune information ne peut être échangée entre a et b entre les mesures, les interprétations possibles sont :

L'état des photons est déterminé dès leur émission.

La physique quantique ne décrit pas complètement la réalité. Il existe des variables cachées locales qu'elle ne prend pas en compte.

Il faut abandonner la localité, la paire de photons, même lorsque ceux-ci sont éloignés, forme un tout indissociable.

La réponse que fit Bohr « était loin d'être claire¹⁹⁸ ». Il fallait admettre que deux

¹⁹⁸ Manjit Kumar, *Le grand roman de la physique quantique*, déjà cité, p 438

particules en état 'd'intrication' ne formaient pas un couple où chacune conservait des propriétés particulières, mais un couple indissociable où l'ensemble des propriétés était indivis, chaque particule n'acquérant une propriété propre qu'après une mesure. Ce fut l'époque qui vit apparaître le paradoxe du chat de Schrödinger, malheureux animal que nous avons rencontré qui cumulait les états mort et vivant mais dont le caractère heuristique ici est mince. Les états intriqués n'étaient revendiqués que pour des ensembles de particules peu nombreuses, pas pour les quelques 10^{35} atomes qui constituent un chat.

En 1932 Von Neumann écrivit *Les fondements mathématiques de la mécanique quantique*, ouvrage dans lequel il démontrait qu'il ne pouvait y avoir de variables cachées. Born s'en servit dans son dernier ouvrage, *Philosophie naturelle de la cause et du hasard* pour affirmer le caractère strictement indéterministe de la théorie quantique. Un ingénieur physicien John Stewart Bell, lut cet ouvrage et démontra que Von Neumann avait fait une erreur.

Le théorème de BELL

Bell ne put se consacrer à l'analyse de l'expérience de pensée du paradoxe EPR qu'en 1964. Pour la simplifier il choisit de mesurer simultanément le spin de particules 'intriquées'. Pour un couple de ces particules, si la particule a est mesurée comme ayant un spin haut, alors la particule b sera mesurée avec un spin bas et inversement, mais cet effet est mesuré à cent pour cent seulement si les détecteurs sont parallèles, la corrélation baisse pour une autre orientation des détecteurs. Avant la mesure chaque particule est dans un état superposé et le résultat de la mesure qui sera effectué sur elle est aléatoire (haut ou bas). Bell s'aperçut que les calculs prédisaient qu'en faisant plusieurs fois la même expérience, mais en orientant différemment les détecteurs entre les deux séries de mesures, les résultats devaient être différents selon que l'on soit face à une théorie à variables cachées locales ou à la théorie quantique pure. Il était possible de trouver une inégalité dans l'expression des résultats qui permettait de trancher entre les deux interprétations.

L'expérience ainsi modifiée fut réalisée en 1969 et 1972 par Clauser avec des résultats dont la marge d'erreur allait en diminuant. Ils étaient favorables à une violation des inégalités, donc à l'absence de variables cachées, mais laissait encore un doute. En 1981 et 82 A. Aspect mit au point une expérience non contestable. Les résultats montraient que si des variables cachées existaient, elles étaient non locales.

Y a-t-il des relations cause effet à distance instantanées ?

Les inégalités de Bell confrontées aux expériences fournissaient la preuve de violations quantiques du réalisme local. Elles ont été confirmées par les égalités de Greenberger, Horne et Zeilinger (1989) et les résultats des expériences quantiques sont conformes avec les « impossibilités de Hardy »¹⁹⁹ qui décrivent des résultats qui ne peuvent se produire si la physique est « locale ». De fait c'est toute la physique quantique qui est non locale. Selon F. Laloë déjà cité, cela découle nécessairement de son formalisme. Le vecteur d'état évolue dans un espace à plus de trois dimensions et les effets de cette évolution, considérés dans notre espace de perception, sont non locaux. L'interprétation de Böhm est également non locale à cause des ondes pilotes, qui font dépendre instantanément et à distance la position d'une particule de l'ensemble des positions des autres particules. Pour la théorie d'Everett le problème est plus complexe et dépasse notre objet.

Commentaires

Il est donc possible d'avoir une vision réaliste²⁰⁰ du monde, mais il faut abandonner la localité. Cet abandon est aussi appelé non séparabilité. Comme nous allons plus en avant, montrer que les équations de la mécanique quantique sont applicables à des ensembles macroscopiques, l'on peut concevoir que cette particularité ne disparaît pas lorsque l'on considère de tels ensembles. Il est prématuré d'en déduire une influence de tout sur tout par ce canal, mais l'on peut considérer que nous avons au moins une expérience où deux particules distinctes forment un ensemble retrouvant la disposition quantique de superposition.

Notons qu'il existe des particules indiscernables, ce qui résulte en particulier, lorsque les particules sont identiques de l'impossibilité d'affecter un 'chemin' à chacune. C'est le cas très classique d'électrons autour d'un noyau.

Mais que deviennent les notions du même et de l'autre dès lors que l'ensemble formé par deux particules intriquées devient un seul 'objet'. Cette fusion ne nous gêne pas lorsqu'il s'agit d'ondes dont la réunion provoque un tout dont les parties constituantes sont indiscernables. Pour des objets tels des paquets de glaise, il faut les réunir pour former un tout dans lequel ils perdront leur individualité. Les inégalités de Bell montrent qu'il peut exister l'équivalent de paquets de glaise, localement distincts mais formant une seule entité.

¹⁹⁹ *Idem* p 18

²⁰⁰ Au sens défini par le paradoxe EPR

La non-localité pose un problème de la causalité à toutes les théories causales qui font intervenir la transmission de « quelque chose ». Simplifions ; Si le résultat constaté en A est aléatoirement 1 ou 0, celui constaté en B, situé à une distance spatiale de A, est sûrement 0 ou 1. Or il n'y a pas de signal pouvant aller de A en B dans l'intervalle des mesures. Le résultat en B est déterminé par celui en A. Peut-on parler de causalité ? Notre définition de la cause objective permet de répondre positivement. L'état de l'univers en B est relié par une loi à l'état de l'univers en A. Cette opinion, non généralement admise, sera discutée plus avant.

Peut-on conserver le déterminisme au niveau macroscopique ?

Prix Nobel en 1977, Ilya Prigogine connaissait les développements de la mécanique quantique, en réinterrogeant la notion d'entropie il va retrouver les mêmes difficultés à maintenir le déterminisme au sein de systèmes complexes

La récurrence selon Poincaré

Nous avons cité le théorème de Carnot dont une des formulations dit que l'on ne produit du travail à partir d'une machine thermique que si elle dispose de deux sources, une chaude et une froide et que cela n'est possible qu'en réchauffant la source froide et en refroidissant la source chaude. Il a au moins deux conséquences :

Il y a une direction temporelle mise en évidence par les événements dits irréversibles, un mélange d'eau chaude et d'eau froide produira de l'eau tiède en l'absence de tout échange thermique avec l'extérieur et *a fortiori* si l'on extrait du travail du système.

Il y a une incohérence entre la production d'eau tiède et le théorème de récurrence de Poincaré (~1890). Ce dernier énonce que, pour presque toutes les conditions initiales, un système dynamique conservatif dont l'espace des phases est de 'volume fini', va repasser au cours du temps aussi près que l'on veut de sa condition initiale, et ce de façon répétée.

Tentons une explication concrète, si la température n'est qu'une fonction de l'énergie cinétique des molécules, si celles-ci se heurtent selon les lois classiques des chocs, alors en filmant leur évolution il est impossible de dire si le film passe à l'envers ou à l'endroit. Le film montrant A et B qui se rapprochent se heurtent et s'éloignent, passé à l'envers, montre A et B qui se rapprochent se heurtent et s'éloignent. Dans un tel scénario le temps n'est qu'un paramètre dans une famille

Peut-on conserver le déterminisme au niveau macroscopique ?

d'équations. Le théorème de Poincaré a une application naturelle, chaque molécule retrouvera sa vitesse et sa position initiale, a très peu près, au bout d'un certain temps. Partant d'un mélange d'eau froide et d'eau chaude, l'on obtiendra de l'eau tiède, puis au bout d'un certain moment une nouvelle séparation eau chaude eau froide (qui correspond au film passé à l'envers), puis eau tiède etc.

Donc d'un volume d'eau tiède l'on pourrait extraire du travail au moment où celui-ci passerait dans l'état différencié chaud froid. Pour y parvenir d'une autre façon Maxwell inventa le concept d'un démon capable de distinguer la vitesse des particules et d'ouvrir une porte aux seules molécules rapides allant de gauche à droite. Il séparerait un liquide en parties froides et chaudes et supprimerait la direction temporelle. Il allait falloir concilier l'irréversibilité observée pour les éléments macroscopiques à la réversibilité des phénomènes microscopiques. En 1908 Meyerson écrivait que l'utilisation du principe de causalité dans la science consiste dans l'élimination du temps. En disant exactement que par rapport aux lois « la causalité ajoute une exigence de plus, celle de l'identité des objets dans le temps »²⁰¹. Il soulignait aussitôt l'incompatibilité du principe de Carnot avec cette identité. Les choses selon Carnot se dégradent inexorablement, l'irréversibilité est incompatible avec la causalité de la mécanique rationnelle.

L'entropie.

Les quelques notions qui vont suivre sont explicitées avec un minimum de formulation mathématique. Cependant elles semblent indispensables à quiconque veut pouvoir comprendre ce qu'il en est des relations de la flèche du temps et de la thermo dynamique. L'énergie interne d'un système est la somme des énergies de chacune de ses composantes, envisagées jusqu'au niveau microscopique. Elle va comprendre la somme des énergies cinétiques des particules, égales à la moitié de leur masse multipliée par le carré de leur vitesse et la somme de toutes leurs énergies potentielles, (énergies de liaison chimiques et nucléaires). Cette énergie interne n'est pas calculable, on ne peut mesurer que sa variation.

Les principes de la thermo dynamique les plus usités sont au nombre de deux, le premier exprime la conservation de l'énergie. La variation de l'énergie interne d'un système est l'inverse de la variation de l'énergie interne de son environnement. Les échanges d'énergies se font par fourniture ou absorption de chaleur ou de

²⁰¹ E. Meyerson, *Identité et réalité*, Paris, Vrin, 1951, p 41

travail. En tapant sur une pointe, on fournit du travail qui enfonce la pointe et de la chaleur qui l'échauffe ainsi que le marteau. Un glaçon refroidit l'apéritif mais s'échauffe en fondant, etc.

Le second principe énonce le sens de cet échange, il affirme que tout échange d'énergie s'accompagne de l'augmentation d'une variable appelée entropie (du grec transformation, ce nom a été choisi par Rudolf Clausius pour son analogie avec énergie.) L'entropie d'un système isolé est donc soit nulle, soit positive s'il y a des échanges d'énergie à l'intérieur du système.

L'on considère cependant théoriquement qu'un échange d'énergie effectué de façon réversible s'accompagne d'une variation d'entropie nulle. Il se trouve que l'immense majorité des transformations physiques que nous constatons sont irréversibles. Le langage courant dit que l'augmentation de l'entropie d'un système est synonyme de l'augmentation de son désordre, il est préférable de parler de l'homogénéisation du système ou de l'atteinte d'un équilibre. L'entropie sera maximale à l'équilibre. Ainsi lorsqu'une goutte d'encre tombe dans un verre d'eau, elle va progressivement changer la couleur de tout le liquide. L'entropie du système verre + eau + encre évoluera jusqu'à un maximum lorsque l'homogénéité sera atteinte. Cette transformation est considérée comme irréversible. Nul n'a jamais vu un mélange d'encre et d'eau se scinder en ses constituants, mais nous avons rappelé le théorème de Poincaré, en contradiction directe avec le deuxième principe, considérons maintenant deux exemples :

- Un jeu de 52 cartes dont l'ordre initial est celui des couleurs du bridge et de l'importance relative des cartes, est mélangé aléatoirement de très nombreuses fois. Il est très peu probable, si on l'observe après chaque mélange, de retrouver l'ordre initial. Cela simplement parce que le nombre de combinaisons est très élevé. Il est donc plus probable d'avoir un jeu en désordre apparent qu'ordonné. Mais quoique faible, la probabilité de retrouver l'ordre initial après un mélange n'est pas nulle.

- Une goutte d'encre est versée dans de l'eau. Si les molécules d'encre et d'eau forment d'abord deux ensembles séparés que l'on considérera comme l'état initial, les chocs entre les molécules vont rapidement estomper la frontière. L'encre va diffuser dans tout le volume de l'eau. Chaque permutation des positions entre une molécule d'encre et une d'eau sera comptée comme un arrangement différent. Nous sommes très loin du nombre de combinaisons d'un jeu de carte, mais en droit

Peut-on conserver le déterminisme au niveau macroscopique ?

la transformation est réversible. Intuitivement cela semble plus improbable que dans le cas précédent. C'est exact mais la probabilité précédente était déjà de l'ordre de un que divise un nombre de soixante-huit chiffres. A raison d'un mélange de bridge par seconde le retour à l'état initial prendrait un temps supérieur à quelques milliards de milliards d'années. C'est une des réponses à Poincaré. Même pour un jeu de cartes, le premier passage dans un état proche de l'état initial demande un temps supérieur à l'âge de l'univers. Mais nous sommes dans le domaine des probabilités faibles, pas des impossibilités. Ce sont ces dernières que vont mettre en évidence les études de Prigogine.

L'irréversibilité

Ilya Prigogine lia l'irréversibilité à la flèche du temps. En effet les équations de la physique sont en général réversibles. C'est-à-dire que l'on peut sans contradiction y inverser le cours du temps. Si l'on filme un événement tel que le choc de deux boules de billard, il est impossible de savoir, à ne considérer que le mouvement des boules, si le film passe à l'endroit ou à l'envers et même d'ailleurs si la droite et la gauche ont été inversées. Les événements des deux films sont soumis aux mêmes lois physiques. Cependant si un le film retrace le choc de deux trains, passer le film à l'envers conduira un observateur à dénoncer aussitôt la méprise. Personne n'a vu deux wagons explosés se reconstituer et revenir sur leurs rails pour s'écarter l'un de l'autre. Mais cela est peu-être seulement dû à la rareté de l'événement. Il est plus probable en effet d'avoir des tôles mises dans des tas informes que de les trouver ordonnées en forme de wagon et notre étonnement ne vient peut-être que d'une absence d'accoutumance. Mais il est possible aussi de considérer que l'événement « choc de deux trains » est irréversible et qu'il est le signe d'une flèche du temps orientée de l'avant de la collision à l'après. Curieusement des physiciens ont un penchant plus fort pour l'explication par une faible probabilité que l'irréversibilité²⁰². C'est logique car affirmer l'irréversibilité de certains phénomènes conduit à s'interroger sur le déterminisme. En effet à un phénomène réversible il est possible d'associer une loi physique, fonction du temps, que l'on peut parcourir dans les deux sens. Si le phénomène est irréversible cette loi doit avoir une discontinuité à l'instant t empêchant de passer sans heurt de $t + dt$ à $t - dt$. Ce qui se passe en t est-il alors déterminé ? C'est cette interrogation que

²⁰² Le problème est fondamental.

Prigogine étudie dans son ouvrage *La fin des certitudes* que nous allons parcourir.

L'on perçoit confusément que le raisonnement précédent, celui du jeu de cartes ne peut s'appliquer au mélange eau encre, mais il est difficile d'expliquer pourquoi. Certes le nombre de rangements possibles des molécules des deux liquides est incommensurablement plus grand que celui des cartes d'un jeu de bridge, mais sur des durées largement supérieures à l'âge de l'univers, le jeu aléatoire des chocs des molécules pourrait bien parvenir à séparer l'encre de l'eau. Prigogine va démontrer que cela est impossible. Il va commencer par rappeler Karl Popper pour qui le sens commun attribue la cause de tout événement à l'événement qui précède mais considère aussi que nous sommes libres de nos actes, donc en déniait la causalité pour les actions d'un sujet. Prigogine mentionne ainsi un problème majeur que William James a appelé le « dilemme du déterminisme »²⁰³. En physique le passé et le futur joueraient le même rôle, en biologie ce ne serait pas le cas. Pourquoi refuser à la physique ce que l'on admet en biologie? Ce problème avait été identifié par Ludwig Boltzmann qui a défendu que certains phénomènes physiques n'étaient pas réversibles, sans convaincre les physiciens de son temps. Actuellement, les équations de la mécanique quantique, malgré l'étrangeté des phénomènes qu'elles décrivent, sont réversibles.

Prigogine va fonder son raisonnement dans une nouvelle science, celle des systèmes instables. Elle étudie les systèmes dissipatifs (évolution d'une goutte d'encre dans de l'eau) caractérisés par un temps unidirectionnel et les systèmes dynamiques instables tel celui dit des trois corps, qui décrit l'évolution de trois corps soumis à leurs seules attractions gravitationnelles réciproques. Prigogine considère aussi que, tant en physique quantique qu'en dynamique classique nous avons des événements « qui ne sont pas déductibles des lois mais qui en actualisent les possibilités²⁰⁴ », car les lois expriment des possibilités, non des certitudes. Ainsi le Big-Bang peut être considéré comme un événement associé à une instabilité, créatrice de notre univers mais pas du temps, celui-ci pourrait ne pas avoir de début. Les lois de la nature décrivent le changement mais leur énoncé constitue un triomphe de l'être sur le devenir car le présupposé qui les fonde est leur permanence. Cette permanence cache le fait, toujours selon Prigogine, que les

²⁰³ I. Prigogine, *La fin des certitudes*, Paris, Odile Jacob, 2001. En abrégé *LFC* dans les notes suivantes. Ici *LFC*, p 9

²⁰⁴ *LFC*, p14

Peut-on conserver le déterminisme au niveau macroscopique ?

processus réversibles sont l'exception en physique, presque tous les processus du monde étant irréversibles. Les lecteurs vieillissent et le papier jaunit.

Boltzmann a soutenu qu'on ne peut comprendre le processus d'entropie si l'on s'attache à des trajectoires individuelles. Supposons placées dans une même enceinte isolée une masse d'un gaz froid et une même masse du même gaz chaud. Les molécules du premier sont animées de mouvements plus lents que celles du second. Le principe entropique postule que l'ensemble va évoluer vers un gaz tiède. Les molécules des deux gaz vont se heurter, les molécules lentes qui heurteront des rapides vont acquérir dans le choc un surcroît de vitesse et les plus rapides vont être ralenties. La température qui est fonction de la vitesse des molécules va s'uniformiser vers une valeur moyenne. Cependant la physique de son temps par la voie de Loschmidt et de Zermelo lui a objecté que les lois du choc étant réversibles il pouvait parfaitement se produire l'inverse, des particules de vitesse moyenne en se heurtant produiront une particule lente et une rapide. L'évolution du système ne pouvant se lire dans les trajectoires individuelles, Boltzmann va donc renoncer au lien entre trajectoires, collisions et irréversibilité, trouver la loi qui porte son nom sans justifier pleinement ses options.

Prigogine va montrer²⁰⁵ que l'irréversibilité ne peut être associée « seulement à une augmentation du désordre ». L'irréversibilité peut conduire à l'ordre, ainsi un mélange d'hydrogène et azote au sein d'une boîte close devient uniforme, mais si l'on chauffe une partie de la boîte et refroidit l'autre, la concentration d'hydrogène augmente vers la partie chaude. L'éloignement de l'équilibre (rappelons équilibre = désordre maximal) est constructif. Il faut être loin de l'équilibre pour qu'il y ait possibilité de vie.

Prigogine va s'appuyer également sur les travaux de Poincaré qui a introduit la notion de système dynamique non intégrable. Posséder la description d'un phénomène par une loi dans laquelle figurent des expressions différentielles rassure le physicien car par des méthodes d'intégration il peut retrouver des trajectoires. L'équation fondamentale de la mécanique qui lie l'accélération d'un corps au quotient de la force qui lui est appliquée par sa masse en est l'exemple type. L'accélération est une dérivée de la vitesse par rapport au temps, la vitesse étant elle-même une dérivée de la distance parcourue. Ces équations permettent une

²⁰⁵ LFC, p14

'visualisation' du phénomène et sont en général continues par rapport au temps, nous en avons vu l'exemple dans la préférence pour l'équation de Schrödinger par rapport au calcul matriciel. Un système intégrable au sens de Poincaré est un système dont les composantes ont une énergie cinétique mais pas d'interactions mutuelles. (Donc pas d'énergie potentielle)²⁰⁶. Dans ce cas il est possible de calculer les trajectoires. Dans les autres, sauf quelques cas triviaux, malgré la présence d'équations différentielles, ce n'est pas possible. Et ce n'est pas parce que la méthode de calcul n'a pas été découverte mais parce qu'il existe des résonances entre les degrés de liberté du système. Il apparaît dans les calculs, en position de dénominateur, des expressions linéaires qui s'annulent aux points de résonance. Ce sont les petits diviseurs dont Le Verrier avait déjà signalé l'existence dans ses calculs. Max Born écrivait qu'il s'agissait d'une difficulté analytique derrière laquelle la nature se retranchait mais qu'une impossibilité de calcul ne voulait pas dire un indéterminisme de la nature. Selon Prigogine il y a bien un indéterminisme de la nature et la possibilité de la description de la réalité en termes statistiques.

Les résonances créent des divergences au niveau individuel mais elles peuvent être éliminées au niveau statistique²⁰⁷, les résonances font apparaître des termes diffusifs mais ils sont analysables s'il y a des interactions persistantes.

Pour étudier pleinement ces phénomènes il faut se tourner vers la physique du non équilibre, c'est la situation qui permet selon un mot de Bergson rapporté par Prigogine, « le jaillissement effectif de nouveautés imprévisibles²⁰⁸ ». La vie se nourrit d'un flux entropique négatif. Elle éloigne le système de son état d'équilibre. Il existe des états stationnaires de non équilibre vers lesquels un système évolue spontanément « qui peuvent être de plus grande complexité que l'état d'équilibre correspondant ». « Alors qu'à l'équilibre et près de l'équilibre les lois de la nature sont universelles, loin de l'équilibre elles deviennent spécifiques, elles dépendent du type de processus irréversibles²⁰⁹ ».

Prigogine donne l'exemple des réactions chimiques oscillantes qui se produisent lorsqu'on déplace la cinématique chimique loin de l'équilibre. La réaction dite de Belousov-Zhabotinski a été la première étudiée. Il s'agit d'un

²⁰⁶ Voir annexe G

²⁰⁷ LFC, p49

²⁰⁸ LFC, p69 citant *le possible et le réel, l'évolution créatrice*

²⁰⁹ LFC, p77

Peut-on conserver le déterminisme au niveau macroscopique ?

mélange qui change spontanément de couleur. Il n'y a aucun moyen de prédire la couleur future de la solution à partir de son état présent.

En étudiant l'exemple de l'évolution de la distribution de probabilités sous l'effet des collisions dans un verre d'eau, Prigogine montre que les collisions rendent la distribution des vitesses plus symétrique et qu'elles créent des corrélations entre les particules, il s'intéresse alors à la dynamique des corrélations et aux situations qui peuvent détruire ces corrélations. Il montre alors que les lois de la dynamique doivent être formulées de façon statistique dès lors qu'elles concernent des processus chaotiques.

Un processus est dit chaotique si de très faibles différences dans les conditions initiales, conduisent assez rapidement (cet adverbe peut être quantifié il s'appelle alors l'exposant de Lyapounov)) à des divergences profondes dans les résultats. Ainsi si l'on considère la suite dite décalage de Bernoulli, $U_{n+1} = 2.U_n \text{ modulo } 1$, (on double à chaque pas la valeur précédente et l'on retire 1 si le résultat est supérieur à 1), U_0 étant inférieur à 1, on s'aperçoit que si les deux valeurs de départ diffèrent seulement à la quarantième décimale, donc si elles sont presque égales, les valeurs du quarantième pas divergeront de un demi. Mais le passage d'un pas à un autre est strictement déterminé. Il existe des lois du chaos.

La théorie classique montre l'impossibilité de faire une prévision fiable puisqu'il est impossible de déterminer les conditions initiales avec une absolue précision, Ce qui est valable pour une molécule comme l'a montré Heisenberg est a fortiori valable pour un ensemble de milliards de molécules. Prigogine en étudiant le décalage de Bernoulli et un phénomène chaotique physique dit « l'application du boulanger » va plus loin en montrant que de tels processus impliquent l'existence d'une flèche du temps et une impossibilité de prévision du résultat indépendant de la précision des variables initiales. Il n'y a pas de déterminisme pour les structures dissipatives, mais pas seulement parce que la position de départ est indéterminée. Le démon de Laplace reste impuissant car les trajectoires sont détruites quelle que soit la précision de la description²¹⁰. Il apparaît dans les calculs les 'petits déterminants' ainsi nommés par Poincaré (généralisation des petits diviseurs de Le Verrier que nous avons déjà mentionnés) qui s'annulent lorsqu'on veut calculer les trajectoires individuelles. Ils sont la résultante des interactions entre particules,

²¹⁰ LFC, p44

‘corrélées’ d’une certaine façon après s’être heurtées.

Mais, loin de l’équilibre, se produisent des phénomènes ordonnés qui n’existent pas près de l’équilibre. Si un liquide est chauffé par en-dessous, il se produit des tourbillons dans lesquels des milliards de milliards de molécules se suivent l’une l’autre. De même, un être vivant, est un ensemble de rythmes, tels le rythme cardiaque, le rythme hormonal, le rythme des ondes cérébrales, le rythme de la division cellulaire, etc. Tous ces rythmes ne sont possibles que parce que l’être vivant est loin de l’équilibre. Le non-équilibre, ce n’est pas du tout les tasses qui se cassent, le non-équilibre, c’est la voie la plus extraordinaire que la nature ait inventée pour coordonner les phénomènes, pour rendre possibles des phénomènes complexes.

Loin d’être simplement un effet du hasard, les phénomènes de non-équilibre sont notre accès vers la complexité. Et des concepts comme l’auto-organisation, la structure dissipative, sont aujourd’hui des lieux communs qui sont appliqués dans des domaines nombreux, non seulement de la physique, mais de la sociologie, de l’économie, et jusqu’à l’anthropologie et la linguistique.

Le concept de flèche du temps a été critiqué au motif que cours du temps et flèche du temps sont deux notions distinctes. Selon le mathématicien René Thom, qui opposa ses arguments à Prigogine, l’irréversibilité des phénomènes ne provient pas de l’irréversibilité du temps ou au moins cela n’est pas prouvé. La possibilité d’inverser sur le papier le signe du temps ne signifie pas pouvoir renverser le cours du temps. Elle signifie que « les hommes se mettent à marcher à reculons » pour citer Wittgenstein. Le film que l’on passe à l’envers montre des phénomènes inversés se déroulant dans un temps ‘normal’.

Commentaires

Il est apparu évident par contre, que Prigogine avait montré la supériorité d’une description statistique des phénomènes du type des structures dissipatives et des phénomènes irréversibles par rapport à toute description déterministe au sens de Laplace. Sa démonstration d’une imprédictibilité par l’impossibilité absolue de connaître parfaitement les conditions initiales au sens de Laplace n’a pas été contestée, nous parlerons de l’abandon du déterminisme ‘Laplacien’²¹¹. Sa démonstration de l’absence d’un déterminisme ontologique dans certains

²¹¹ Expression de Laurence Bouquiaux in *L’harmonie et le chaos*, Louvain, Peeters, 1994

Peut-on conserver le déterminisme au niveau macroscopique ?

phénomènes a moins convaincu, mais elle était en phase avec la contestation du déterminisme de la physique quantique. L'objection demeure que l'impossibilité d'un calcul mathématique, même prouvée, n'est pas la démonstration d'une impossibilité ontologique. Toutefois les 'petits déterminants' de Poincaré, raison majeure de cette impossibilité, apparaissent parce qu'il y a des corrélations qui se créent entre les particules qui se sont précédemment heurtées. Le calcul n'est pas sans lien avec une réalité sous-jacente.

La première de ces raisons est cependant suffisante pour abandonner l'idée d'un déterminisme autre que statistique au niveau au niveau macroscopique. Nous retiendrons également de la démonstration de Prigogine la remarque qui marque le début de son ouvrage et qui est apparemment sans lien avec son contenu, très scientifique. Il s'agit de la propension curieuse du sens commun à juger que la liberté humaine est sans causalité alors que les phénomènes physiques doivent y être soumis. Nous avons annoncé ne pas traiter du problème de la liberté, mais que la non-causalité 'inquiète' lorsqu'il s'agit des événements physiques doit interroger. Il semble que le comportement non prévisible soit tellement associé à la notion de liberté que le proposer pour une chose engendre un malaise.

Autre conséquence de son étude des ensembles stables en dehors des positions d'équilibres, le maintien dans le temps de systèmes à entropie négative implique par exemple que la vie peut apparaître de façon aléatoire et que des propriétés nouvelles peuvent émerger d'un ensemble dont aucune des parties ne possède une caractéristique permettant de les prévoir. Que les propriétés du tout ne soient pas une résultante des propriétés des parties est un principe dégagé par son étude qui invalide un grand nombre de raisonnements des métaphysiciens classiques.

3.1 - Philosophie : Le déterminisme approché.

La critique humienne de la causalité n'a peut-être pas eu en philosophie l'impact considérable qu'une telle contestation radicale se devait d'engendrer. Elle remettait pourtant en cause la capacité humaine de connaissance du monde. La causalité a été simplement défendue au nom du bon sens, puis Kant a donné une réponse pour le moins ambiguë dont la discussion est rentrée dans le cadre plus général de celle de son système. C'est plutôt face à la science qui allait de certitude en certitude, que la philosophie se remit à interroger la notion de cause. Le risque était grand de voir affirmer que la causalité scientifique était en contradiction avec la liberté humaine, le cerveau s'il n'était qu'une mécanique, voyait son fonctionnement entrer dans le champ de la science qui y ferait régner son déterminisme. D'un autre côté, l'abandon de la cause finale et le principe de conservation de l'énergie (rien ne se perd, rien ne se crée) excluaient le besoin d'un Dieu créateur assignant un but à l'univers. Les tenants de la liberté humaine et ceux qui considéraient la causalité du point de vue de la théologie ne pouvaient rester indifférents. Leurs thèses ne sont pas l'objet de la présente étude qui a exclu ces deux domaines de son champ d'investigation. Nous rejoignons donc la philosophie sur le strict aspect de la causalité à l'intérieur du monde matériel.

Synthèse des conclusions précédentes

Il serait prudent toutefois de qualifier celles-ci de provisoires. Il est certain, en physique, que nous ne reviendrons pas aux conceptions antérieures, mais les modèles actuels peuvent toujours être dépassés, surtout lorsqu'ils prétendent donner un aperçu du 'réel'. C'est pour cela que nous sommes restés au niveau des phénomènes, ceux-ci étant, dans leur factualité, peu contestables. Nous tiendrons donc nos conclusions précédentes pour établies.

Les physiciens ont suivi un moment un cheminement inverse à celui des philosophes. Ces derniers après avoir établi les bases de l'explication par les catégories de la substance et de l'accident jointes à la causalité et à une logique servant d'instrument, ont progressivement affirmé la primauté du sujet sur l'objet

Synthèse des conclusions précédentes

et remis en question la causalité. Pour les premiers la causalité et le déterminisme ont été longtemps le paradigme de toute explication scientifique, puis la rupture a été double, elle a résulté d'abord du renoncement à l'usage de la notion de causalité au profit de celle de lois ce qui est une des réponses à l'anticipation contenue dans la critique de Hume, l'impossibilité de construire une chaîne causale complète. Cela jusqu'à ce que l'inutilité d'une explication causale dans la prévision des résultats conduise au programme d'A. Comte. L'énoncé de ce programme n'était pas une géniale annonce mais la prise en compte d'un mouvement déjà largement amorcé. Ce renoncement à la causalité n'était pas une négation de sa réalité, simplement un abandon de l'usage du principe. Ensuite les problèmes du corps noir et de la thermodynamique en imposant des approches nouvelles ont déclenché une crise de l'interprétation alors même que tous les physiciens furent d'accord pour dire que les équations permettaient une parfaite prévision des résultats. Les divergences portaient et portent encore sur la nature du réel et la validité de sa description. Le déterminisme, abandonné par toutes les interprétations, a disparu sans bruit dans les controverses. La causalité, par contre coup, est revenue à la surface, mais il s'agit d'une causalité sans déterminisme absolu et agissant dans une physique ayant un caractère de non localité. L'on peut toujours arguer qu'il ne s'agissait là que de phénomènes atomiques et que le mode de raisonnement doit être différent dès que l'on aborde des systèmes macroscopiques. Mais la limite était difficile à placer²¹². L'étude des condensats a montré le non déterminisme des systèmes complexes et la mécanique quantique est utilisée en cosmologie en particulier dans l'étude des trous noirs. Il n'en résultait pas un aléatoire absolu, des lois parfaitement déterministes dans le temps régissent l'amplitude de l'indéterminé. Cependant la distance est telle entre le laboratoire et la vie quotidienne que ce n'est pas parce que le déterminisme a disparu chez l'un que l'on en tire une preuve de son inexistence dans l'autre. Les études de Prigogine concluent cependant au non déterminisme macroscopique.

En reprenant le programme proposé par Madame C. Tiercelin en introduction replaçons les quelques faits que nous avons rapporté dans le cadre des relations de la physique et de la métaphysique.

²¹² Voir les condensats de Bose-Einstein pouvant contenir plusieurs millions d'atomes et supra le paragraphe 'la mesure'.

- Il va de soi que sont déjà considérées comme caduques les qualités substantielles. Les notions de matière et de forme ayant subi quelques aléas au niveau atomique, si l'on veut conserver la notion de substance il faut la remonter au-delà du résultat des mesures, vers une « *natura naturans* »²¹³ selon l'expression de Spinoza, qui serait contrairement à son affirmation non intelligible pour nous. Nous sommes conduits à abandonner pour elle la notion de propriété pour celle de disposition.

- Les raisonnements fondés sur la proportionnalité entre la cause et l'effet n'ont plus de sens, des variations infimes de l'état initial pouvant produire des états finaux très différents.

- Les notions d'ordre et de désordre sont à revisiter, les positions loin de l'équilibre peuvent être très constructives.

- Le temps et l'espace ne sont pas envisageables sans matière. Ils sont dotés de métriques et certainement pas absolus.

- Certaines constantes physiques ne dérivent d'aucunes lois, elles ont un statut de « fondamentales »²¹⁴. Elles sont aujourd'hui près d'une trentaine à être recensées. D'autres univers avec d'autres constantes sont possibles et peuvent ne différer que peu du notre. Les constantes fondamentales introduiraient, même si existait un déterminisme strict, une notion de contingence affaiblissant le déterminisme qui ne serait opérant qu'à l'intérieur de l'univers où elles sont constatées. Le déterminisme peut régner dans tous les univers mais des états initiaux semblables donneront des résultats différents selon le groupe de constantes choisi. Il existe également des lois qui ne dérivent d'aucunes lois et il ne semble pas y avoir de convergence vers une loi unique. Cette approche par la non-nécessité ne semble plus fondamentale puisque le déterminisme strict n'est plus retenu, aussi nous avons renvoyé en annexe²¹⁵ l'étude du texte d'Emile Boutroux qui s'était penché sur le sujet en 1898

- La continuité des niveaux d'énergie n'existe pas, les phénomènes mesurables sont discontinus. Il est légitime de poser une interrogation sur l'existence d'une divisibilité infinie du temps. L'espace en dessous de la distance de Planck n'est pas mesurable. Dès lors il n'y aurait pas de continuité entre l'effet et la cause.

²¹³ Voir B. d'Espagnat, *traité de physique et de philosophie*, déjà cité page 509 sq. Il note les parallèles entre la « *natura naturans* » et ce qu'il appelle le « réel voilé ».

²¹⁴ Voir annexe A.

²¹⁵ Voir annexe H l'étude sur, E. Boutroux, « *De la contingence des lois de la nature* »

Synthèse des conclusions précédentes

- Il est des circonstances où l'interaction de deux particules produit un ensemble unique. D'autres objets en relations ne sont pas discernables, c'est le cas en particulier des électrons qui entourent un atome. Les notions de localité et d'unicité sont à reconsidérer.

- Tous les objets présentent à la fois les caractères ondulatoires et corpusculaires. Matière et énergie sont équivalentes, la matière peut se transformer en énergie et réciproquement. Dans les collisionneurs les particules qui apparaissent ne sont souvent pas les 'morceaux' des particules qui ont été heurtées mais des particules qui sont créées par emprunt à l'énergie de la collision. Bel exemple « d'accidents » qui deviennent des « substances ».

- Il existe une possibilité que nous soyons dans un univers de dimension supérieure à trois comme ceux utilisés dans la théorie des cordes ou qu'existent des univers parallèles, sans possibilité de communication dans la lignée de l'interprétation d'Everett.

- Selon Prigogine l'indéterminisme joue un rôle fondamental car il interdit de décrire l'évolution des systèmes complexes comme une succession causale. Les lois générales ne prédisent plus l'avenir, elles tracent des chemins probables. Alors que l'entropie de l'univers ne peut qu'augmenter, l'émergence du vivant c'est-à-dire la capacité de systèmes instables d'apparaître et de se maintenir, est pour lui une des meilleures saisies intuitives du problème posé par le déterminisme. Tous les cafés du monde refroidissent dans leur tasse mais des milliards d'individus conservent une température d'approximativement 37° quel que soit leur environnement. La causalité déterministe, même sur une longue période, ne peut ouvrir suffisamment de possibilités. Les bifurcations spécifiques que Prigogine a mises en évidence, en séparant brutalement des comportements, permettent à la nature de tenter davantage d'expériences et certaines conduisent à une stabilité durable.

- Certaines caractéristiques sont couplées de telle sorte qu'il n'est pas possible de les mesurer ensemble avec une infinie précision. La connaissance parfaite de la cause est impossible, ce n'est pas un problème dû aux moyens de mesure, mais un problème ontique car l'objet de la mécanique quantique n'est ni une onde ni une particule.

- La notion de déterminisme est intenable au-delà du déterminisme probabiliste, soit parce qu'il n'y a pas de déterminisme 'ontique' selon Prigogine,

pour le monde macroscopique et selon la mécanique quantique pour le monde des particules, soit parce que l'impossibilité de connaître exactement les causes ôte tout sens à l'affirmation « même causes, même effets ».

Tout cela nous conduit à estimer qu'en accord avec la remarque de M. Kistler citée en introduction nous avons mis en évidence la distinction entre le concept de causalité et celui de détermination. La causalité stipule qu'il n'y a pas d'effets sans cause. Le déterminisme implique que des états semblables de l'univers conduiront toujours aux mêmes états. Si nous reprenons notre définition de la causalité objective, la description de parties instantanées de l'univers reliées par une ou plusieurs lois, elle n'a pas été remise en cause par la science, elle utilise toujours une description de deux états reliés par des lois. La désintégration 'spontanée' d'un atome est un résultat, indéterminé dans le temps, d'une situation et d'une loi précise. Il n'y a pas absence de cause. Le déterminisme lui ne demeure que sous sa forme probabiliste.

Notre étude va maintenant, en revenant sur le terrain philosophique, clairement séparer les deux notions. Nous allons commencer par conclure sur le déterminisme. Puis nous consacrerons une large partie à la causalité.

Le déterminisme

A la lecture de ce qui précède, il serait possible de conclure à l'abandon du concept mais ce serait aller trop vite en besogne et négliger à la fois ce que la physique a mis en évidence, l'existence d'un déterminisme statistique, et le raffinement d'analyse proposé par la philosophie. Un des livres sur lequel nous allons nous appuyer, *Le nouvel esprit scientifique* date de 1934. La querelle de l'interprétation de la mécanique quantique n'a pas encore été confrontée au paradoxe d'Einstein Podolsky et Rosen²¹⁶ publié en 1935. Bachelard y consacre son cinquième chapitre au déterminisme. Il considère que l'observation des mouvements réguliers des astres éloignés de la diversité et de l'immédiateté des mouvements proches a conduit à la notion de loi physique déterministe. C'est pour lui l'astronomie de Newton qui a donné son absolu aux formes kantienne d'espace et de temps. Le développement de l'astronomie est cause du double sens du

²¹⁶ Physical revue 47,777, publié le 15 mai 1935, consultable sous ce label sur internet

déterminisme, soit caractère fondamental du phénomène, soit « forme *a priori* de la connaissance objective²¹⁷ ». Cela explique également la négligence pour les problèmes dûs aux perturbations. Le bon physicien, comme le bon astronome est celui qui sait négliger dans l'observation les éléments de peu d'importance. Les lois doivent être mathématiquement simples. Il en est de même de la forme des objets. La conviction que la forme n'intervient pas dans les mouvements astronomiques a conduit à considérer que la terre était sphérique jusqu'à ce que Maupertuis mesure son aplatissement. La conception du monde est « d'abord inspirée par des formes simples²¹⁸ ». L'idée de déformation ou de perturbation montre bien que l'on considère d'abord un aspect superficiel théorique. Le déterminisme est dérivé des efforts de rationalisation du réel. En utilisant des mathématiques simples et des formes simples, il donne une impression de rigueur.

Si des étoiles on revient aux phénomènes proches il faut reconnaître que l'observation « ne peut guère nous apprendre le déterminisme », l'on est alors conduit à rectifier l'observation par l'expérimentation. Si Galilée avait lâché du haut de la tour de Pise, deux objets identiques et de masses très différentes, il aurait bien vu que l'objet le plus lourd tombe plus vite que le plus léger²¹⁹. La pensée déterministe va dissocier loi et perturbation, dans ce cas elle va négliger les frottements de l'air²²⁰. Dans l'étude du devenir le déterminisme va de place en place, d'une cause bien définie à un effet bien défini. Si l'on considère l'entre-deux existent des processus particuliers que l'on néglige. Le déterminisme implique donc un choix, une mise à l'écart des phénomènes jugés insignifiants, souvent aussi parce que l'on néglige de les interroger. Ces simplifications font le succès de « l'hypothèse mécaniste ». L'explication et la description y sont très éloignées. Si « la description était à la base de la phénoménologie²²¹ » on s'apercevrait que :

- Le déterminisme est un postulat de la mécanique.
- Le déterminisme n'est vérifié que dans une proportion minimale des phénomènes.

En citant M. Cartan in *Le parallélisme absolu et la théorie unitaire*, Bachelard

²¹⁷ G. Bachelard, *Le nouvel esprit scientifique*, Paris, Puf, 1968, p 100

²¹⁸ *Idem*, p 102

²¹⁹ Même si la forme est identique, la résistance de l'air est plus forte pour un objet léger.

²²⁰ Galilée raisonne en fait en attachant par une simple ficelle les deux objets, si le lourd tombe plus vite, la ficelle se tend et le léger ralentit l'ensemble, mais alors un ensemble plus lourd que le corps lourd seul va tomber moins vite que ce dernier, ce qui est absurde.

²²¹ *Idem*, p 104, Donc selon Bachelard elle n'y est pas...

considère que le déterminisme affirme que l'état de l'univers dépend de son évolution antérieure, donc de l'instant précédent. Mais puisqu'il n'y a pas d'instant précédent dans un univers relativiste, on ne peut parler d'observation de l'univers que dans une section de l'espace-temps. Il y a alors d'autres difficultés, le « déterminisme mathématique ne s'applique pas exactement comme un déterminisme physique fondé sur une cause ». Pour un voyageur tombant dans un trou noir, les mathématiques montrent son anéantissement rapide dans son propre espace-temps, mais sa chute durerait un temps infini pour un observateur éloigné²²². Parler de l'état de l'univers à l'instant t n'a pas de sens, il n'y a pas le même temps dans tous les endroits de l'univers.

D'autres simplifications existent, le déterminisme est historiquement un déterminisme de la mécanique du solide, pour les fluides et les gaz son application est plus tardive. Les exemples choisis de déterminisme mettent souvent en présence deux solides qui se heurtent, ils présupposent une analyse métaphysique qui sépare deux aspects, la chose et le mouvement. Dans le cas des liquides la chose est déformée par le mouvement même. Il semble même que le « même et l'autre interfèrent et que le déterminisme se divise et devienne ambigu ²²³ ». Le psychologisme du déterminisme semble donc fait de restrictions mentales. Il porte sur des phénomènes simplifiés et solidifiés, il est « solidaire du chosisme ».

Le déterminisme est cependant nécessaire à l'enseignement scientifique, mieux il est nécessaire parce qu'on le discute, il conduit à classer les arguments, à diviser les notions, « tâche modeste » mais utile pour arriver à « dissoudre le déterminisme métaphysique ». Il convient de séparer déterminisme positif et déterminisme négatif, l'absolu, le catégorique sera du domaine du déterminisme négatif, celui qui assure que le phénomène ne sera pas là. Cette fondation assurée, l'on retourne souvent au déterminisme positif qui bénéficie alors indument de la négativité. « La communion des esprits se réalise dans la négation. L'union objective parfaite se fonde sur une sorte de non objet.²²⁴ »

Bachelard examine ensuite les relations entre causalité et déterminisme, en citant Von Mises in *Ueber kausale und statistische Gesetzmässigkeit*, il note que le principe de causalité est mobile, il se subordonne à ce que la pensée objective exige,

²²² L'exemple, anachronique, est de l'auteur

²²³ *Idem*, p 107

²²⁴ *Idem*, p 110

l'idée de cause est apparue sans définition précise, elle est plus générale que le déterminisme, elle est d'ordre qualitatif alors que ce dernier est quantitatif. Bachelard prend pour exemple la dilatation des corps. La chaleur apparaît naturellement comme une cause, mais cela ne fonde pas le déterminisme, la dilatation est un phénomène statistique qui relève de la probabilité comme pour les gaz, mais nous privilégions les solides et cette notion n'est pas intuitive.

Bachelard fait alors la supposition de l'existence d'un déterminisme typologique qui correspond à des liaisons fonctionnelles où la qualité prime sur la quantité. L'analyse causale est dit-il fondée sur une hiérarchie des qualités. Et c'est bien ainsi que travaille le scientifique, il pense correspondance des phénomènes avant de mesurer. Il faut qu'il mette en évidence un phénomène qui ne « se défigure pas dans une légère variation de ses traits²²⁵ ». Bachelard se propose alors de reprendre le problème en se demandant comment la psychologie du « déterminisme d'ensemble » a pu apparaître dans l'esprit scientifique.

La probabilité

Les premières thèses indéterministes proviennent selon Bachelard, de la théorie des gaz. Cette théorie réalise une « transcendance de la qualité²²⁶ » c'est-à-dire qu'une qualité appartient au composé qui n'appartient pas aux composants. Les adversaires de cette théorie qui considère que le comportement d'un élément n'est pas prédictible tandis que le comportement moyen d'un grand nombre d'éléments le serait, jugent qu'elle viole l'axiome *de omni et de nullo* tout ce qui est énoncé d'un tout vaut pour tous les membres de ce tout, qu'il s'agisse d'une affirmation ou d'une négation. C'est cette contradiction métaphysique qu'il s'agit justement de dépasser. L'indéterminisme provient de l'indétermination du phénomène, si l'on ne sait comment se produit un choc entre atomes, il est logique de considérer comme indéterminé ce qui est indéterminable.

L'indétermination suppose l'indépendance des phénomènes, le calcul des probabilités suppose, dans une forme simple, cette indépendance.

Mais la psychologie de la probabilité a contre elle la psychologie de l'action. Le réalisme fait tort à la spéculation. Bachelard rapporte les propos de Poincaré sur Lord Kelvin qui ne pouvait juger complet le théorème de Maxwell-Boltzmann.

²²⁵ *Idem*, p 112

²²⁶ *Idem*, p 113

Bachelard reconnaît le caractère incertain des bases d'une phénoménologie probabiliste, mais il reconnaît aussi ses réalisations remarquables. Il faut trouver la place du « positivisme du probable ». Bachelard souligne que la probabilité n'est pas synonyme d'ignorance, parler de probabilité de présence d'un électron n'est pas aveu de l'ignorance de sa position. C'est donner la distribution dans l'espace des observations que l'on peut faire.

Le probable n'est pas l'irréel. Selon Bachelard l'on pourrait peut-être parler d'une causalité du probable. L'événement qui possède la plus grande probabilité arrivera dans la nature avec une fréquence supérieure à celui qui a une probabilité plus faible. « Le temps se charge de réaliser le probable ». « La réalité aidée par la durée finit toujours par incorporer le probable à l'être ». L'instruction que nous recevons des solides gagnerait à être complétée par celle que nous apportent les fluides. L'indétermination élémentaire peut être amendée par la probabilité des figures d'ensemble.

Bachelard reprend alors l'énoncé de la causalité de H. Reichenbach.

- Si l'on décrit un phénomène au moyen d'un certain nombre de paramètres, l'état ultérieur, pareillement défini avec un nombre de paramètres bien déterminé, peut être prévu avec une probabilité E
- Cette probabilité E se rapproche de l'unité au fur et à mesure de l'augmentation du nombre de paramètres dont il est tenu compte.

Selon cette définition si l'on pouvait tenir compte de tous les paramètres, le phénomène produit est certain. Mais le déterminisme n'est alors qu'un cas limite, c'est « une perspective convergente de probabilité²²⁷ ». Par ailleurs rien ne prouve que la probabilité de tous les phénomènes ait nécessairement une convergence vers l'unité, il peut y avoir des fonctions continues sans dérivées. C'est-à-dire que la deuxième partie de la définition n'est pas toujours vérifiée. Cela donnerait alors la possibilité de définir une physique non causale et de fait les remarques de Heisenberg reviennent à en fonder une, sans se présenter comme « une négation brutale et dogmatique du déterminisme classique ».

Heisenberg en effet a tout remis en cause. Il établit une indétermination

227 *Idem*, p 120

objective. Les erreurs sur des variables indépendantes étaient postulées comme indépendantes, Bachelard rappelle que si p est la position d'une particule et q sa quantité de mouvement, valeurs classiquement considérées comme indépendantes, l'on a la relation $\Delta p \cdot \Delta q \geq h$ ou h est la constante de Planck. Cette indétermination peut être aussi établie entre le temps et l'énergie. Elle n'est pas due à une imprécision des mesures que pourrait compenser un appareil plus performant, elle est due au fait que « tous les faits de physique atomiques doivent pouvoir se représenter intuitivement aussi bien du point de vue corpusculaire que du point de vue ondulatoire », l'équivalence entre cet énoncé du à Bohr et la formule a été reconnu par Heisenberg. Bachelard remarque que l'application par Solomon de cette formule aux champs électriques et magnétiques aboutit par lui à la quantification des champs déjà développée par Dirac. Dans sa théorie du champ unitaire, Einstein remarque que le champ perçu comme électrique dans un référentiel peut être perçu comme magnétique pour un référentiel en mouvement par rapport au premier.

Le principe d'incertitude est pour Bachelard, « sans doute la limitation des attributions réalistes²²⁸ ». Les notions de position et vitesse ont un domaine de définition, en dehors de ce domaine elles n'ont plus de signification. Il est vain de leur prêter un sens universel, les qualités géométriques ne sont pas des qualités premières, « il n'y a que des qualités secondes puisque toute qualité est solidaire d'une relation²²⁹ » et Bachelard de citer Heisenberg : « le langage humain permet de former des propositions... vides de substance, bien qu'elles produisent dans notre imagination une sorte d'image ... on doit être particulièrement circonspect dans l'emploi du terme 'en réalité' ». Nous ne communiquons jamais qu'avec un groupe d'atomes, nous ne parlons que de réalité collective. On ne touche le réel que par son appartenance à une classe d'objets tous identiques. Les caractères individualisant sont effacés par l'introduction de l'individu dans le groupe. C'est au niveau de la classe qu'il faut chercher les propriétés du réel.

Bachelard souligne que l'individualité de l'objet élémentaire est perdue dans la nouvelle physique ainsi que l'on souligné Langevin et Planck. « L'individualité est un privilège de la complexité, un corpuscule isolé est trop simple pour être doué

²²⁸ *Idem*, p 125

²²⁹ *Idem*, p 126

d'individualité ». Cependant cette position a été discutée par Meyerson²³⁰ qui ne peut oublier les références du physicien au « réalisme usuel ». En notant que les éléments du réel, dépourvus d'individualité, jouent dans des compositions rationnelles, Bachelard y voit déjà un point de convergence. D'autre part la 'réalité' de P. Langevin est une réalité postulée, il n'est pas légitime d'inscrire des qualités individuelles dans une réalité postulée. C'est *mutatis mutandis* le même problème que posait la 'réalité' des infinitésimaux du temps de Leibniz. Si Meyerson souhaite que « par un certain côté, le concept de la théorie scientifique rejoigne le sens commun ²³¹ », n'est-ce pas pour trouver un prétexte dont il devra ensuite se débarrasser ? Bachelard cite alors le spin de l'électron, quatrième nombre quantique introduit par Pauli, ce concept vise-t-il une rotation réelle²³²? Pour Bachelard la rotation est le simple prétexte du spin, cette grandeur n'a pas de sens pour un électron isolé, nous « imaginons avec notre rétine » et notre imagination ne peut aller plus bas que notre sensation, un nombre accolé à la dimension d'un objet n'est d'aucune aide pour l'imagination qui « ne suit pas la pente mathématique ». Nous ne manipulons pas les concepts en nous appuyant sur un noyau réaliste, mais « bien plutôt par l'atmosphère idéaliste qui l'entoure ». Sur l'objet de la micro physique cette dualité est apparente, le physicien part du sens du réel commun pour désigner ses instruments, mais l'objet de son étude se place dans un champ *logique*, s'il reste des traces substantielles ce sont des traces à effacer.

Bachelard considère que la science abandonne très facilement les êtres qu'elle crée, entre cet abandon et la constitution d'une nouvelle réalité, « il y a place pour une pensée non réaliste, ... se faisant un appui de son propre mouvement ». Il suffit de se souvenir qu'un changement bien choisi du système de référence efface la gravitation « pour voir le réalisme fugace de la force attractive²³³. C'est dans le domaine mathématique que sont les sources de la pensée expérimentale contemporaine.

²³⁰ Meyerson, *Réel et déterminisme dans la physique quantique*, Paris, Hermann, 1933, p 19

²³¹ *Idem*

²³² Donner une signification physique à la notion de spin n'est pas chose facile : ce n'est qu'un nombre quantique introduit par Pauli. Le spin peut être relié à la projection selon un axe (pris conventionnellement comme l'axe z) du moment cinétique de l'électron. Contrairement au moment cinétique classique, ce moment cinétique n'est pas caractérisé par ses trois composantes d'espace mais par sa seule projection selon l'axe z : comme toute grandeur quantique, elle est quantifiée, le spin vaut 0, +- 1/2, +1

²³³ Cas de l'intérieur d'un ascenseur en chute libre.

Le déterminisme de Kojève :

Kojève tente de placer dans la notion de déterminisme la différence essentielle entre les physiques classiques et modernes. Il y a dans l'ouvrage « l'idée du déterminisme »²³⁴ comme son titre complet l'annonce, une double analyse du concept tant dans la physique classique que dans la physique moderne. Si son édition définitive date de 1990, le manuscrit de Kojève est de 1932. Il n'a donc pu prendre en compte les développements postérieurs de la mécanique quantique, mais outre qu'il ne mentionne rien qui y soit contradictoire, la finesse de son analyse et sa continuité avec l'ouvrage de Boutroux que nous avons cité est telle que son étude ne pouvait être écarté avant une conclusion sur le déterminisme. Kojève considère aussi Boutroux comme un précurseur prévoyant « la discussion actuelle du principe du déterminisme »²³⁵. De plus il limite volontairement son étude au déterminisme et distingue nettement entre la causalité (besoin d'une cause pour qu'un effet se produise), qu'il n'aborde pas, et le déterminisme (les mêmes causes produisent les mêmes effets) ce qui correspond à la présentation que nous avons choisie.

Kojève considère comme exemplaire de la pensée de la physique classique la déclaration de Laplace, proche de celle du baron d'Holbach que nous avons déjà rapportée et qui supposait qu'une intelligence connaissant la position et la vitesse de toutes les particules de l'univers pouvait en déduire, aux moyens des lois qu'elle connaissait ou qui lui restait à découvrir, le passé et le futur de cet univers.

Cette proposition suppose plusieurs *a priori* que nous devons, à sa suite, relever.

- Elle utilise une distinction entre le sujet connaissant et l'univers à connaître. L'intelligence de Laplace ne se considère pas comme partie de l'univers qu'elle perçoit. Nous verrons qu'elle doit en être ontologiquement différente. Il est évident qu'elle possède des facultés qui dépassent infiniment celles de l'homme, mais en quantité, pas en qualité. Le monde lui « est donné » de la même manière qu'il est donné à l'homme. La possession de cette connaissance complète n'est pas un but impossible pour la physique classique.

Il se peut par ailleurs que l'univers soit fini ce qui simplifie le problème mais

²³⁴ Alexandre Kojève, *L'idée du déterminisme dans la physique classique et dans la physique moderne*, Paris, Le livre de poche, biblio essais, 1990

²³⁵ *Idem*, p. 125

les mathématiciens savent traiter des ensembles infinis de fonctions.

- Les prévisions sont faites par rapport au temps, et pour les faire il est nécessaire à un instant donné de connaître les caractéristiques de tout l'espace. L'inverse n'est pas vrai, connaissant tout ce qui s'est passé et se passera en un endroit donné il est impossible d'en déduire ce qui se passe ou se passera ailleurs. L'intelligence a une connaissance temporelle des choses, elle ne se place pas *sub specie aeterni*²³⁶, le passé n'a pas d'influence sur le futur sans passage par le présent.

- L'évolution des variables mesurées en un instant t dans la totalité de l'univers doit correspondre à des équations analytiques, une de leurs caractéristiques est que l'on peut les construire à partir d'un intervalle de temps et à partir de cet intervalle elles doivent donner l'évolution de leurs variables tant dans le passé que dans l'avenir. Il faut noter que si l'on se donne par contre les différentes valeurs dans le temps d'une suite d'éléments chaotiques il est toujours possible d'établir une fonction mathématique, non analytique les reliant.

Et de fait le déterminisme Laplacien devient égal à la prévisibilité. S'il n'y avait pas une intelligence observant l'univers le déterminisme n'aurait aucun sens, il en serait de même si l'intelligence possédait la connaissance du monde infiniment dans les dimensions spatiales et temporelles ou si le monde était sans durée. Dans tous ces cas l'intelligence serait « dans le même droit d'affirmer qu'il est déterminé que dire qu'il est dû au hasard »²³⁷. Ce serait une pure donnée brute, c'est parce que les faits peuvent être prévus à partir d'une situation initiale connue de façon exacte à laquelle on applique des lois analytiques qu'ils ne sont pas considérés comme dus au hasard. La notion d'observateur extérieur au monde, liée la prévision est nécessaire au déterminisme.

L'on a aussi sous-jacente une des limites de la notion de hasard. Le physicien sait qu'un phénomène n'est pas chaotique lorsqu'il l'a prévu. Mais lorsque les mesures constatées ne correspondent pas aux prévisions il a le choix entre soit de le qualifier de chaotique soit de reconsidérer les équations analytiques dont il a fait usage ou la mesure des conditions initiales.

Pour Laplace les conditions initiales, par principe, pouvaient être connues parfaitement. Il lui fallait connaître simultanément la position et l'impulsion

236 *Idem*, p 48

237 *Idem*, p 52

(produit masse par vitesse) des particules. La physique de son temps nous l'avons dit s'était fixé entre autres pour tâche de parvenir à l'élucidation des 'dernières décimales'. Le réel devait être défini par des propriétés parfaitement mesurables.

Kojève note que pour pouvoir élaborer la loi qu'il applique pour prévoir l'évolution des événements le physicien doit observer des configurations identiques produisant des évolutions identiques. Cela implique un monde de l'éternel retour. Or le fait de constater la première configuration va modifier des paramètres du cerveau du physicien et rendre le retour à l'identique impossible. Le déterminisme exact implique d'extraire le physicien de l'univers qu'il observe ou bien il ne peut que se contenter d'un déterminisme approché qui correspond à la proposition : « les configurations semblables ont des suites semblables » alors que le déterminisme causal exact exige que des configurations identiques aient des suites identiques. La postulation de l'une des deux thèses n'implique pas l'autre ²³⁸. La physique classique ne pouvait que vérifier expérimentalement un déterminisme approché, elle postulait cependant un déterminisme exact. Elle jouait en fait sur la notion d'indiscernabilité. Lorsque la précision de l'expérience ne permettait pas de mesurer de différences entre deux situations elles étaient jugées identiques²³⁹. Cela permet de comprendre l'erreur de raisonnement qui nie l'indépendance des deux principes causaux exact et approché.

L'usage de l'indiscernabilité était encore plus évident lorsque les expériences portent, ce qui est le cas général, sur une partie de l'univers, (la formulation de Laplace concerne tout l'univers), dans ce cas il faut connaître une description exacte de la situation initiale de cette partie, les lois qui gouvernent son évolution (analytiques nous l'avons vu) et les paramètres de la frontière entre cette partie et le reste de l'univers durant toute l'expérience. La connaissance de la frontière en un seul moment n'est pas suffisante, car pour prévoir ce qui va s'y passer il faut connaître l'univers entier donc être ramené au cas précédent. La physique classique construisait des expériences pour lesquelles les modifications de la frontière n'étant pas mesurables, la partie d'univers observée était considérée comme parfaitement isolée. Les états successifs de la frontière étaient en fait indiscernables, elle postulait

²³⁸ La configuration identique est bien un cas particulier de la configuration approchée mais rien ne dit qu'elle donnera une suite identique, elle peut donner une suite approchée si l'on ne postule que le déterminisme approché. Le déterminisme exact n'interdit pas à deux configurations approchées d'avoir des suites identiques.

²³⁹ Leibniz écrivait $a = a + \delta a$ à la condition que δa puisse être rendu aussi petit que l'on veut, en notation moderne quelque soit $\epsilon > 0$, $\delta a < \epsilon$. $a = a + \delta a$ n'implique pas $\delta a = 0$.

qu'ils étaient invariants.

De façon plus subtile étaient postulé l'invariance par rapport au temps et au lieu. Une même expérience concernant une partie isolée et très limitée de l'univers (quelques molécules de gaz par exemple) devait donner le même résultat à midi et à treize heures et ce indépendamment de la position du laboratoire dans la galaxie. C'est un principe de relativité qu'elle postulait normalement puisque la variation de position dans l'espace et le temps ne faisait pas varier les paramètres à la frontière de la partie d'univers observée.

La physique classique disait que si deux causes indiscernables produisaient des effets différents, alors les deux causes n'étaient pas identiques et leur indiscernabilité s'estomperait en augmentant la précision de la mesure²⁴⁰. La possibilité, au moins théorique d'une précision infinie existait.

A côté des déterminismes exacts et approchés, la physique classique concevait un déterminisme statistique utilisé particulièrement en théorie des gaz. Mais les lois statistiques n'étaient que la conséquence de l'impossibilité de connaître tous les paramètres des lois causales exactes qui conditionnent l'objet de l'expérience. Ainsi dans le lancer d'une roulette et de la bille associée, la multitude des paramètres engendrés par les chocs et rendent le calcul direct extraordinairement difficile, mais théoriquement possible. De plus, il était admis, dans le cas d'un gaz par exemple, que le nombre et la complexité des interactions moléculaires ne créent pas de 'causes' supplémentaires.

Cependant si l'on postule le déterminisme causal exact il devient difficile de conserver le déterminisme statistique. Il devient théoriquement possible de construire un lanceur de boule qui les lancerait au même endroit et à la même vitesse vers une roulette à la rotation strictement constante. Dans ce cas il serait cohérent d'obtenir une suite continue de sortie du même numéro.

Kojève en conclut que l'existence d'une structure causale exacte n'est pas une condition suffisante à l'existence d'une structure causale statistique²⁴¹, mais est-elle nécessaire ? Il est facile de concevoir un monde où les mêmes causes ne produisent pas les mêmes effets mais où la proportion entre les effets différents est constante. Ce monde posséderait une structure statistique sans causalité exacte.

²⁴⁰ P 79 et s

²⁴¹ P 106 sq

Le déterminisme

En récapitulant, Kojève cite Hermann Weil²⁴² : « il faut dire une fois sans détour, que la physique (classique) dans son état actuel, n'est plus du tout capable de soutenir la croyance à la causalité fermée de la nature matérielle, basée sur des lois rigoureusement exactes ».

Depuis Kojève d'autres remarques ont été faites sur la possibilité de l'indéterminisme dans la physique classique. Ainsi du dôme de Norton où l'application des lois de Newton pour une particule placée en équilibre à son sommet conduit à une famille d'équation qui permettent sa chute à n'importe quel moment et dans n'importe quelle direction. La surface est choisie de façon à ce qu'une fonction mathématique (la dérivée seconde par rapport au temps) soit indéterminée en son sommet. La possibilité pour la particule de rester indéfiniment en équilibre n'est cependant pas exclue. Les équations de la physique doivent produire toutes les solutions possibles, mais elles rajoutent parfois des solutions non constatées²⁴³. Plus évidente est la postulation, en mécanique classique, d'une vitesse infinie, les lois de Newton le permettent. Or une particule possédant une vitesse infinie pourrait occuper à chaque instant tout l'univers et par conséquent modifier le résultat de n'importe quelle expérience.

Nous concluons donc avec Boutroux et Kojève, qu'outre de ne pouvoir utiliser des lois de caractère non nécessaire, la physique dite classique ne pouvait que postuler un déterminisme approché.

Ensuite

Bachelard et Kojève seront les derniers philosophes que nous étudierons dans le parcours consacré à l'analyse philosophique du déterminisme. Non parce qu'il n'a pas de successeurs mais parce qu'ils semblent avoir atteint des limites. Kojève dans sa définition du déterminisme scientifique, Bachelard parce qu'il semble passer, dans son analyse du principe d'incertitude, le dernier mot à la science en matière d'ontologie. Son texte n'est pas une critique logique du principe *de omni et de nullo*, il est la négation pure et simple du principe dans son application à la physique des particules. Les propriétés naissent de la complexification et ne sont rien sans elle. Tous les électrons sont identiques, et une 'détermination' telle que le

²⁴² Hermann Weil, *Raum, Zeit, Materie, : vorlesungen über allgemeine relativitätstheorie*, Berlin, Springer-Verlag, 3^e édition, 1921, p 283

²⁴³ Si mon jardin est un carré de 400 m², son côté n'est pas de -20 m. Solution pourtant exacte. Parfois cependant les solutions ne sont constatées que longtemps après, ainsi de l'existence de l'antimatière.

spin, qui justifie le principe d'exclusion de Pauli, n'existe que si l'électron n'est pas isolé. Le concept même de chose est relativisé et rapporté à une échelle de perception, exactement à un domaine de définition où les notions de position et de vitesse, donc d'étendue ont un sens précis. L'analyse de Descartes au sujet du bloc de cire dont il ôte une à une toutes les qualités pour ne conserver que l'étendue n'est pas contestée en elle-même, il lui est cependant interdit de s'étendre vers les constituants ultimes du bloc de cire.

Mais Bachelard est aussi l'auteur de *La poétique de l'espace*, dans laquelle sa philosophie s'interdisait de rien simplifier, rien durcir, où elle expliquait le plaisir qu'il y a à « faire exploser les définitions ». La dualité de son œuvre constitue une vulgate et Bachelard lui-même a noté les oppositions entre « la science et la poétique, le théorème et le poème ²⁴⁴ » alors qu'il protestait contre « une unité paresseuse ». Les libertés du poème n'ont pas de place dans les définitions de la science, mais il existe en science un domaine du non définissable. Il n'y a pas de causalité poétique de même qu'au niveau élémentaire il n'y a pas de causalité physique. La science a besoin du poétique pour exprimer les concepts qui ne rentrent pas dans la logique d'Aristote, mais le poète dans ce cas, doit s'exprimer en des termes qu'elle puisse approuver, au minimum ne pas condamner.

Selon J. Dagognet, la pensée de Bachelard comporte une ontologie qui commande à la science et à la poétique, elle possède « une puissance de cosmicité ²⁴⁵ » qui fait rejoindre les deux chemins. Il est un philosophe de « l'entrecroisement ». Ainsi en notant que « toute syntaxe est d'essence topologique » il introduit une limitation soulignée par les philosophes analytiques, tandis que, dans sa critique, modérée, des thèses de Meyerson, il prépare un 'constructivisme épistémologique'. La connaissance peut s'approcher d'une réalité indépendante ou ontologique mais elle est surtout un outil dans le domaine de l'expérience. Notre façon de décrire le réel est mathématisable, mais l'outil mathématique est une construction du sujet « Il faudrait ici créer » écrit-il dans *La formation de l'esprit scientifique*, un mot nouveau, entre compréhension et extension, pour désigner cette activité de la pensée empirique inventive [...] comme au temps d'Abélard, nous voudrions nous fixer nous-mêmes dans une position

²⁴⁴ F Dagognet, *Bachelard dans le monde* in J. Gayon, *Nouveau regard sur la philosophie bachelardienne*, Paris, PUF, 2000, p. 20.

²⁴⁵ *Idem*

moyenne, entre les réalistes et les nominalistes, entre les positivistes et les formalistes, entre les partisans des faits et les partisans des signes²⁴⁶».

Confrontés au paradoxe EPR et condamnés à prendre en compte les inégalités de Bell, les philosophes des sciences successeurs de Bachelard laisseront le plus souvent aux scientifiques l'explication ontologique pour s'interroger sur l'histoire ou le statut de la connaissance. Ce n'est pourtant pas à eux, mais aux logiciens que Bachelard avait à la fin de son ouvrage, laissé le soin de définir « la pensée expérimentale contemporaine ».

Conclusion :

Il est toujours possible de postuler un 'réel' de type chose en soi qui soit strictement déterministe. Il devrait cependant être cohérent avec ce que l'on constate dans les laboratoires, c'est-à-dire être capable de produire des phénomènes de nature non déterministe. Il n'y a pas d'impossibilité logique à cela mais Kojève a démontré qu'une telle structure n'est pas nécessaire.

Il n'en demeure pas moins que les phénomènes observables n'apparaissent qu'au moment de l'interaction avec un appareil de mesure. On considèrera avec l'école de Copenhague que cette interaction est notre seule interface avec un réel qui demeurera 'voilé'.

Dès lors nous reprendrons les termes de notre conclusion précédente, il y a deux voies pour nier le déterminisme absolu (les mêmes causes produisent les mêmes effets).

Soit le nier de façon directe en considérant que même si l'on connaissait parfaitement les causes les effets ne seraient qu'aléatoires cela dans le sillage de la démarche de Prigogine sur les états éloignés de l'équilibre pour les états macroscopiques, ou, en suivant l'interprétation orthodoxe de la physique quantique pour le microscopique.

Soit considérer que l'affirmation que les mêmes causes produisent les mêmes effets est vide de sens puisque, dès lors que l'on ne peut valider l'identité de deux causes, le principe du déterminisme devient des états semblables produisent des effets semblables.

Dans tous les cas subsiste un déterminisme statistique et la gamme des effets

²⁴⁶ Gaston Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin, 1967, p 61

possibles est calculable.

Il est difficile de faire le deuil du déterminisme 'ontique'. Nous avons noté que les propriétés d'une somme de constituants peuvent ne pas appartenir aux constituants eux même. Le déterminisme pourrait-il donc apparaître même si un objet n'est qu'une somme de particules ? Hélas l'objet macroscopique conserve des propriétés quantiques, les incertitudes sur la masse et sa vitesse diminuent proportionnellement à sa masse mais ne s'annulent jamais. La position du centre de gravité de la lune reste ainsi indéterminée. A l'inverse, toujours au niveau macroscopique le déterminisme absolu n'est en réalité que peu utilisé. Il suffit pour s'en convaincre de considérer la recherche médicale qui ne propose que des résultats statistiques reliant traitement et effets fastes ou néfastes. Les médicaments les plus usuels ont des notices qui indiquent les conséquences désagréables qui apparaissent pour un pourcentage connu de patients et ceux qui les prescrivent connaissent les taux de guérison constatés. Avant toute opération les chirurgiens sont tenus de vous indiquer les risques induits et leur pourcentage d'apparition. Il ne semble plus y avoir un domaine non trivial où le déterminisme est présenté sous une autre forme que statistique. Sans doute les régimes amaigrissants garantissent encore un succès total et pour reprendre l'exemple de Hume, la flamme d'une bougie provoque une brûlure sauf que parfois le régime ne fonctionne pas et certains marchent sur des braises incandescentes.

Alors pourquoi sommes-nous si fermement attaché au déterminisme ? Nous allons parcourir rapidement quelques raisons car nous les retrouverons au moment de critiquer notre attachement à la causalité.

- Le déterminisme est utilitaire et permet d'appréhender le réel, Kojève parle de prévisibilité. Lorsque la probabilité statistique s'approche de l'unité, et c'est le cas pour la majorité des situations que nous rencontrons, déterminisme absolu et déterminisme statistique fournissent presque les mêmes résultats et conduisent à une règle de conduite pratique. Traverser la rue sans regarder est un moyen sûr d'avoir un accident. Le pain nourrit, la flamme brûle.

- Le déterminisme rassure même si c'est par un faux raisonnement. Si fumer augmente la probabilité de développer un cancer des poumons, ne pas fumer ne garantit pas de ne pas en avoir. Cependant ce raisonnement est souvent appliqué et il semble d'autant plus exact que la probabilité d'occurrence est forte.

Le déterminisme

- dans le cas des phénomènes chaotiques plusieurs effets nous masquent leur indéterminisme profond :

a) Leur appréhension globale, ainsi un ouragan n'est jamais perçu comme la somme aléatoire de mouvements de molécules d'air mais comme un phénomène dont l'ampleur est la seule variable caractéristique.

b) Leur répétition qui les rend 'naturels' et l'explication qu'en donne les météorologues dans notre exemple, en remontant à une cause très en amont, le réchauffement climatique ou la variation d'un courant marin.

c) La durée de la période de stabilité qui fait oublier le caractère aléatoire. La trajectoire de la terre dans le système solaire est chaotique. Cependant cela ne sera éventuellement apparent que dans des millions d'années.

d) L'invocation d'autres causes habituelles. Ainsi le cœur a un fonctionnement chaotique, mais ses problèmes sont presque toujours rattachés à une pathologie installée, il peut cependant avoir des problèmes aléatoires de conduction électrique.

e) Le déterminisme est lié à l'indéterminisme que nous attachons de façon essentielle à notre liberté, les choses étant dépourvues de cette dernière les changements dans les choses doivent selon le sens commun s'accomplir de façon parfaitement prévisible.

f) Le déterminisme est également lié à notre accès au réel par la voie mathématique. Les lois mathématiques qui décrivent ce dernier n'ont eu longtemps aucune possibilité d'interprétation en termes statistique. Lorsque ces dernières étaient utilisées elles ne relevaient que d'une ignorance de la totalité des paramètres à prendre en compte. L'interprétation des valeurs d'une fonction comme densité de présence est récente et nous avons vu qu'elle heurte le sens commun. Les équations sont parfaitement transparentes à l'esprit humain²⁴⁷ elles doivent fournir un résultat certain, pas plusieurs affectés d'une probabilité de réalisation.

Nous concluons que le déterminisme n'a pas de fondement objectif. Mais ce n'est pas parce qu'un concept n'a pas une définition parfaite ou parce qu'il est plurivoque qu'il faille le condamner. Il faut abandonner simplement l'idée que l'essence du déterminisme est d'être absolue.

²⁴⁷ En théorie du moins...puisqu'il les a conçues

3.2 – Philosophie : La causalité, nouvelles attaques et défenses

Conformément à notre programme, après avoir conclu sur le déterminisme et montré que la présence du seul déterminisme relatif ne remet pas en question l'existence de la causalité, nous reprenons son étude pour la période contemporaine. A la suite des progrès scientifiques du début du XX^e siècle, les questions de la causalité ont ressurgi et de nouveau en Angleterre. Par hasard et sans vouloir faire un parallèle avec un chapitre précédent, la réponse que nous allons étudier sera germanique. Alors que l'attaque est presque une reprise de la pensée de Hume mais formulée dans des termes de logique propositionnelle, la réponse s'éloignera de la solution de Kant pour retrouver, de façon curieuse celle moins fondée philosophiquement, de Wolf. Le résultat de cette deuxième passe d'assaut et de riposte va être double. Certains vont tenter de donner une définition précise à la notion de cause, sans poser en préalable la question de son existence, mais en déployant la palette des modèles « nomologiques-déductifs », « contrefactuels » ou « de transfert ». D'autres dont les préoccupations sont nées des interprétations des théories des mécaniques relativistes et quantiques, s'interrogeront davantage sur son existence et surtout sur son corrélatif, le déterminisme. Nous avons déjà étudié cette réaction, il nous reste donc à analyser le fondement du premier mouvement à savoir l'attaque directe de Russell sur la notion de cause, puis la réponse mesurée de Carnap, avant d'entreprendre l'étude de ses définitions contemporaines. L'analyse de quelques controverses récentes sur les relata de la causalité ou sur une nouvelle présentation du problème nous servira à montrer qu'il semble inutile de s'efforcer de donner une définition précise de la causalité subjective.

Nouvelle critique radicale

Publié en 1917, *Mysticisme et logique* se présente comme un recueil d'articles écrits entre 1901 et 1905. La date est importante car les débats sur la physique quantique n'étaient pas commencés. Russell était mathématicien, logicien et philosophe. Dans le chapitre IX qui s'intitule « sur la notion de cause » il précise qu'il étudie le terme cause dans le vocabulaire philosophique mais qu'il se réserve

le droit d'utiliser un autre langage. Il affirme en préambule que tous les philosophes imaginent que la causalité est un des axiomes fondamentaux de la science, au point que certains accusent la science de ne pas en rechercher. Selon lui ce reproche est stérile, la philosophie ne peut se prévaloir d'une « fonction législative » de la science et de plus il n'existe pas de cause.

La formule que Russell va employer est célèbre : « La loi de causalité, à mon sens, comme beaucoup d'idées qui circulent parmi les philosophes, est un vestige d'un âge révolu, lui survivant comme la monarchie, seulement parce qu'on suppose à tort qu'elle ne provoque pas de dégâts.²⁴⁸ ». Il va trouver dans le *Dictionary of Philosophy and psychology*²⁴⁹ de J. Mark Baldwin les trois définitions de la causalité et de la nécessité qu'il entreprend de critiquer. La première donne pour synonyme à la causalité, « la connexion nécessaire d'événements dans une suite temporelle ». Elle implique de se reporter à la définition de nécessaire, et toujours selon Baldwin, « est nécessaire ce qui non seulement est vrai, mais serait vrai dans toutes les circonstances ». Or le sujet de 'vraie dans toutes les circonstances' ne peut être qu'une fonction propositionnelle et pas une proposition, c'est-à-dire être une expression contenant une variable et qui ne devient une proposition que lorsqu'une valeur définie est assignée à la variable. Si c'est une proposition elle est vraie ou fausse, 'Louis XVI a été décapité' est une proposition, celle-ci est vraie en n'importe quelle saison. 'Le contenu de la boîte est un livre' est une fonction propositionnelle tant que ce contenu n'est pas identifié. Or la définition de la nécessité donnée par Baldwin mélange les attributs d'une proposition et d'une fonction propositionnelle. L'on ne peut retenir que ceux d'une fonction. La définition correcte devient : « une proposition est nécessaire par rapport à un constituant donné si elle reste vraie pour tous les changements de ce constituant pour lesquels elle reste signifiante²⁵⁰ ». Si l'on applique cette définition de la nécessité à la définition de la causalité de Baldwin, le constituant donné ne peut être que le temps. La causalité en tant que loi universelle aura donc pour définition : « Etant donné un événement e_1 , il y a un événement e_2 , tel que toutes les fois que e_1 a lieu, e_2 a lieu après un intervalle τ ²⁵¹ ».

²⁴⁸ B. Russell, *Mysticisme et logique*, Paris, Vrin, 2007, p 167. En abrégé *M&L*

²⁴⁹ J. Mark Baldwin, *Dictionary of Philosophy and psychology*, New York, Macmillan, 1901

²⁵⁰ *M&L*, p 169

²⁵¹ *M&L*, p 170

Se penchant sur la troisième définition de Baldwin, Russell note qu'elle est proche de celle à laquelle il vient de parvenir mais que dans ce cas τ est nul et la cause cesse dès que l'effet apparaît. Cela lui pose problème, en effet soit la cause dure et dans ce cas soit il y a un changement en elle-même, soit il n'y en a pas. S'il y en a un, dans ce cas une des parties de la cause est cause, l'autre est effet car il ne peut y avoir d'effet sans cause. S'il n'y a pas de changement, la cause, « après avoir existé tranquillement pendant quelque temps, explose dans l'effet ²⁵²» et cela sans cause, ce qui est trop « étrange pour qu'on puisse l'admettre », il y a donc un intervalle de temps τ non nul entre la cause et l'effet.

Notons que Russell propose de diminuer la durée de la cause possédant un changement interne et note que tant que cette durée est positive sa critique est justifiée. Il conduit alors une critique de sa propre définition² qui suscite deux questions, Qu'entend-t-on par événement ? Combien de temps peut s'écouler entre les deux événements e_1 et e_2 ?

Un événement doit être quelque chose capable de revenir, un « universel dont il peut y avoir de multiples instances », ce ne peut être pour cela l'état total de l'univers à un instant donné car il est peu susceptible de se reproduire, on pensera plutôt à un événement tel que le « frottement d'une allumette sur son grattoir ». On ne doit pas le définir trop précisément sinon il ne sera pas reproductible et la loi serait juste mais limitée à un cas, telle allumette, sur tel frottoir, en un tel lieu.

Russell considère qu'il a démontré que cause et effet ne pouvant être contigus, τ est positif, mais cela soulève des « difficultés insurmontables » car dans ce cas il sera toujours possible de placer entre e_1 et e_2 , l'évènement e_1' qui empêchera e_2 . e_1 n'est assuré de produire e_2 que si rien ne peut inférer, il faut donc considérer l'ensemble de l'environnement d' e_1 . Mais dans ce cas on inclut vite une vaste portion d'univers et l'évènement e_1 n'est plus reproductible.

Conséquences philosophiques

En dépit de cette difficulté, il existe dans la vie courante des séquences régulières, et ce sont elles qui ont suggéré l'idée d'une prétendue loi de causalité, et dit-il, quand la régularité est en défaut, on recherche une autre cause. Russell ne nie pas que les pierres d'une certaine taille lancées à une certaine vitesse ne cassent pas toujours les vitres d'une certaine épaisseur, ce qu'il nie, c'est que la science

²⁵² *Idem* p 170

s'intéresse à de telles séquences. Tout progrès dans la science tend à s'éloigner de l'uniformité grossière et élargit le cercle des antécédents considérés comme pertinents. Le principe 'même cause, même effet' est « complètement oiseux ²⁵³», car lorsque tous les antécédents sont donnés pour calculer l'effet, leur ensemble est trop complexe pour revenir avec certitude, la vitesse de chute d'une pierre sur la terre dépend par effet gravitaire de la position de la lune et du soleil, et par là de celle des corps de tout l'univers. Russell analyse les conséquences de sa démonstration sur cinq des maximes usuelles en philosophie.

1° principe : 'La cause et l'effet doivent plus ou moins se ressembler.' Russell juge ce principe central dans la philosophie de l'occasionalisme. De lui on déduisait que l'esprit ne peut avoir d'influence sur la matière et que réciproquement, il ne peut y avoir d'esprit dans un univers matériel. Or la science montre que cause et effet sont fortement dissemblables. La cause « étant en fait deux états de l'univers entier, et l'effet un événement particulier²⁵⁴ ».

2° principe : 'La cause est analogue à la volition'. Cela résulte du besoin d'établir un lien intelligible entre la cause et l'effet. Mais justement rien n'est intelligible dans la liaison entre un acte de volonté et son accomplissement. Pour le domaine dans lequel la notion de volition est absente, La traduction de D. Vernant fait écrire à Russell : les « lois qui remplacent la causalité... ne laissent aucune place pour deux événements entre lesquels un lien peut être cherché²⁵⁵ ». Il semble qu'il serait plus exact de traduire que les lois ne se préoccupent que des événements qu'elles relient. Il n'y a pas de causalité entre événements non reliés par une loi.

3° principe : 'La cause contraint l'effet en un certain sens où l'effet ne contraint pas la cause'. Ce principe vient du principe précédent, il faut l'abandonner en même temps. Il a été introduit pour appuyer notre liberté face au déterminisme. Si l'on remplace le mot 'contraint' par 'détermine', nous avons une maxime qui provient de ce que nous pensons souvent aux causes multiples. Ainsi la rue peut être mouillée par une averse ou par un arrosage, qu'elle soit mouillée n'implique pas qu'il ait plu. Mais la pluie cause aussi une multitude d'effets dans une multitude de rues. C'est parce que nous restreignons le champ des effets que nous supposons une fausse

253 *M&L*, p 173, Il est légitime de se demander pourquoi Russell parle de deux états de l'univers pour la cause. Notons qu'il distingue entre événement et état. Nous y reviendrons.

254 *Idem*

255 *M&L*, p 174

dissymétrie entre effet et cause. Si nous prenons pour cause le poignard qui a tué César et pour effet l'état du monde romain cinq ans plus tard²⁵⁶, la dissymétrie cause effet devient illusoire, une cause peut avoir une multitude d'effets comme un effet une multitude de causes.

4° principe : 'Une cause ne peut agir quand elle a cessé d'exister parce que ce qui a cessé d'exister n'est rien'. Cette affirmation vient de notre tendance à penser que, comme les volitions, les causes agissent. De plus il y a par définition, un intervalle de temps entre la cause et l'effet. Donc les causes doivent causer leur effet après qu'elles aient cessé d'exister.

5° principe : 'Une cause ne peut agir que là où elle est'. Ce principe a été employé contre Newton et son 'action à distance'. Elle comprend aussi la supposition selon laquelle 'les causes agissent', donc sont analogues aux volitions mais dans un sens obscur. Cette maxime est, dit l'auteur « dénuée de tout fondement²⁵⁷ ».

Le remplacement de la causalité

Puis Russell s'interroge sur la ou les lois qui pourraient remplacer « la prétendue loi de causalité ». L'observation d'un grand nombre de cas d'une séquence considérée traditionnellement comme causale, induit la probabilité de croire qu'elle devra s'étendre à des cas futurs. Si je frotte une allumette sur un grattoir, je pense qu'elle va s'enflammer car il en est presque toujours ainsi. Il faudrait analyser le principe d'induction mais pour la suite de la recherche il sera considéré comme indubitable. Au sein de telles séquences, Russell convient de nommer le premier événement cause, le second effet, mais ces séquences sont soumises à des aléas qui les rendent différentes de « la relation traditionnelle entre cause et effet » :

- Elles ne sont que probables alors que la causalité est considérée comme nécessaire. Pour reprendre l'exemple d'une allumette et du grattoir, il est des cas où l'allumette ne s'enflammera pas.

- Il n'est pas certain de pouvoir trouver un événement cause, l'évènement effet étant apparu.

- N'importe quelle séquence suffisamment fréquente devient causale, ainsi la

256 Ce n'est pas l'exemple qu'il cite.

257 *M&L*, p 176

nuit est la cause du jour. Même si on rajoute la nécessité à la succession on n'élimine pas ce genre de conclusion.

- Ces séquences sont gérées par des lois, une configuration à un instant donné peut être déduite d'une loi et d'une configuration précédente. L'énoncé de la loi peut changer au cours de la progression de la science qui l'a généré. Souvent les lois relient des objets auxquels on ne peut appliquer les qualificatifs de cause et effet. Ainsi du mouvement des corps gravitant ensemble.

La raison pour laquelle la loi de causalité est une expression qui perdure est que les philosophes ne sont pas familiers à la notion de fonction et qu'ils cherchent un énoncé « exagérément simplifié ». Il n'y a jamais de similarité parfaite des causes et des effets. Il ne s'agit plus d'appliquer le principe, même cause même effet, mais « similarité des rapports » voire mieux d'une « similarité d'équations différentielles »

Russell postule ensuite qu'il doit être possible de formuler un principe liant la vitesse du changement de l'univers à un instant donné et l'état de l'univers au même instant. Il juge un tel principe avoir plus de pertinence dans le domaine de la science que celui de la causalité, mais il formule immédiatement plusieurs observations à son égard :

- Un tel principe n'a aucun caractère *a priori* ou d'évidence par lui-même. Il n'est pas une « nécessité de la pensée »²⁵⁸. C'est une généralisation empirique.

- Un tel principe ne fait pas de différence entre passé et futur, le futur détermine autant le passé que le passé le futur. Détermine n'a cependant qu'un sens logique, les variables considérées sont reliées par des fonctions.

- Il ne sera pas empiriquement vérifiable si l'on ne peut considérer l'existence de systèmes isolés au sein de l'univers. Sinon tout réagissant sur tout l'existence de lois mathématiques sera difficile à mettre en évidence.

- Il est supposé une certaine permanence des lois, ou une variation des lois qui serait elle-même soumise à une loi. C'est ce que l'on appelle « l'uniformité de la nature », qui n'est toujours qu'une généralisation empirique.

Ce n'est pas pour Russell, une prémisses majeure des raisonnements scientifique que les lois de la nature se maintiennent dans l'avenir, d'ailleurs plus l'ensemble des lois croit, moins cela est probable. Il existe également des lois qui

²⁵⁸ *M&L*, p 178

sont vérifiables empiriquement mais qui ne sont probablement qu'approximatives et d'autres qui peuvent être exactes sans être vérifiables.

Dans la permanence des lois et la nécessité pour la science de considérer des systèmes relativement isolés, Russell trouve une des raisons pour lesquelles sont apparues les notions de cause et d'effet. Il n'était simplement pas possible de les établir dans un système non isolé avec des lois physiques fluctuantes. La causalité résulte d'un « heureux hasard » qui permet « d'inférer l'avenir à partir du passé²⁵⁹ ». Cela n'est possible qu'à l'intérieur d'un système dont les variations ne sont pas dépendantes de systèmes voisins. Si la gravité était inversement proportionnelle à la distance et non à son carré l'influence des étoiles voisines sur la trajectoire des planètes serait telle que les lois gérant les orbites ne pourraient être découvertes. C'est l'isolement qui permet de mettre en évidence des lois scientifiques.

Un système est déterminé, dit Russell, si entre une série non infinie d'éléments e_i dits déterminants du système et connus aux instants t_i , il existe une relation fonctionnelle F telle que si E_t est l'état à l'instant t du système, on ait :

$$E_t = F(e_1, e_2, e_3, e_n, t_1, t_2, t_3, t_n, t)$$

Il existe une ou plusieurs fonctions F de e_i et de t_i . Les déterminants peuvent intervenir dans plusieurs lois (la charge électrique dans une loi d'attraction et dans une loi la reliant au champ magnétique par exemple) et que l'on peut choisir différents ensembles de déterminants à condition qu'ils ne soient pas infinis, (sinon les fonctions seraient impossibles à écrire) et qu'ils permettent de décrire la totalité du système.

Russell remarque que cette 'détermination' n'utilise pas le temps comme argument, mais au mieux un intervalle de temps, l'uniformité de la nature tient sans doute en ceci que les lois qui décrivent une évolution dans le temps en sont indépendantes, mais ce n'est que l'examen du passé qui conforte cet avis. Rien ne prouve que « chaque loi qui s'est maintenue jusqu'ici, se maintienne à l'avenir »²⁶⁰ La possibilité d'extraction d' e_i différents permet de conclure que si les e_i ne sont que des paramètres matériels, alors l'esprit est déterminé par la matière, mais si les e_i sont des paramètres donnant l'état de l'esprit alors c'est la matière qui

²⁵⁹ *M&L*, p 180

²⁶⁰ *Idem* p 184

Et rétablissement

sera liée à l'esprit.

On pourrait alors calculer l'évolution de l'esprit et en déduire que la matière a parcouru durant ce temps l'évolution correspondante. En fait pour être pleinement déterministe, la fonction F , selon Russell, ne devrait pas être une fonction du temps, car il existe un risque que les lois n'en soient pas indépendantes, mais comme les équations newtoniennes concernent une simple relation entre états²⁶¹.

La fin de l'article de Russell s'orientant sur le problème de la causalité et de la volition nous ne l'aborderons pas. Nous noterons seulement qu'il indique la possibilité de l'existence d'une gamme B de lois physiques qui indiqueraient pendant une très longue période les mêmes résultats que les lois d'une gamme A, classiquement utilisées, mais qui divergeraient à terme. Le passé serait alors déterminé au sens de l'application des lois de la gamme A, mais le futur serait indéterminé pour la même gamme. Il deviendrait déterminé pour la gamme B mais rien n'indique qu'il n'existe pas une gamme C de lois qui permettrait d'itérer le phénomène.

Et rétablissement

L'ouvrage intitulé « *Les fondements philosophiques de la physique* » est la transcription d'un séminaire que Carnap anima en 1958 à l'université de Californie. Publié en 1966 il contient donc probablement le dernier état des pensées de l'auteur sur les sujets qu'il traite.

La causalité n'apparaît qu'au chapitre XIX, après qu'il soit traité des grandeurs, du temps et de la mesure en physique. Elle précède un chapitre portant sur les observables dont le lien avec la causalité sans être fondamental est suffisamment important pour être exposé en introduction.

Carnap note l'acception différente du terme d'observable selon les individus. Tous reconnaissent aisément comme observables « les qualités sensibles que l'on perçoit directement ». Le problème commence avec tout système d'amplification, si les lunettes ne posent pas de problème, le microscope peut en poser, la bactérie reste sans doute un observable, mais qu'en est-il de l'image recomposée par un ordinateur ? De la surface en fausses couleurs que « voit » un microscope électronique ? La construction de cette image est fondée sur une particularité

²⁶¹ Cependant, toute loi, même d'état, est dérivable dans le temps, nous verrons cela infra

quantique, l'effet tunnel²⁶² et résulte d'un logiciel informatique.

Soit une température de 93,5°, est-elle un observable pour le métaphysicien qui se limitera volontiers aux notions de chaud et très chaud ? La simple constatation de la déviation d'une aiguille d'un ampèremètre rend-t-elle 'observable' le courant électrique ? Le métaphysicien pourra objecter qu'il ne voit que cette déviation et que le courant n'est pas observé mais inféré de la déviation constatée. Carnap constate plaisamment que le métaphysicien jugera par contre observable la voix de son épouse entendue au travers d'un téléphone mais autorise chacun à mettre la frontière de l'observable là où il la veut.

Le problème sera que le métaphysicien dira qu'il sait ce qu'est une aiguille parce qu'il la voit mais demandera « Qu'est-ce qu'exactement un électron ? », car il n'est pas directement observable. Le physicien pourra lui faire remarquer que ce n'est pas parce qu'il observe une aiguille qu'il sait ce qu'est une aiguille. Il est bon de se rappeler « qu'en général le sens où le physicien emploie le terme observable est très large comparé à celui où l'emploie le philosophe²⁶³ » et également que l'observation n'est pas synonyme de connaissance.

Lorsque interviendront les interactions entre particules qui ne sont qu'inférées par des moyens de plus en plus éloignés de l'observation directe, l'on comprendra alors la résistance du métaphysicien à parler de causes entre des entités non observables. Les photos des chambres à bulles²⁶⁴ des détecteurs de particules montrent des traînées de condensation dans du brouillard, les instruments du LHC²⁶⁵ ne fournissent que des images entièrement construites à partir de données de mesures.

La cause

Carnap précise que : « Une des plus importantes tâches de la philosophie des sciences est d'analyser le concept de causalité et d'en dégager le sens »²⁶⁶. Il remarque que de la même façon que l'on se sent un agent actif lorsque l'on « pousse une table », l'on a tendance, lorsque l'on voit le choc de deux boules à penser que l'une des deux est l'agent du choc. Si une pierre casse un carreau même les

²⁶² Voir *infra*

²⁶³ R. Carnap, *Les fondements Philosophiques de la Physique*, Nancy, Berger-Levrault, U épistémologie, 1973, p 220. En abrégé *FPP*

²⁶⁴ *Idem*

²⁶⁵ Cette comparaison n'est évidemment pas dans l'ouvrage étudié

²⁶⁶ *FPP*, p 1853

scientifiques diront que le bris du carreau a été causé par la collision de la pierre et de la vitre. Causer est souvent remplacé par ‘amener’, ‘engendrer’, ‘créer’ ou ‘produire’, termes métaphoriques empruntés à l’activité humaine’. Or « cela se conçoit mal dans le cas d’une pierre ».

Puis Carnap écrit ; « Qu’un point soit clair ; il n’y a aucune raison, selon moi, de rejeter le concept de causalité ». Il récuse la pensée de ceux qui considèrent Hume comme ayant voulu rejeter ce principe *in toto*, il considère qu’il voulait seulement le purifier de la nécessité. Nous reviendrons sur ce point.

Carnap s’interroge ensuite sur les entités liées par la causalité, « la cause d’un événement n’est pas à proprement parler une chose, mais un processus ²⁶⁷ ». Si nous disons que le soleil est la cause de la croissance des plantes, nous signifions que la radiation solaire en est la cause. Pour lui, les choses elles-mêmes sont des processus. Une table est un processus statique. Sa masse, sa température et l’indice de réflexion de sa surface peuvent demeurer très longtemps inchangés, il n’en demeure pas moins que le maintien de l’existence de la table en tant que table, est dans le temps un processus qu’il faut prendre en compte.

Parmi les autres entités que l’on peut rapporter au problème figurent les circonstances ou les conditions qui sont causes ou effets. Les conditions statiques sont aussi des conditions. Carnap va détailler la cause entendue comme ensemble des conditions statiques et variables d’une situation, en utilisant l’exemple d’une collision automobile.

L’ingénieur des ponts et chaussée retiendra comme cause l’état défectueux de la route à cet endroit, mouillée elle devient très glissante, en fait il a « raison d’une certaine façon. », si la route avait été refaite l’accident n’aurait pas eu lieu.

Le policier de la route jugera que la vitesse excessive est la cause de l’accident, le psychologue l’état anxieux du conducteur qui a diminué sa vigilance, le mécanicien attribuera la cause à l’état des garnitures de freins.

Chacun peut dire, « de façon justifiée », que sans la cause qu’il a déterminée l’accident ne se serait pas produit.

Il est évident également que chacun n’a fourni qu’une réponse partielle, il n’existe rien qui soit la cause et s’il existe une relation causale « l’événement causal comprend nécessairement la situation toute entière »

²⁶⁷ FPP, p 186

Si l'on avait connu l'ensemble de la situation et l'ensemble des lois physiques intervenantes, le rapport entre la distance de freinage et l'humidité, la rapidité des réflexes du conducteur et la qualité des plaquettes de frein, on aurait pu prédire l'accident.

Carnap résume l'analyse par la formule « relation causale signifie prédictibilité », mais bien entendue personne ne connaît et ne peut connaître l'ensemble des faits et des lois qui sont intervenus dans l'accident. Il ne s'agit pas d'une productivité réelle mais d'une productivité dans un sens métaphorique. « Il existe une relation logique entre la description exhaustive des circonstances antérieures, la connaissance des lois pertinentes et les circonstances de l'accident ²⁶⁸ ». Carnap constate que la connaissance des lois pose problème. Les lois dont il s'agit sont celles correspondantes aux domaines envisagés mais connus avant l'accident. Donc, X et Y étant des événements, Y est causé par X à l'instant T, si Y peut être déduit de X à l'aide de l'ensemble L_t des lois connues à l'instant T.

Cette définition pose le problème des lois inconnues à l'instant T et qui auraient un rôle dans l'apparition de Y, ou des lois simplement avancées à titre d'hypothèses. Même si ces lois sont justes, la définition n'est alors pas correcte.

Comme le problème est évidemment actuel, c'est donc au système entier des lois qu'il faut se référer. Mais la définition devient alors, Y est causé par X si « Il existe dans la nature certaines lois dont on peut déduire l'événement Y, à condition de les conjuguer avec la description exhaustive de l'événement X ». L'on conçoit bien alors la difficulté de l'analyse de la causalité, elle fait toujours appel à des lois naturelles non spécifiées. L'énoncé conserve cependant un sens même si l'on n'est pas en mesure de préciser le nombre et le contenu des lois nécessaires. Il suffit d'indiquer qu'Y est déductible de X si l'on connaissait l'ensemble des lois et des faits qui touchent de près ou de loin l'événement X.

Cette définition implique-t-elle que l'effet suive nécessairement la cause ? Les lois impliquent des conséquences nécessaires, l'idée de nécessité y est incluse. Carnap prête donc au métaphysicien l'affirmation selon laquelle la nécessité est un élément indispensable de tout énoncé relatif à la relation causale.

Pour un empiriste une loi est un énoncé conditionnel universel. Universel parce

²⁶⁸ FPP, p 188

qu'il exprime une généralité en matière de lieu et d'espace. Si P et Q sont des classes d'événements et x un point de l'espace-temps, une loi est de la forme,

(x) (Px =>Qx), quel que soit x, si P est réalisée, alors Q est réalisée.

Il est, dit Carnap, « certes difficile de voir là une interprétation vraiment satisfaisante d'une loi ». Passons rapidement sur le fait que l'énoncé conditionnel est vrai même si Q est faux, la formulation n'exprime que la succession de deux événements, l'expression 'la nuit tombe si on chauffe du fer le jour' est une loi selon cette définition. Il faut donc mettre quelque chose de plus dans la définition, ce que Carnap appelle un énoncé cognitif. Mais le contenu d'un tel énoncé est très difficile à définir et tout contenu comprend des éléments dont « l'existence est incontestable mais qui n'ont rien à voir avec la signification cognitive de l'énoncé²⁶⁹ ». Carnap prend l'exemple des deux témoignages suivants ;

- Par malheur le choc d'un camion a cassé la hanche de monsieur D.
- Je déplore que le choc d'un camion ait cassé la hanche de monsieur D.

Le deuxième témoignage qui reprend les mêmes faits que le premier sera un mensonge si le témoin n'éprouve aucune compassion. Cet exemple simple montre que « notre langue est régie par une grammaire dont les règles ne nous permettent pas de préciser ce qui, dans un énoncé, ne mérite pas d'être interprété en termes de valeurs de vérité²⁷⁰ ».

Ce problème est celui de l'expression de la forme (x) (Px =>Qx). Parler d'une loi de la nature c'est selon certains « exprimer davantage que la simple succession des deux événements », si le premier événement est apparu une loi doit stipuler que le second événement doit s'ensuivre. Il y a une connexion nécessaire entre P et Q, mais que veut dire 'nécessaire' ? Ce n'est sans doute pas une nécessité logique. Le logicien peut découvrir les lois de la logique à son bureau, une loi de nature est une régularité qui s'observe dans la nature. Le fer se contracte lorsqu'on le chauffe est une loi sans contradiction logique, elle n'est pas retenue car le phénomène n'a pas été observé dans la nature. Mais « puisqu'une loi affirme qu'une certaine régularité se manifeste en tout temps, elle ne saurait être définitive ». Le philosophe réclame que la loi dise, si « P se produit il est impossible que Q ne se produise pas. Il doit en être ainsi ; il ne peut en être autrement²⁷¹ ».

²⁶⁹ FPP, p 192

²⁷⁰ FPP, p 193

²⁷¹ FPP, p 194

Mais le physicien exprime-t-il quelque chose de différent ? À une liste de lois établies par le physicien I le physicien II ajoute « et cela nécessairement ». Nous aurons

Loi I, Phy I : $(x) (Px \Rightarrow Qx)$ Phy II : $(x) (Px \Rightarrow Qx)$ et cela nécessairement

Loi II, Phy I : $(x) (Rx \Rightarrow Sx)$ Phy II : $(x) (Rx \Rightarrow Sx)$ et cela nécessairement

Un test expérimental ne permettra pas de les départager s'il est positif. S'il est négatif les deux vont rechercher les données initiales qui leur ont échappé ou ils remettront tous deux en question la validité de leurs lois. Ayant le même énoncé sauf la mention de la nécessité, il y a une impossibilité qu'avec les mêmes données les lois fassent des prévisions différentes. La notion de nécessité n'apporte rien à la loi.

Carnap considère qu'il s'agit là de la position de Hume. Celui-ci n'aurait pas refusé la causalité mais simplement la nécessité. Aucune nécessité n'a jamais été observée, alors il ne faut pas la poser, cela n'ajoute rien à la précision des observations. Selon Carnap, Hume, même « si l'analyse de sa causalité manque peut-être de clarté... a raison pour l'essentiel²⁷² ».

Appelant en renfort les études sur la causalité de Mach, Poincaré, Russell et Schlick il conclut qu'un énoncé sur la relation causale est un énoncé conditionnel, « il décrit une régularité et rien de plus »

Carnap va essayer ensuite de distinguer la relation causale de toute autre relation. Dans la majorité des exemples il suffit d'examiner deux événements pour déterminer la validité de la relation supposée entre eux. Si un papier est dit plus sombre qu'un autre, une simple comparaison à la lumière permet de trancher. Ce n'est pas le cas pour la relation causale. En reprenant l'exemple de la pierre qui casse un carreau, nous attribuons à la pierre le rôle de cause car le cas nous présente une évidence tellement familière que les lois qui le régissent sont « tacitement admises ». On peut tirer sa certitude du fait que l'on n'a rien vu d'autre se diriger vers le carreau, mais cela soulève la question d'autres événements concomitants qui n'auraient pas été aperçus, quelqu'un, de l'intérieur de la maison, aurait pu le casser au même moment.

Un point essentiel selon Carnap est le suivant, soit que l'on pense avoir vu la

²⁷² FPP, p 196

totalité d'un événement, soit que l'on pense qu'il faille pousser les investigations, nous « allons toujours, pour la causalité, au-delà de l'examen du seul cas considéré ». Il n'est jamais possible d'affirmer une relation causale à partir d'un cas unique. La vision de phénomènes se succédant avec régularité depuis notre enfance font que des régularités s'imposent à nous. Le remplacement des vitres par des matériaux ayant les propriétés optiques du verre mais une plus grande résistance fera considérer, après de nombreuses nouvelles expériences, le bris d'une vitre par une pierre, que nous qualifions de causalité comme une étrange coïncidence.

Carnap estime qu'il y aurait intérêt à remplacer « le débat sur la signification de la causalité, par une enquête sur les différentes sortes de lois que l'on rencontre dans les sciences ». Il cite les travaux de Kelsen et ses études historiques du concept de causalité. Selon ce dernier, la régularité entrevue par les grecs dans les lois de la nature a dû leur sembler empreinte de la même nécessité que l'ordre moral qui devait gouverner les lois politiques. La régularité des lois naturelles était garante de l'harmonie de la nature, le chaud succédait au froid, un trop grand chaud produisait un très grand froid. Le désir d'harmonie aurait été à la source de l'idée de nécessité. Selon Kelsen, Héraclite disait que le soleil parcourait le ciel conformément à des mesures, les Erinyes se retourneraient contre lui s'il les transgressait. La régularité des lois s'interprète en termes d'obéissance.

Carnap comme Russell auparavant, se penche alors sur le principe selon lequel la cause et l'effet doivent d'une certaine manière être égaux. Il y a certes égalité de l'action et de la réaction dans les équations de la mécanique, mais ce n'est certainement pas généralisable, et si le principe « *causa aequat effectum* » « joue encore un grand rôle chez les métaphysiciens d'aujourd'hui » il n'en est pas moins complètement faux.

Un autre principe que l'on trouve dans des ouvrages de physique est « la nature ne viole jamais les lois ». Il est surprenant. Il laisse apparaître que la nature a reçu des lois qu'elle a le pouvoir de respecter ou d'enfreindre, mais que, en « citoyenne respectueuse » elle ne les viole jamais. L'expression est aussi dénuée de sens que de dire en utilisant le plan d'une ville « les rues désobéissent à la loi du plan » au lieu de constater que la carte est fautive. Ainsi les lois de la nature s'appliquent tant qu'elles correspondent aux phénomènes. Le jour où l'on constate un désaccord, il faut changer les lois.

Analyse :

Il est temps de confronter notre définition de la causalité aux critiques qui viennent d'être développées. Rappelons-la : « ce qui est désigné par cause (c) ou effet (e) n'est que la description de parties instantanées d'état de l'univers, reliées par une ou plusieurs lois ».

Elle répond à l'objection de Russell sur la nécessaire présence d'un intervalle de temps entre la cause et l'effet. Il n'est peut-être pas nécessaire de préciser dans la définition que la cause est antérieure à l'effet car il faut préserver la possibilité de découvertes de lois physiques rétroactive. Dans le cas d'un écoulement classique du temps la cause est antérieure à l'effet mais ici n'est considéré comme cause qu'une description instantanée. De fait il existe une cause de l'effet différente à chaque moment précédant celui-ci (ou le suivant si la physique dégageait une loi rétrograde). La partie de l'univers à envisager augmentant au moins aussi vite que le cône de causalité décrit précédemment (au chapitre sur la relativité) pour intégrer les interactions possibles.

Le problème des causes multiples est également réglé. La partie de l'univers relié à l'effet doit comprendre tous les objets qui lui sont reliés. Si le trottoir a été mouillé successivement par l'arrosage municipal et par la pluie, la gamme des causes comprendra selon l'instant considéré :

Le trottoir l'arrosage et la pluie

Le trottoir et l'arrosage

Au-delà de l'arrosage la cause englobe le trottoir sec, le planning d'arrosage municipal, la situation météo.

Il n'existe quasiment jamais de cause unique, la description inclus ce que l'on appelle les conditions de fond et les événements déclencheurs.

De fait la cause « n'explose » pas soudainement en effet. Notre définition donne, en accord avec Carnap, à la causalité un caractère de processus. La cause de l'existence d'une table à l'instant t comporte sa présence à l'instant $t-\Delta t$. Si nous prenons l'exemple de ce dernier celui de la pierre qui casse une vitre, filmé avec une caméra ultra rapide, puis projeté au ralenti l'on aperçoit bien la déformation progressive de la vitre, sa rupture et l'envol de nombreux fragments selon un processus sans interruption. Tous les mouvements sont autant que l'on puisse en juger, continus. Ce n'est pas à proprement parlé le caillou seul qui cause le bris de

Analyse :

la vitre mais la rencontre de sa quantité de mouvement avec une vitre.

Cette rencontre n'est pas instantanée, elle se décompose en déformation, fissure, cassure, projection d'éclats. L'effet vitre cassée n'est qu'une résultante d'un processus nécessitant une vitre.

L'objection de Carnap sur les lois non connues est pertinente. En l'absence de la connaissance de la loi applicable pour passer d'un état à un autre, il n'y aura selon notre définition pas de causalité. Cela n'est pas gênant en soi et plutôt bénéfique car cela supprime les causalités magiques et la possibilité de confondre causalité et corrélation²⁷³.

Les critiques de Carnap et de Russell ont surtout porté sur la nécessité. Ce concept n'apporte rien à la définition de la causalité. Même si Russell dans une œuvre ultérieure que nous aborderons tempère ses critiques sur la causalité, il ne reviendra pas sur ce point. Les lois de la nature n'ont dans notre définition ni à être nécessaires ni à être invariantes. Mais il faut reconnaître que nous avons en subsumant le concept de cause sous celui de loi, transféré la problématique de la cause dans celle de la loi. La loi n'est que la prise en compte de la succession de phénomènes qui se produisent toujours de façon concomitante, elle « décrit une régularité et rien de plus ». Même si elle permet la prévisibilité, si elle est décomposable en lois plus fines, si elle permet d'établir des rapports mathématiques entre les effets et les causes, elle ne saisit du réel que ce qui est mesurable et exprimable par une ou plusieurs fonctions mathématiques.

Les physiciens débattent de la possibilité de parvenir à une loi unique de laquelle découleraient l'ensemble des lois actuellement connues. Selon une phrase d'Hawking, en la mettant à jour nous découvririons « la pensée de Dieu »²⁷⁴. La formule est jolie. Supposons qu'un théoricien y parvienne, Il aura alors trouvé ce qui explique l'évolution de l'univers mais certainement pas pourquoi cette loi s'applique plutôt qu'une autre. Rien ne lui garantira que sa loi ne cessera pas de s'appliquer au moment où il l'aura découverte, la pensée de Dieu peut concevoir des vérités éternelles différentes dans des univers différents et même des vérités provisoires.

²⁷³ L'exemple célèbre est celui qui lie l'inverse du nombre des pirates au réchauffement climatique. Voir '*pastafarisme et causalité*' , <http://www.venganza.org/about/open-letter/>

²⁷⁴ Citation extraite de la dernière phrase de son ouvrage, « *une brève histoire du temps* » mais aussi prêtée à Einstein et à d'autres.

Il existe des lois permettant de relier un état de l'univers à un autre que certains refusent de considérer comme des vecteurs de causalité, deux exemples célèbres sont ceux du pendule et du gaz parfait.²⁷⁵ Une loi relie la période d'un pendule avec la longueur de son balancier, il est difficile de soutenir que faire varier la période va provoquer un allongement ou un raccourcissement du balancier, de même pour un gaz parfait le produit de la pression par le volume divisé par la température est une constante. Il s'agit d'une équation 'd'état' où causes et effets semblent confondus. Nous aborderons ces problèmes dans l'examen des autres définitions des causes données par des contemporains. Notons qu'ils ne remettent pas en question notre définition qui s'accorderait parfaitement avec l'existence de lois non causales. Elles ne seraient simplement pas utilisées.

Nous considérerons donc, pour l'instant comme justifiée notre définition d'une causalité objective. Nous allons nous pencher maintenant sur ce que nous avons appelé la causalité subjective, celle que nous employons tous les jours dans nos conversations habituelles, qui en procède mais qui poursuit d'autres buts.

Chronologiquement c'est la différence des approches qui nous a conduit à étudier la structure de la relation causale, la nature des relata qu'elle réunissait et en conclusion à parvenir à distinguer entre une causalité subjective et une causalité objective. Nous allons, dans les chapitres suivants, inverser notre démarche en étudiant les relata de la relation causale (événements, états, faits ou absences), les particularités qu'on lui prête, (fragilité, transitivité, etc.) afin de justifier notre choix en le confrontant dans une deuxième partie aux autres théories contemporaines.

²⁷⁵ Ils sont traités en annexe J

Analyse :

3.3 – Philosophie : Causalité subjective et causalité objective

Nous allons suivre le cheminement décrit précédemment. L'analyse de quelques controverses récentes sur les relata²⁷⁶ de la causalité ou sur la nature de leur relation, voire l'examen d'une nouvelle présentation du problème nous servira à montrer qu'il semble inutile de s'efforcer de donner une définition précise de la causalité subjective qui répond à d'autres buts que sa parèdre objective. Nous mettrons simultanément en évidence les éléments qui ont permis d'établir la définition de la cause objective que nous avons proposée en introduction.

La nature des relata causaux :

L'étude des relata causaux utilisera une méthode comparative et critique. A partir d'articles généraux mais bien documentés sur le sujet pour nous servir de base de réflexion, nous essaierons de conforter nos hypothèses. Il est normal de commencer par la nature des relata causaux. En effet que la causalité soit une relation ou un processus il faut connaître son domaine d'application avant de définir sa nature. Ce que nous allons tenter de mettre en lumière c'est qu'il existe déjà, au niveau des relata une ambiguïté fondamentale. Si les avis divergent quant à savoir si états, faits, situations ou événements sont à retenir, cela est dû en grande partie au caractère polysémique de ces concepts.

Nous nous servirons, pour soutenir cette partie, de l'étude de deux articles :

- L'un, ayant pour auteur Joanna Blochowiak, « *La relation causale, ses relata et la négation* »²⁷⁷, a été choisi en grande partie pour de sa clarté et parce qu'il est dû à une théoricienne du langage, donc ayant une approche un peu différente des philosophes qui y sont cités et parce qu'il mentionne très explicitement les théories qui ne sont pas en accord avec ce qu'il expose. Il met l'accent sur la signification des termes employés et aborde la notion d'intentionnalité. Il utilise les

²⁷⁶Relata, qui n'est pas un mot français sera employé au sens de ce qui est mis en relation dans une relation causale. Nous ne l'écrivons cependant pas en italique.

²⁷⁷ J. Blochowiak, in : *Nouveaux cahiers de linguistique française*, 2009, p 149-172, https://clf.unige.ch/files/2914/4102/7480/09_Blochowiak_nclf29.pdf

La nature des relata causaux :

ouvrages de Bennett²⁷⁸, et d'Armstrong²⁷⁹.

- L'autre de P. Menzies, « *a unified account of causal relata*²⁸⁰ » dans lequel il expose les positions de Donald Davidson et de Kim Jaegwon²⁸¹, respectivement tenants des événements ou des situations comme constituants principaux de la relation causale.

Nous aurions pu prendre pour introduction du débat qui s'amorce, une controverse contemporaine. En 1929 Marc Bloch et Lucien Febvre fondaient « la revue des *« annales d'histoire économique et sociale »* en réaction avec la conception événementielle de l'histoire de C. Seignobos et de E. Lavissee, obligeant alors à repenser les catégories historiques du fait et de l'événement. L'ancienne école promouvait la primauté de l'évènement dans sa singularité, son contraste et ses effets. La nouvelle ne l'étudiait que comme une résultante de situations antérieures, considérait que certes seuls les événements se passent à la surface mais que seules comptent les modifications lentes du fond qui conduisent à l'évènement. C'est *mutatis mutandis* la thèse Mme Blochowiak.

Les états

Mme J. Blochowiak considère que les éléments mis en relation dans une chaîne causale sont soit des événements, par exemple la chute de la pierre qui cause le bris d'une vitre, soit des états, soit des états de nature non dynamique, soit des faits caractérisés par leur nature abstraite, non spatio temporelle. Elle soutient l'opinion que les événements reçoivent une attention prépondérante dans la majorité des études sur la causalité, et envisage au contraire, d'établir la prépondérance de la notion d'état qui est un fait caractérisé par une certaine permanence.

Sa question principale, puisqu'il s'agit d'une théoricienne du langage est de construire un modèle de causalité qui puisse « représenter au mieux les phénomènes causaux du monde d'un côté » et « les différentes façons d'en parler » de l'autre rejoignant ainsi nos préoccupations. L'auteur admet, sans plus ample analyse, la

²⁷⁸ J. Bennet, *Events and their names*, Indianapolis, Hackett, 1988

²⁷⁹ D.M. Armstrong, *A world of states of affairs*, Cambridge, Cambridge university press, 1997

²⁸⁰ P. Menzies, *a unified account of causal relata*, Australasian journal of philosophy, 1989 67, 59-83
<https://www.mq.edu.au/public/download.jsp?id=63466>

²⁸¹ Donald Davidson, *Essay on actions and events*, Oxford, Oxford scholarship online, 2001

<https://www.oxfordscholarship.com/view/10.1093/0199246270.001.0001/acprof-9780199246274>

Kim Jaegwon, *Events and their descriptions : some considerations*, in *Essay in honor of Carl G. Hempel*, Reidel, Nicholas Rescher, 1969 <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-017-1466-2>

notion de réalité et considère que le langage « contrairement à une opinion tacite » ne décrit pas avec une grande précision la réalité causale. Cependant il ne serait pas sage de ne pas tenir compte des indices qu'il fournit. Ainsi le langage utilise souvent les états dans une relation causale plutôt que les événements. L'exemple qu'elle retient en début d'article, « les voitures sont bloquées parce qu'il y a de la neige sur l'autoroute » exprime bien une relation causale mais utilise un état, l'enneigement comme cause d'un autre état, l'immobilité. Pour étudier la distinction entre les événements et les états, elle utilise les quatre classes de verbe définies par Vendler (état, activité, accomplissement et achèvement). Les verbes d'achèvement, d'activité ou d'accomplissement représentent des événements, les verbes d'état excluent toute progression entre leur *terminus ad quo* et leur *terminus ad quem* ils expriment des états ou des faits.

Approfondissant cette classification, J. Blochowiak, note que les états ne satisfont généralement pas aux caractères demandés de non dynamicité (sic) et de non bornage qui devraient les définir et qu'ils peuvent entraîner seuls des modifications. Elle utilise un autre exemple, celui d'un homme ayant une attaque cérébrale à cause d'un état de stress permanent, il est probable que son stress a déclenché d'abord d'autres pathologies, irritabilité, asthénie, etc... Il s'agit selon elle d'un cas type de causalité entre états. Il en est de même lorsque la baisse de la pression atmosphérique provoque un mal de tête. L'état caractérisé par « la pression atmosphérique est basse » est homogène, il dure dans le temps et il est ni dynamique ni borné, son caractère statique devrait potentiellement ne lui donner que peu de chance de jouer le rôle causal que cependant beaucoup ont expérimenté. La notion d'état est de plus seule à même d'expliquer la transitivité de la relation causale. Lorsque celle-ci considère des événements très distants dans le temps, l'état remplissant les intervalles temporels est l'effet du premier événement et la cause du second. Considérant la notion d'événement, J Blochowiack est conduit de par la complexité qu'ils présentent souvent, à introduire la notion de sous événement. Il en existe qui doivent être obligatoirement simultanés pour produire leurs effets, elle donne l'exemple des dispositifs de sécurité construits sur ce modèle, mais elle juge plus intéressantes les chaînes causales où les sous événements doivent se succéder, pour que la relation causale soit effective. Les sous événements sont alors nécessaires mais ils ne se comportent pas comme s'ils étaient dans une relation

causale simple. Ils forment une chaîne de « conditionnements successifs » dans lequel l'ordre temporel ne joue pas obligatoirement un rôle déterminant. Si on prend pour exemple la séquence où le Docteur No drogue J. Bond en mettant un narcotique dans sa tasse, le café peut être versé avant ou après la drogue. Les deux maillons nécessaires, café et drogue ne sont pas dans une dépendance temporelle, ils doivent simplement être réalisés avant que Bond ne boive le contenu de la tasse. Mme Blochowiak est conduite alors à distinguer entre relation de conditionnement et condition nécessaire. Ces dernières sont nécessaires mais ne « causent pas l'effet à proprement parler », la tasse et le café sont dans ce cas. Elles n'ont pas un caractère d'événement, avoir une tasse et du café est en général « ce que l'on assume comme une situation normale », posséder un narcoleptique le serait moins, mais portant il est facile de passer d'une description d'événement, le docteur No a acheté un narcoleptique à une description d'état, le docteur No possède un narcoleptique. De la possibilité d'employer soit l'événement soit l'état qu'il génère, J. Blochowiak conclut qu'ils peuvent être employés indifféremment dans les relations causales mais que si « nous parlons d'événements c'est parce qu'ils sont responsables de changements d'états ²⁸² ». L'état demeure la véritable entité conditionnant un « effet causal ». Mais elle remarque qu'elle a surtout posé le problème de la granularité des événements complexes.

Commentaires

Notons de suite que la classification de Vendler a été beaucoup critiquée car les recouvrements possibles sont trop nombreux. Elle laisse également trop d'incertitude. Quel est *le terminus ad quo* d'un enfant, le moment de sa conception, celui de sa naissance, ou celui que caractérise un certain état de l'embryon ? Il ne semble pas y avoir de classification absolue.

Les exemples retenus par J. Blochowiak sont susceptibles d'interprétations différentes. L'état de stress qui cause une attaque cérébrale en fait partie, ce peut être une corrélation, il est parfaitement admissible de supposer une cause commune au stress et à l'attaque. Une quelconque déficience en une substance agissant dans le cerveau peut être soulevée par un spécialiste. Le deuxième exemple sur les maux de tête conduit à remarquer qu'ils résultent sans doute de l'application prolongée d'une pression et qu'ils ne sont pas apparus en même temps qu'elle. Elle peut

²⁸² Blochowiak, p 158

provoquer progressivement un resserrement des vaisseaux sanguins qui va provoquer par un mécanisme encore plus subtil l'apparition du mal de tête. L'état de mal de tête n'apparaît qu'après deux événements dont le second peut être du type des transmissions neuronales²⁸³. Certes l'existence d'un état est objective dans sa constatation « la pression atmosphérique est élevée, » mais il n'est que le résultat de l'évolution d'états précédents, où est mesurée seulement une variable ayant un caractère statistique. La pression n'est que la résultante des mouvements d'un très grand nombre de particules de gaz de l'atmosphère.

L'exemple des voitures bloquées par la neige est plus convaincant, mais il peut se formuler différemment : « La chute de neige exceptionnelle de cette nuit et l'absence de déneigeuses ont provoqué l'immobilisation des véhicules ». Juste pour montrer la difficulté, nous avons là un événement et un non-événement présentés comme causes d'un changement d'état (passage du mouvement au repos). L'exemple peut se formuler également selon : « La chute de neige exceptionnelle de cette nuit et la température trop froide ont provoqué l'immobilisation des véhicules », où nous trouvons un événement et un état cause d'un nouvel état.

Les événements et les situations

Dans l'article que nous avons retenu, P. Menzies expose avant de définir la sienne, les positions de Donald Davidson et de Kim Jaegwon, tenants nous l'avons dit, des événements ou des situations comme constituants principaux de la relation causale.

Dans son énumération des relata possibles Menzies retient outre les situations qu'il définit comme « la dénotation d'une certaine classe d'énoncés vrais », les objets physiques, les événements, les états de choses, les faits et les aspects liés aux événements²⁸⁴. Il note en préambule qu'événements et situations se réfèrent à des caractéristiques réelles du monde bien qu'ils en soient catégoriquement différents, ils « dépendent ou parasitent les objets en ce sens qu'ils n'existeraient pas s'il n'y avait pas d'objet »²⁸⁵. Il considère que les événements sont des changements tandis que les situations n'en sont pas, et il accorde une durée à l'événement tandis que le changement est instantané, l'événement est donc une succession continue de

283 L'auteur n'est pas spécialiste des questions médicales.

284 P. Menzies, « physical objects, events, states of affairs, facts, and even aspects » p 59

285 *Idem*, p 60

changements.

- Il suggère de traiter à part les objets physiques car les nominaux des phrases causales se rapportent aux événements ou aux situations et l'objet n'est pas utilisé pur dans une phrase causale, ce sont ses propriétés qui le rendent ou non causal.

- Il considère, puisque certains philosophes (Dretske²⁸⁶, Sanford) admettent que les nominaux comportant des adjectifs ou des adverbes qui en renforcent le sens sont à classer à part comme « aspect d'événement », qu'ils doivent être conservés comme possibles relata causaux.

Il va examiner successivement les relata possibles retenus ;

a) Il réfute que les faits puissent être mis au compte des relata causaux pour plusieurs raisons :

Les faits sont mal définis, même en ignorant les faits mathématiques ou moraux, ils ne semblent pas avoir de localisation spatiale ou temporelle.

Partant de la réunion de trois entités qui existent, être premier ministre de l'Australie, Bob Hawke et 1975, Menzies constate qu'elle constitue une « situation abstraite » mais non un fait. Bob Hawke n'est pas le premier ministre de l'Australie en 1975. Ce n'est pas un fait parce qu'il n'est pas corrélé à une situation existante. Une déclaration de causalité générale sur des faits du type « la gale du chien lui cause des démangeaisons » n'est une déclaration de causalité que parce qu'elle est corrélée à une situation où la gale provoque la démangeaison d'un chien.

b) Il montre que la catégorie des aspects d'événements est soit insignifiante, soit assimilable à celle d'événement pur. Si selon son exemple des taches apparaissent sur la peau de Flora parce qu'elle s'est essuyée avec une serviette, qu'elle ait utilisé une serviette épaisse ou rugueuse n'a pas d'importance. Supprimer un adjectif n'enlève pas à l'efficacité de l'événement décrit. Mais si c'est parce que la serviette était rugueuse que les taches sont apparues sur la peau de Flora, alors s'essuyer avec une serviette épaisse et s'essuyer avec une serviette rugueuse constituent de par la différence des effets, deux événements distincts et sont donc compris dans la même catégorie, celle d'événement.

c) L'événement considéré selon Davidson cité par Menzies, n'a pas besoin d'être décrit parfaitement. Plusieurs descriptions conviennent à un même

²⁸⁶ Fred Dretske, *Contrastive Statements*, Philosophical revue 81, 1977 p 411-437, citation de Menzie, non vérifiée.

événement. Mais cela est difficile à soutenir sans contradiction car changer « une description par une autre peut changer la valeur de vérité d'une phrase. La lumière a été allumée parce qu'un cambrioleur avait pénétré » dénote une autre relation causale que « la lumière a été allumée parce que j'ai appuyé sur l'interrupteur²⁸⁷ ». Davidson a cependant tenté d'explicitier ce qui, dans les descriptions, pouvait créer une différence de rapport de causalité, mais selon Menzies, il induit ce faisant une circularité. Lorsque Davidson utilise des exemples qui se réfèrent clairement à des états plutôt qu'à des événements « le mauvais état du barrage a provoqué l'inondation » il considère qu'il ne s'agit pas de la mise en évidence d'un lien causal mais d'une explication. Ce que conteste Menzies soutenant avec Mellor²⁸⁸ que causalité et explication causale sont étroitement liées, même si ce ne sont pas la même chose, il existe des explications sans causalité, mais on suppose en général qu'une cause explique son effet.

d) La situation est, toujours selon Menzies, pour Jaegwon Kim, une dénotation d'une certaine classe d'énoncés vrais qui constitue l'élément de base de la relation causale. Il note $[F_n, x_n, t]$ ce qu'il appelle une représentation atomique dans laquelle F est une relation entre n constituants x , et t l'indication de temps. Cette représentation peut être considérée comme faisant partie de la théorie des ensembles ou, ce que propose Menzies, comme une situation réelle. Car si $[F_n, x_n, t]$ est une description du monde il est évident qu'une telle 'situation' contient les événements et les états. Si $[F_n, x_n, t]$ est un élément de la théorie des ensembles, en tant qu'entité abstraite, il n'est pas « un des traits occurrents du monde possédant un emplacement spatio-temporel déterminé », il se rapproche alors, toujours selon Menzies, de la notion de fait qu'il recouvre.

Notons que la dimension spatiale de la 'situation' résultera de la description des x_n , tandis que la variable temporelle est précisée à part. les n objets doivent avoir le même référentiel de temps t , une 'situation' est instantanée.

Commentaires

Nous ferons une analyse détaillée plus loin. Notons toutefois qu'à partir de changements instantanés il est impossible de construire, en les plaçant l'un derrière l'autre, la durée d'un événement. Pour créer un événement il faut associer des

²⁸⁷ P. Menzies, *a unified account of causal relata*, Australasian journal of philosophy, 1989 67, p 63

²⁸⁸ D.H. Mellor, *The Singularly Affecting Facts of Causation* in P. Pettit, R. Sylvan, and J. Norman *Morality & Metaphysics: Essays in Honour of J. J. C. Smart*, Oxford, Basil Blackwell, 1987

événements possédant en eux même une durée. Car entre deux événements dont on connaît l'instant, il est toujours possible d'intercaler autant d'instant, donc d'événements que l'on désire, c'est une des remarques de Russell.

La fragilité des événements

Nous examinerons plus loin l'article de J. Schaffer consacré à la présentation contrastive de la causalité²⁸⁹. Elle consiste fondamentalement à remplacer la question « qu'est-ce que le (c) qui a causé (e) ? », par « pourquoi (c) plutôt que (c') a causé (e) plutôt que (e') ? ». Mais comme il pose également le problème de ce qu'il appelle la fragilité des événements, nous l'aborderons ici, sur cet aspect uniquement. Pour répondre à la question, « *How fragile are events ?* » Schaffer retient l'exemple du bris d'une vitre. Aurait-il pu survenir de différentes façons et à différents moments et être considéré pourtant comme le même événement ? La vitre brisée par un caillou sur lequel adhère un brin de poussière est-elle le même événement que s'il n'y avait pas le brin de poussière dont la masse contribue très faiblement à la brisure.

Il distingue quatre raisons de nier la fragilité :

Elle est contre intuitive, si je me suis coupé les ongles, je reste moi-même, je compte pour le même individu.

Le grain de poussière ne casse pas la vitre, pas plus que le bruit provoqué au même moment par le promeneur qui passe.

La fragilité classe mal les événements retardateurs, les efforts d'un médecin pour le garder en vie ne peuvent être pris en compte dans la mort d'un patient.

Si « presque (c) » et (c) produisent les mêmes effets, il est plus pertinent d'étudier les conséquences de non (c) plutôt que celles de « presque (c) ». C'est-à-dire d'envisager plutôt ce qui se serait passé en l'absence de (c) qu'en la présence d'un événement similaire.

Mais il y a trois raisons d'accepter la fragilité des événements :

La fragilité révèle l'impact des traces, certes le grain de poussière ne brise pas la vitre mais il y contribue, et la roche elle-même n'est qu'un agrégat de grain de poussière, les roches entières génèrent-elles des pouvoirs causaux émergents ?

²⁸⁹ Jonathan Schaffer, *Contrastive causation*, *The philosophical review*, Duke university press, Durham (U.S.) Vol 114, N°3, juillet 2005. Toutes les citations de Schaffer sont tirées de cet article.

La fragilité compte les événements qui accélèrent les processus. Si un poison est amplifié par un catalyseur celui-ci est bien cause du décès, mais il faut noter que sans lui le décès serait tout de même survenu.

La fragilité donne enfin la seule vision fondamentale de la causalité. Lorsque la contre factuelité distingue si un événement (c)' proche de (c) implique (e)', elle a besoin de la fragilité qui fournit une distinction de principe selon qu'un événement est présent ou absent, celui qui distingue (c) de (c)'. Il note que Lewis a bien aperçu un des aléas de cette distinction, l'impossibilité d'effectuer une mesure précise du retard et du changement qui distinguent deux événements différents de deux versions différentes du même événement.

Commentaires

La définition d'une causalité objective doit pouvoir éviter les problèmes liés à la fragilité qui sont *mutatis mutandis*, ce que nous avons déjà abordé comme « aspect d'événements ».

Les tropes

Un trope est une particularité particulière, « une propriété individuelle concrète²⁹⁰ ». C'est par exemple le rouge d'un cahier, c'est en le percevant que l'on peut dire que le cahier est rouge. Concret étant défini par F. Nef comme ayant un pouvoir causal, le trope est le relata unique de la causalité. « C'est le trope de cette usure de cette corde qui cause sa rupture ». Les tropes en tant qu'éléments des objets constituent l'alphabet de l'être, expression que l'auteur attribue à J. Bacon.

Il existe trois descriptions possibles de l'usure de la corde selon F. Nef qui note que cet exemple qui touche les choses simples, montre surtout l'extension possible de la métaphysique vers les situations courantes.

Pour un objectualiste (sic) il y a une chaîne causale entre événements, celui qui fait passer de la non usure à l'usure et celui qui fait passer de l'usure à la non continuité des brins.

Pour un meinongien²⁹¹ les objets incomplets interviendront dans la relation causale. C'est-à-dire une corde réduite à sa simple propriété de résistance à la traction, seul paramètre pris en compte, il est inutile de savoir si elle est de chanvre

²⁹⁰ Frédéric Nef, *Les propriétés des choses, expérience et logique*, Paris, Vrin librairie Philosophique, 2006, p 41 et sq

²⁹¹ Qui suit les thèses de Alexius Meinong (1853,1920) auteur d'une théorie de l'objet.

ou de nylon.

Pour un tropiste²⁹² (sic) le trope de l'usure de cette corde là est la cause du trope de la rupture de ses brins.

L'analyse par trope fournit un possible composant ontologique (si celle-ci en a besoin, ce qui n'est pas certain), à la mécanique quantique qui a, selon F. Nef, détruit les concepts d'objet et de substance.

Commentaires

Introduire les tropes oblige à refuser la notion du même. Il faut distinguer entre deux tropes qui sont une instanciation de la même propriété (la masse par exemple) par des objets semblables, la chute de deux billes sphériques de même matériau et de même volume au même instant. Cependant le trope conserve la notion de propriété, un des tropes du cahier, c'est le rouge de ce cahier, il n'est pas évident que la notion de propriété, en tant que prédicable à quelque chose, soit à conserver pour la mécanique quantique.

Pour la causalité objective l'apport de la notion de trope est important en ce qu'elle permet de ramener l'objet à la seule propriété de l'objet qui intervient dans la relation.

La causalité des absences

L'article de J. Schaffer déjà cité pose également le problème de la causalité des absences que nous nous devons d'aborder tant leur usage en tant que relata pose problème

L'exemple type retenu est celui, quasiment canonique, de l'absence d'arrosage par un jardinier qui cause la mort de ses fleurs. Schaffer distingue quatre raisons de considérer une absence comme causale :

Elle est intuitivement acceptable.

Elle joue un rôle prédictif et explicatif des effets.

Elle joue un rôle moral et juridique ainsi un père qui ne nourrit pas ses enfants est légalement responsable de leur état.

Elle constitue un lien de causalité par déconnexion, l'arrêt de la circulation sanguine lorsqu'elle est permanente, provoque bien la mort.

Mais il y a également trois raisons de refuser la causalité aux absences.

²⁹² Le qualificatif est dans l'ouvrage, en fait tout ce paragraphe en est une citation plus ou moins directe.

- Certaines absences sont intuitivement inacceptables, ainsi en est-il de l'affirmation : « le fait que la reine d'Angleterre n'arrose pas les fleurs provoque leur mort »

- Le problème théorique des « nominaux négatifs » qui se décompose en trois cas :

Un fait non réel, il n'y a pas eu d'arrosage, ce dernier n'était que « simplement possible ».

Un fait réel, la non réussite de l'action d'arroser, un robinet fermé, un tuyau coupé.

Un événement réel, la sieste du jardinier au moment où il aurait dû arroser les fleurs. (Fait et événement sont employés sans distinction).

Les deux premières options semblent impliquer la possibilité d'action pour des événements non advenus la troisième est telle que la cause invoquée (sieste) peut être remplacée par n'importe quoi (accident de voiture). Il n'y a pas de flux d'énergie reliant les absences à leurs conséquences. Cela permet à Schaffer de dire que « la causalité des absences est métaphysiquement odieuse »²⁹³, il note que Hall pense que la causalité des absences viole la continuité spatio-temporelle de la causalité des phénomènes ordinaires. Il constate que, puisque l'intuition accepte certaines absences comme causales alors qu'elle en rejette d'autres, la causalité des absences est théoriquement problématique. Il soutient que la présentation contrastive²⁹⁴ résout le paradoxe en énonçant les nominaux négatifs comme des faits réels, « la sieste du jardinier (c) plutôt que l'arrosage de mes fleurs (c'), a fait flétrir mes fleurs (e) plutôt que de les faire fleurir (e') ». Le correctif consiste « à comprendre que des affirmations négatives sont des façons de décrire le monde », la description contrastive « localise l'élément tonique²⁹⁵ » car lorsque (c) et (e) ne sont pas directement connectés (c') et (e') le sont. Toutefois elle est insuffisante dans le cas des affirmations contre-intuitives, comme celle de l'inaction de la reine d'Angleterre.

Commentaires

Le terme absence qui marque ici l'événement non réalisé devrait être précisé à

²⁹³ p 300

²⁹⁴ La présentation et la défense de la causalité contrastive sont les objets de son article

²⁹⁵ Traduction de *oomph*.

La nature des relata causaux :

la lumière de l'essai de Kant sur *L'introduction en philosophie de la notion des quantités négatives*²⁹⁶ l'absence y est considérée soit comme un manque, soit comme une privation. Lorsqu'un corps, capable de mouvement est en repos, il s'agit d'un manque, une de ses potentialités n'est pas exercée. Mais lorsqu'un corps en mouvement passe au repos, cette négation est la conséquence d'une opposition réelle et Kant la nomme privation.

Dans le cas d'une privation, le blocage d'un robinet ou la fatigue qui cause l'indisponibilité du jardinier, il y a une cause réelle qui agit et il n'est pas besoin d'une présentation contrastive. Pour retrouver la causalité duale il suffit de la mentionner.

Dans le cas d'un manque, la Reine d'Angleterre qui n'arrose pas des fleurs, Kant note le caractère purement logique du manque, il n'a pas d'effet réel, donc il n'a pas à être retenu comme cause.

L'exemple choisi peut mettre en œuvre la volonté du jardinier, il peut choisir de faire autre chose qu'arroser des fleurs. Cette volonté peut être supposée libre et Kant note que le propre de la liberté est de pouvoir initier des chaînes causales. Le jardinier n'a pas voulu arroser des fleurs, cela a nui à leur épanouissement, nous sommes dans le cas d'une privation. Dans le cas où la liberté du sujet est niée, où son comportement n'est que la conséquence de la chimie de son cerveau, nous sommes ramenés à une chaîne de causalité classique, le niveau d'une endomorphine conduit le jardinier à faire un jogging au lieu d'arroser.

Madame Blochowiak utilise dans son approche de la causalité des absences l'exemple suivant : « Jean est parti de la fête parce que Marie n'est pas venue ». Elle ne dépasse pas l'analyse de Kant mais s'interroge sur notre propension à faire « volontiers appel aux descriptions négatives des événements ». En remarquant que ce n'est pas Marie, mais l'absence de Marie qui est la cause du départ de Jean, elle note que la description négative « préserve la possibilité de retrouver un agent responsable », replaçant ainsi la causalité des absences parmi les causalités subjectives.

²⁹⁶ Emmanuel Kant, *Essai sur l'introduction en philosophie de la notion des quantités négatives*, traduction Tissot, Ladrangé, 1862, https://fr.wikisource.org/wiki/Essai_sur_l'introduction_en_philosophie_de_la_notion_de_quantités_négatives.

Analyse

J. Schaffer note que ses thèses pourraient être soutenues par Davidson²⁹⁷ car ce dernier considère également que les nominaux négatifs sont des événements à granularité grossière et que la notion de fragilité doit être associée aux événements qui doivent « avoir des profils modaux laxistes ». Mais il note également que ses thèses ont été contestées. En objectant sur la causalité des absences et sur leur caractère non événementiel Mellor²⁹⁸ peut déduire que les termes causaux sont des faits. Tous les autres critères, nous l'avons vu précédemment peuvent également être contestés. Nous allons tenter une mise en évidence plus détaillée de la polysémie des notions de faits, d'état et d'événements qui aura pour but de montrer que l'usage de la caractéristique majeure de l'un ou de l'autre des concepts répond fondamentalement au désir d'exprimer une des facettes de la causalité.

Les faits

La notion de fait souffre de ce que son sens premier incluait l'objectivité, le fait était ce qui a été établi. Puis il a inclus la contingence, le fait s'opposant aux idées qui décrivaient des relations nécessaires. La géométrie présente un caractère nécessaire, les relations du triangle rectangle dans un espace euclidien sont vraies même s'il n'existe pas de triangle réel, ce qu'on ne peut dire des choses de fait, « *matters of fact* » chez Hume. La proposition « Le soleil se lèvera demain » exprime une contingence, cela pourrait, sans contradiction logique, ne pas être vrai. Le fait est également considéré comme une relation, Kant est un homme, pas un fait et la critique de la raison pure n'est pas un fait, mais un livre. Que *La critique de la raison pure* ait été écrite par Kant est par contre un fait, il exprime la relation entre deux choses. Mais dans ce sens le fait est aussi un événement si on rajoute la date et le lieu. La philosophie contemporaine s'est également livrée à une critique des faits, ceux-ci, y compris les faits scientifiques, sont apparus comme construits. Les faits sont mesurables mais ce qui est mesuré est difficilement concevable autrement que comme le paramètre d'une théorie sous-jacente élaborée par la raison. Les faits semblent également difficilement discernables : Dans l'étude d'une relation complexe que faut-il retenir comme faits distincts ? Si je fais cuire un gâteau une demi-heure, les deux quarts d'heure de cuisson sont-ils des faits

²⁹⁷ D. Davidson, *Essays on actions and events*, Oxford, Clarendon Press, 1980,

²⁹⁸ D. H. Mellor, *The Facts of Causation*, Londres, Routledge, 1995

distincts ? Il se passe pourtant en ces périodes des choses différentes. Notons que la réussite du gâteau sera pour moi, mauvais cuisinier par essence, un événement. Le rapport entre le fait et la proposition qui l'exprime est également problématique le fait se devant d'être vrai, la proposition relative au même fait pouvant être vraie ou fausse.

Ce qu'est un fait reçoit cependant deux interprétations majeures :

- L'interprétation propositionnelle selon laquelle un fait est une proposition vraie. Les faits sont individualisables tout autant que les propositions le seront. Mais les faits ne sont pas mondains, ils peuvent exprimer une vérité datable et situable « Kant a publié la critique de la raison pure en 1781 à Riga » mais ils ne se situent évidemment pas à l'endroit de la relation qu'ils expriment. Ils sont « about zones » alors que les événements seront « in zones »²⁹⁹.

- Le fait n'est pas une proposition mais n'importe quelle entité extérieure à la proposition vraie qui la rend vraie, les faits sont les situations d'états de choses ou les exemplifications de propriétés ou des tropes, bref tout ce qui peut rendre vraie une proposition vraie³⁰⁰. Quoique au moins un des tenants de cette position considère qu'elle n'est pas exclusive de l'autre ; Meinertsen défend l'individualisation fine des événements de Kim contre les objections de Bennett mais est d'accord avec ce dernier pour dire que l'individualisation « est trop fine pour fournir une description de notre pensée et de notre discours ordinaires, y compris les déclarations de cause à effet.[...] il faut distinguer deux sens différents de «fait»: le terme peut signifier à la fois une proposition vraie et une situation (faiseur de vérité) [...] Bennett semble considérer que les faits au premier sens sont des relata causaux ». Meinertsen soutient que ce point de vue équivaut soit à un irréalisme causal, soit à un mélange d'épistémologie et d'ontologie.

Cependant un fait est également une relation établie, considérée comme constante entre deux entités de nature abstraite. Dans ce cas le fait comporte à la fois les relata et le mode de liaison, il se rapproche très fortement d'une loi de la nature, « c'est un fait que dans un champ de gravitation, tous les corps tombent à la même vitesse ». L'équivalence de la matière et de l'énergie est un fait, exprimé par une loi et constaté par l'expérience.

²⁹⁹ B.R. Meinertsen, *Events, facts and causation*, Poznan studies in the philosophy of sciences and the humanities 76: ,2000, p 166 <https://philpapers.org/go.pl?id=MEIEFA-2&aid=MEIEFA-2.1>

³⁰⁰ *Idem*, p 145-182.

Les événements et les états

Pour ces deux notions, nous proposerons d'abord des définitions simples et consensuelles, contenant a priori que peu d'équivoque, afin de montrer qu'il suffit d'une analyse relativement superficielle pour en montrer les contradictions. Soient les définitions suivantes :

- Un état est la persistance à la même valeur, selon l'échelle retenue par l'observateur, dans une zone spatialement définie, d'un ensemble de propriétés caractéristiques de cette zone.

- Un événement est la période pendant laquelle change une ou plusieurs des propriétés de l'état.

Nous avons vu qu'au niveau le plus fin de la description il n'y a pas d'état stable ni de mesure absolument précise, nous considérerons cependant que les variables décrivant l'état peuvent fluctuer à l'intérieur d'un intervalle dépendant de la taille de la zone considérée. La mer est calme signifie que les vagues sont inférieures à soixante centimètres, l'atome n'est pas excité signifie qu'il ne rayonne pas mais pas l'arrêt des interactions entre le noyau et les électrons.

Les définitions proposées s'appliquent aux phénomènes, en toute rigueur aux modèles que nous proposons de ces phénomènes, comme les définitions de la chose en soi ne nous sont pas accessibles, l'intérêt des modèles est qu'ils induisent une restriction particulière de la zone et un choix des propriétés retenues comme significatives.

Un événement ne peut se produire qu'à l'intérieur d'un état. Un événement sera caractérisé par sa date de début et sa durée. Il peut y avoir théoriquement des événements instantanés (changement), un état limite de durée nulle est équivalent à un événement, mais un événement qui dure est assimilable à un état. Contradictoirement pendant la durée de l'événement, une au moins des propriétés de l'état doit être en évolution constante, donc il n'y a pas d'état pendant un événement. La révolution française est un événement d'une certaine durée, faisant la transition entre deux états, l'ancien et le nouveau régime, mais la révolution maoïste pouvait être qualifiée de permanente. La désintégration d'un atome est un événement (de durée nulle ?) transition entre deux états. Cependant un événement qui fait varier un des paramètres d'un état ne conduit pas nécessairement à un autre état, la fronde des parlements en France, événement ponctuel et récurrent se situe

toujours dans l'ancien régime.

Les états et événements englobent les faits à l'exception des faits conceptuels, car les faits, lorsqu'ils concernent une relation établie entre une entité concrète et une propriété permanente, « ce mur est rouge » sont équivalents des états. Lorsqu'ils comportent des précisions spatio-temporelles, « César a franchi le Rubicon le 11 janvier 49 avant J.C », ce sont des événements.

Pour achever si cela est possible de brouiller les distinctions, prenons un texte de J.S. Mill.³⁰¹ « Ce qui, dans cet exemple (manger un mets qui provoque la mort) , déguise l'incorrection de l'expression, c'est que les conditions diverses du phénomène n'étaient pas, sauf l'action de manger du mets, des *événements* (c'est-à-dire des changements ou des successions de changements instantanés), mais des *états* plus ou moins permanents et qui pouvaient, par conséquent, précéder l'effet pendant un temps indéfini faute de l'événement qu'il fallait pour compléter l'ensemble de conditions requis ; tandis que si tôt que cet événement, l'ingestion de l'aliment, a lieu, il n'y a pas d'autre cause à attendre, et l'effet se produit immédiatement » .

En partant de définitions qui se sont voulues le plus consensuelles possibles ces quelques remarques montrent que ce sont les particularités que le discours veut mettre en avant lorsqu'il décrit une situation qui gouvernent la façon dont les relata utilisés seront considérés. Dans l'exemple de J.S. Mill il est évident que l'action de manger ou boire peut être un événement, ainsi de Socrate buvant la ciguë, ou un état celui dans lequel se mettent les personnages du film « La grande bouffe ». L'effet est le même dans les deux cas. D'ailleurs, par excellence, la mort est un état ou un événement selon la façon dont on la considère.

Les objets

Il semble obligé, pour des raisons de réalisme, de conserver la notion d'objet dans les relata causaux. Si un astéroïde (gros) percute la Terre, il sera difficile de ne pas soutenir qu'il n'y a pas d'objets dans les relata causaux. La définition de l'objet sera cependant très proche de celle d'état, l'objet étant défini par ses constantes (masse, vitesse) mais l'événement sera décrit dans une phrase semblable

³⁰¹ J.S. Mill, *Système de logique déductive et inductive*, traduit par Louis Peisse, Librairie philosophique de Ladrange, 1865. LIII, CH 5 §3 http://classiques.uqac.ca/classiques/Mill_john_stuart/systeme_logique/livre_3/systeme_logique_3.html, UQAC

à : « Une météorite provoque un gigantesque cratère au Yucatan ». Ici encore l'intention du discours sera prépondérante, entre dire un événement catastrophique ou un état permanent « la terre reçoit plus de cent mille tonnes de météorites par an³⁰² »

Synthèse

La proposition de Jaegwon Kim, malgré sa formulation abstraite, est très proche de notre définition de la causalité objective. F_n étant interprété comme l'ensemble des lois qui lient deux descriptions du monde comportant les éléments x_n . Ceux-ci étant des « parties de l'univers » leur qualification est indifférente. En rangeant événements et situations dans une sous classe des situations, Menzies ne fait qu'une partie du chemin, pourtant sa réfutation du fait place les faits non mathématiques ou moraux également dans la même sous classe. Au fond s'il y a tout dans les situations (sauf les absences), alors il est évident que les situations sont l'unique objet des relations causales. C'est la modalité de la description de la partie de l'univers qui va induire une des distinctions entre les causalités subjective et objective.

Les relata de la causalité subjective

Nous avons vu le caractère subjectif de la causalité des absences, particulièrement dans le cas du manque et la polysémie des notions de fait, événement, état, etc... Nous en concluons que la causalité subjective peut utiliser, et utilise effectivement l'ensemble de ces relata. Elle se sert en réalité des situations au sens juste défini plus haut, y rajoute les absences et modifie le tout par ajout, suppression ou extension temporelle pour les rapprocher, selon ce qu'elle veut exprimer, des états, des événements ou de tous les autres relata possibles que nous avons examinés.

La discussion précédente montre en effet :

Qu'il n'y a pas, émergeant de la réflexion sur les relata causaux, de frontière établie entre les approches épistémologiques et ontologiques, il est possible sans doute d'opposer 'expliquer' et 'donner la cause' mais cette distinction n'est pas recevable,

Que le grain de la description dépend fortement du niveau épistémologique

³⁰² Le chiffre communément admis est entre cent et deux cent mille tonnes.

choisi. L'enneigement de l'autoroute est une description suffisante pour expliquer l'arrêt des véhicules. Les relations décrivant les variations d'adhérence en fonction de la température, de la nature des surfaces en contact et de la vitesse ne seront utilisées qu'au niveau des laboratoires des constructeurs de pneumatiques. Un état épistémologiquement utilisable à une échelle ne le sera pas à une autre mais plus l'échelle est grande, plus le grain est grossier, plus il englobe comme connus les résultats des descriptions plus fines.

Que si le locuteur veut mettre en avant un caractère d'imprévisibilité, d'émergence, de variation brusque dont les conséquences lui semblent importantes, il présentera le relata utilisé comme un événement. Il le présentera ainsi également pour en souligner le caractère localisé.

Que si par contre il veut souligner l'évolution lente ou l'absence d'évolution, et le caractère déterministe de ce qu'il décrit, il utilisera la notion d'état.

Que pour exprimer une causalité d'évidence qui ne lui semble pas sujette à discussion le locuteur utilisera plus facilement les faits ou les objets, il semble qu'il y ait un rapport entre le grain de la description et la hauteur de l'évidence, celle-ci dispensant d'aller dans le détail des sous événements.

Que la causalité des absences est majoritairement utilisée pour souligner une responsabilité. La volonté humaine étant supposée libre, elle ne rentre pas dans une chaîne causale. Donc elle ne peut être reliée à aucun de ses antécédents positifs. Ses effets surgissent ou ne surgissent pas, c'est lorsqu'ils ne surgissent pas alors qu'ils sont raisonnablement attendus, ou simplement souhaités que la présentation causale utilise une « absence ».

Que le discours utilise deux causalités des absences, l'une concernant la cause l'autre l'effet. Parfois une cause attendue ne s'est pas produite (Grouchy cause de Waterloo), et c'est le critère de responsabilité qui est majeur, parfois un effet également attendu n'a pas été constaté. « Le médicament ne l'a pas soigné ». Dans ces cas s'expriment souvent un regret, une incompréhension, une fatalité.

Que les absences sont également employées pour montrer la responsabilité des objets, comme si ceux-ci avaient le devoir de faire ce pourquoi ils ont été conçus. Le fait positif qui provoque leur indisponibilité n'est mentionné que lorsque le locuteur en a connaissance et ou qu'il veuille le mettre en exergue.

« Je ne suis pas allé à ... car ma voiture était en panne », est une description

avec une granularité forte, une absence d'explication de détail, qui sous-entend l'impossibilité de réparer à bref délai. Elle implique un jugement de valeur sur la voiture, une impuissance vis-à-vis des choses et c'est une façon de dégager sa responsabilité qui aurait été mise en cause par la formulation, identique au plan logique, « Je ne suis pas allé à ... car je n'avais pas fait réparer ma voiture ».

« Je ne suis pas allé à ... car j'avais un pneu crevé ». Replace l'interlocuteur en situation face à une éventualité qu'il est supposé avoir connue. La crevaison étant un événement rare mais non exceptionnel, pas de jugement de valeur.

Que dans des locutions causales aussi simples que « l'enneigement de la route a provoqué l'immobilisation des véhicules » pointe le fait que la chute de neige n'avait pas fait l'objet d'un bulletin météo ou que la société d'autoroute n'avait pas prévu à temps des déneigeuses.

L'usage de l'état (l'enneigement) pointant vers la société d'autoroute.

L'usage de l'événement (la chute de neige) pointant vers l'annonce météo.

Que la chaîne causale est toujours interrompue dans le temps et dans l'espace, sans doute pour des raisons pratiques mais aussi pour souligner ou éviter une responsabilité. La panne de la voiture peut être aussi l'effet d'une lointaine négligence que le locuteur ne souhaite pas signaler.

Que lorsque la proposition causale se veut une explication à caractère scientifique, les objets sont souvent utilisés comme porteur de propriétés que relie des lois. Parfois la loi seule est citée ou suggérée, « c'est statistique.. ». Dans ce cas le locuteur confère à sa proposition un caractère d'évidence.

Que les relations causales ne se présentent que rarement dans la forme pure de (c) cause (e), les causes sont en général multiples. Chez celles-ci existe souvent une différence de nature entre les conditions de fond et les événements fortuits³⁰³ mais les deux sont nécessaires à l'obtention de l'effet. Reprenons en ce sens le texte de J.S. Mill précédemment cité³⁰⁴

« Rarement, si même jamais, cette invariable succession a lieu entre un conséquent et un seul antécédent. Elle est communément entre un conséquent et la totalité de plusieurs antécédents, dont le concours est nécessaire pour produire le conséquent, c'est-à-dire pour que le conséquent le suive certainement. Dans ces cas,

³⁰³ Voir *infra* le commentaire de l'article de Schaffer

³⁰⁴ Voir *supra*

il est très ordinaire de mettre à part un de ces antécédents sous le nom de Cause, les autres étant appelés simplement des Conditions. [...]La cause réelle est le concours de tous ces antécédents; et on n'a pas le droit, philosophiquement parlant, de donner le nom de cause à l'un d'eux à l'exclusion des autres. » Le choix par le locuteur de la cause parmi les conditions de fond est significatif de l'usage de la causalité pour nommer la responsabilité, ce qui conduit à considérer que derrière la responsabilité des objets pointe souvent la responsabilité de celui qui les a manipulés. Dans l'exemple célèbre du court-circuit qui enflamme des papiers, seront choisis par les avocats des assureurs comme causes, soit les électriciens soit les magasiniers qui ont entassé du papier là où il ne fallait pas.

Que, dans les cas où le *background* existe de façon habituelle la causalité retenue va plutôt être celle de l'élément déclencheur ; si un court-circuit provoque un incendie qui a besoin d'oxygène, l'oxygène ne sera pas considéré comme une cause, alors qu'il est patent que sans oxygène il n'y aurait pas d'incendie.

Que, faute d'avoir mis en évidence et de pouvoir étayer une proposition contraire, nous rejoignons la thèse selon laquelle la proposition causale se veut être une explication³⁰⁵. Elle tend donc plus à persuader qu'à convaincre. La forme du discours sera aménagée en fonction de son but. Les causes seront choisies avec soin parmi toutes les causes possibles et leur valeur sera pondérée. Certaines seront écartées. Les lois de la physique destinées à convaincre dans un langage scientifique, seront volontiers utilisées en persuasion pour mettre en valeur soit le caractère commun de l'événement soit son caractère miraculeux. L'effet pourra être sous-entendu, l'auditeur étant supposé à même de le déduire. Dans aucune étude des relata ne figure une analyse de la façon dont ils sont exprimés et pourtant le ton du discours est également un type de relata. Les propositions causales fournies en exemple par les auteurs étudiés ne sont en général que des cas types simples destinés à mettre en valeur des propriétés logiques. La simple lecture d'un article d'un quotidien suffit à démontrer que se présentent toujours des situations autrement complexes et qu'il est toujours demandé au lecteur de partager l'analyse du journaliste. Ce dernier appellera volontiers faits les événements qu'il relate pour leur donner une force probante.

En conclusion, un simple exemple peut illustrer tout cela. Si nous considérons

305 Cela n'implique pas que toute explication est causale.

la phrase causale « La grève va causer la perte d'un point de P.I.B. » nous pouvons y voir la grève comme un état, un événement, un fait, une absence (celle du travail). La perte d'un point de P.I.B. partage la même caractéristique. C'est un jugement sur les conséquences économiques mais aussi un jugement sur la volonté des grévistes qui ne semblent pas mesurer les conséquences de leurs actes.

La distinction des causes aristotéliennes s'est estompée mais il est facile de la faire ressurgir. La distinction entre causes efficientes et matérielles est parallèle au débat entre conditions de fond et éléments déclencheurs. Elle semble d'ailleurs plus claire. La cause efficiente utilise ou modifie la cause matérielle, c'est bien le court-circuit qui provoque l'incendie. La notion d'intentionnalité y est très présente et d'ailleurs les tribunaux raisonnent souvent de cette manière. La cause finale s'identifie à l'effet dans le cas d'une causalité mécanique, elle apparaît comme moyen d'explication dans les propositions ou intervient la volonté animale, humaine, ou divine. Dans ce dernier cas elle n'est utilisée que dans un type précis de discours.

Les relata de la causalité objective

Rappelons que nous avons proposé comme relata ; « *la description de parties instantanées d'état de l'univers, reliées par une ou plusieurs lois* ». Comment y sommes-nous parvenus après ces confrontations? On aurait pu choisir les états sachant qu'il n'existe aucun état stable au moins au niveau microscopique, ou les événements sachant qu'ils ne peuvent surgir hors d'un certain état. L'état n'étant qu'une succession de micro événements, c'est cette dernière notion qui devrait l'emporter mais les lois physiques décrivent des variations continues d'état et la notion d'événement est absente. Nous avons relevé l'intérêt de la proposition de Jaegwon Kim, malgré sa formulation abstraite et noté qu'il est possible en interprétant Menzies de ranger faits, événements et états dans une sous classe des situations. Il suffisait de préciser alors la notion de situation de façon à ce qu'elle réponde à la critique, jugée fondamentale, de Russell sur la succession entre la cause et l'effet.

C'est pourquoi, très proche de Kim, nous avons proposé à sa suite, comme relata causaux un ensemble de paramètres situés à un endroit et un moment de l'univers concret. Ces paramètres sont liés aux objets qui existent au moment considéré à l'intérieur de ladite zone et les décrivent.

La nature des relata causaux :

Pour éviter les notions d'état et événement, trop floues, nous ne nous intéressons qu'à des instantanés, moments où l'état coïncide avec l'événement, ce qui nous a conduits à soutenir la définition précédente. Nous limitons évidemment cependant ce type de relata à une causalité dite objective, le propre de la causalité subjective étant de supprimer l'instantanéité et de limiter ou d'amplifier la description.

Il apparaît alors que pour un même effet les causes sont différentes selon le moment choisi, si t est le moment de l'effet, la cause à $t - \Delta t$ est différente de celle à $t - 2 \Delta t$. Nous verrons plus loin les problèmes que cela règle. Pour l'instant notons que la formulation rend impossible de considérer les absences comme causales, ce qui lève un embarras métaphysique. Les absences, ne possédant pas de propriétés mesurables ne peuvent participer à une description telle qu'envisagée.

L'évolution sera définie par les lois physiques, connues ou à connaître, reliant les deux descriptions, nous étudierons ce point ultérieurement.

Quel est l'ordre naturel des descriptions ? Il semble logique de partir de la description de l'effet (une portion d'autoroute enneigée avec des voitures immobiles), puis de remonter dans le temps à la description dans une zone plus étendue (l'autoroute et une partie de l'atmosphère) des propriétés que nous désignerons comme causes. Ce n'est qu'ensuite ce processus inverse étant validé que l'on rétablira la séquence chronologique.

Nous retrouvons alors le problème de la fragilité des causes, la causalité objective ne dispose que de peu de méthode permettant d'exclure de la description de la partie d'univers à $t - \Delta t$ et des lois utiles les paramètres inutiles. Comment la réduire, selon les termes de Mill, au total des contingences qui, une fois réalisées, font que la conséquence suive invariablement ? Comment dans le cadre de la définition, parvenir à l'ensemble minimal ? La seule méthode consisterait à supprimer dans la description de la cause tous les paramètres qu'une loi ne relie pas à l'effet. La contre-factualité devient un critère de sélection de l'ensemble des événements à décrire. Un élément doit être dans la description de la cause, s'il est relié par une loi à un élément de l'effet. Si sa suppression modifie l'effet alors cela valide sa présence dans la cause. Mais, si sa suppression ne modifie pas l'effet, la déduction du contraire est impossible. Les causes d'un élément n'ont pas à être uniques, plusieurs interrupteurs peuvent allumer simultanément la même lampe.

Dans ce cas la définition objective retrouve un des aléas de la contre factuelité que nous étudierons plus avant.

Dans la description des relata causaux selon la définition choisie, l'existence des objets pose problème. Les propriétés sont considérées comme y étant attachées, cependant la définition résiste même si la concrétude est enlevée de la notion d'objet, la somme des propriétés permettant de le décrire suffit. Cela permet de conserver la définition dans des circonstances abstraites ; « la gale cause la démangeaison du chien » n'a pas besoin d'un chien concret.

Cela permet également d'introduire dans les descriptions des objets au statut complexe, particules virtuelles, champs, etc...

Dans les causes de l'existence de A doit figurer A (au moins lorsque $\Delta t = 0$). Cela semble logique, un objet isolé dans le vide spatial compte parmi ses causes, le fait qu'à l'instant $t - \Delta t$ il soit existant dans l'espace. Et de fait si Δt est relativement petit, il n'en compte pas d'autre. Cependant les causes de l'existence de A vont occuper un espace de plus en plus grand à mesure que l'on les recherche dans une période plus lointaine³⁰⁶. L'existence de la terre à notre époque compte parmi ses causes l'existence d'une proto planète rocheuse il y a quelques milliards d'années et celle d'un nuage de poussières, infiniment plus vaste, quelque milliards d'années encore auparavant. Ce que nous avons nommé intervalle du genre temps, dans lequel la causalité a une signification, conduit à ce que la portion de l'espace en relation causale avec un événement croisse avec le passé de cet événement. Cela ne rentre pas en contradiction avec la notion large d'objet que nous avons retenue. La protoplanète n'est pas la terre contemporaine mais un objet (collection de propriétés) qui a suivi une évolution y conduisant. Les paramètres qui n'ont pas changé entre t et $t + \Delta t$ doivent évidemment être notés comme causes puisqu'ils se retrouvent dans l'effet. Selon l'expression de Mill que nous partageons, la cause réelle est le concours de tous les antécédents. La pierre dans un champ de gravité est cause de sa chute.

En récapitulant, la définition des relata que nous soutenons a pour principaux mérites :

- De contourner une objection de Russell sur la possibilité d'intercaler une infinitude de cause entre les instants séparant la cause de l'effet puisque justement

306 Pour des causes mettant en jeu matière ou énergie. La restriction a une importance étudiée infra.

La nature de la relation causale

une cause n'est définie qu'à un instant précis t' , antérieur à t , elle est instantanée. Il y a donc une infinité de causes pour un effet.

La cause « n'explose pas en l'effet ». Quel que soit un intervalle de temps donné il est possible de construire, simplement en le divisant par deux, un intervalle inférieur. Si Δt est très petit la cause sera très semblable à l'effet. Par passage à la limite si notre Δt est nul la cause est identique à l'effet.

- De ne pas avoir besoin des notions d'événement ou d'état, et d'admettre naturellement la multiplicité des causes.

- De ne pas introduire la nécessité. L'ensemble des paramètres retenus dans la cause doit permettre l'apparition de l'effet. Il ne le nécessite pas. Les résultats non déterministes de la physique sont préservés.

Ses principaux défauts sont également évidents :

- C'est quasiment la définition de Laplace ou du baron d'Holbach sans le déterminisme.

- La cause complète est par nature inatteignable dès que l'effet possède une certaine complexité.

- Elle est au-delà du besoin d'explication car faisant intervenir un trop grand nombre de paramètres, il faudrait définir comment on peut en induire une explication correspondante à notre intuition.

- Une description complète d'une zone concrète spatio-temporelle est impossible du point de vue philosophique (notion complète réservée à un point de vue divin pour Leibniz ou accès aux seuls phénomènes chez Kant) et aussi du point de vue scientifique par le seul fait de l'incertitude quantique.

- Si elle est acceptable du point de vue scientifique elle élimine en particulier toute explication faisant intervenir le pourquoi ou la responsabilité. En revanche elle met bien en lumière le fossé qui sépare les conceptions causales venant de nos intuitions de la démarche scientifique, la causalité objective de la causalité subjective.

La nature de la relation causale

Dans l'article de J. Blochowiak que nous venons d'utiliser est avancée l'hypothèse que l'usage d'un ou de l'autre type de relata modifiera la nature de la relation de causalité. Elle est parfois selon l'auteur du type 'déclencheur' ce que

l'auteur nomme 'coup de pousse' en conservant l'orthographe originale pour bien montrer son caractère actif. Mais elle peut être aussi, si la causalité unit deux états comme illustrée par la proposition « la température est élevée dans la chambre parce que le four est très chaud », un support. La relation causale a donc des propriétés différentielles induites par la nature des relations qu'elle contient. Si ce sont des états la relation garde la propriété temporelle « typique de l'état qui est la durée dans le temps », sinon elle ne conserve que la ponctualité.

De nos remarques précédentes et des critiques des notions d'état et d'événement il est raisonnable de penser que les recouvrements mis en évidence, nuisent à la distinction entre déclencheur et support et nous ne la retiendrons pas. La causalité étant une relation, nous allons tenter d'en définir quelques caractéristiques à partir de la notion mathématique de relation qui nous conduira à celle, plus pragmatique, de processus. Nous nous servirons ensuite de l'article déjà cité de Schaffer pour aborder quelques propriétés particulières qui n'auraient pas été mises en exergue.

La causalité comme relation

La relation au sens mathématique est une propriété qu'ont entre eux certains éléments d'un ensemble. Par exemple, dans l'ensemble des entiers on peut dire que : n, x et y étant entiers, y sera en relation R_n avec x si la division de y par x a un reste égal à n . Les particularités classiques d'une relation concernent sa réflexivité, sa symétrie et sa transitivité.

Elle est réflexive si $x R x$, symétrique si $x R y$ implique $y R x$, antisymétrique dans le cas contraire ce qui s'énonce si $x R y$ et $y R x$ alors $x = y$, elle est transitive si $x R y$ et $y R z$ implique $x R z$.

Une relation a en général une arité égale à deux, ce qui veut dire qu'elle concerne une paire d'éléments. La notion de relation s'est étendue aux prédicats et a donné naissance à toute une branche de la logique. La relation qui lie les événements que nous nommons cause et effet, peut être étudiée avec des outils de ce type mais il faut tenir compte du problème de la distance temporelle entre cause et effet car en envisageant la causalité de façon relationnelle on supprime son caractère de temporalité, les relations de type mathématique ou logique se font principalement au sein d'ensembles indépendants du temps. Or l'antériorité est une des distinctions entre la cause et l'effet. Si nous situons la relation causale au sein

d'un même ensemble (endomorphisme) il faut attribuer à chaque élément une composante temporelle, il est plus simple de construire une relation que nous appellerons causale R qui unira des événements appelés causes et effets (c) et (e) au sein de deux ensembles C et E , tels que C contienne toutes les causes de E et E tous les effets de C . Ces deux ensembles étant séparés temporellement de Δt . Le temps si c 'est une réalité existante est un élément pour la construction de C et E , il n'en fait pas partie. C 'est une simple condition de possibilité. On a :

Quel que soit e appartenant à E il existe au moins un c appartenant à C tel que $c R e$.

Quel que soit c appartenant à C il existe au moins un e appartenant à E tel que $c R e$.

Par construction, tout effet a une cause, une cause peut avoir plusieurs effets, plusieurs causes peuvent avoir le même effet. On ne peut user du concept d'application ou de fonction qui supposerait qu'une cause n'a qu'un effet. Cependant il faut noter le caractère surjectif de la relation, il n'existe pas de (e) dans E qui n'ait pas un antécédent (c) dans C . Cette propriété est de celles qui font l'objet d'un débat initié par la physique contemporaine.

Nous n'avons pas à ce stade à nous interroger sur ce qui caractérise R comme relation causale, seul nous importe son caractère relationnel.

Que sont alors les autres caractéristiques d'une relation causale ? On s'aperçoit que sa réflexivité est dépendante du fait que l'on introduise ou non la notion d'état. Dans le cas d'un état il n'y a pas de changement entre C et E donc nous avons des éléments de E égaux à des éléments de C ce qui implique qu'il y ait des éléments e de E tels que $e R e$. A l'inverse s'il n'existe pas de réflexivité C et E ne partagent aucun élément.

Cela permet de considérer comme légitime la proposition selon laquelle un objet existant est la cause de son maintien dans l'existence.

La relation causale est anti symétrique par construction, l'antériorité étant nécessaire, considérer l'effet comme cause de la cause reviendrait à remonter dans le temps.

Que devient la contre factualité ? La suppression dans l'ensemble C d'un (c) ne détermine la suppression de (e) dans E que si (c) est le seul antérieur de (e). La proposition d'un seul antérieur n'a pas été faite dans la construction initiale, elle

serait d'ailleurs absurde, un effet « trottoir mouillé » peut être dû à la pluie ou à une arroseuse municipale. L'on vérifie donc aisément que la contre-factualité n'est pas opératoire en cas de cause multiple.

La relation causale semble transitive, la méthode de construction de E à partir de C peut être utilisée pour construire C' à partir de E. Il n'y a pas d'incompatibilité logique, au moins dans le cas des causes uniques d'effets uniques, à considérer que si (e) effet de (c) est cause de (c') appartenant à C', alors (c) est cause de (c'). Nous aurons à nous souvenir de cela lorsque nous examinerons des cas où parmi les effets d'une cause l'un devient la cause qui interdit aux effets des autres effets de se produire. Si la chute d'un rocher provoque du bruit, ce bruit peut alerter un promeneur qui évite la chute du rocher qui l'eût écrasé. Il est difficile de concevoir la chute du rocher comme la cause de la survie du promeneur.

Envisager la causalité comme une relation au sens mathématique ne permet pas de conserver les absences comme causales, il n'existe pas d'éléments qui à la fois appartiennent et n'appartiennent pas à C. Rien n'est dit sur la définition de la relation causale et une telle approche est cohérente avec une simple corrélation. Les horoscopes, par exemple, s'efforcent de construire des relations entre l'ensemble des planètes et celui des accidents de la vie. A supposer qu'ils parviennent à une correspondance parfaite, cette correspondance établirait-elle un lien causal ? Les assertions telles que « L'on recueille ce que l'on sème » et d'autres aphorismes de la sagesse populaire sur les justes rétributions sont construits sur ce type d'approche.

Aussi aigüe est la critique du choix de l'intervalle temporel entre les ensembles C et E. Nous avons vu qu'un intervalle trop grand risque de faire omettre des effets intermédiaires causes de problèmes dans la transitivité. Plus Δt sera petit, plus le risque 'd'oublier' une cause sera moindre. Mais cela conduit naturellement à introduire la continuité du temps, donc à passer, pour la causalité, d'une conception relationnelle à une conception de processus.

La causalité comme processus :

Elle est fondamentalement de type scientifique. Elle consiste à décrire l'effet des lois, connues ou supposées, qui s'exercent entre des éléments d'une partie de l'univers, généralement considérée comme isolée. Sur l'autoroute la présence simultanée de la neige et de véhicules produit l'immobilisation de ceux-ci. Dans

une région, la valeur de la pression atmosphérique induit des maux de tête pour les habitants hyper tendus.

L'introduction d'éléments ni suffisants ni nécessaires est toujours possible (il a eu un accident parce que Saturne était dans le troisième quadrant) mais c'est la multiplicité des expériences semblables, qui en étendant ou restreignant le domaine d'application jugera, si cela est possible, de l'ampleur de la description nécessaire. Cependant il faut noter qu'il est difficile de ne pas inclure tout l'univers comme étant en relation causale possible lorsqu'est analysé n'importe quel processus³⁰⁷. Le choc des boules de billard n'est pas possible sans l'éléphant qui a fourni l'ivoire, lui-même résultat de l'évolution d'espèces, consécutives à la formation de la terre, etc. Mais la notion de processus a un avantage, elle établit un lien de causalité entre deux états établis sans avoir à se préoccuper des causes antérieures ayant produites l'état considéré comme cause. Il sera pour un processus, l'état initial.

La causalité est justifiée par l'application d'une ou plusieurs lois qui décrivent l'évolution du processus. Nous avons vu le caractère contingent de celles-ci mais leur redoutable efficacité empirique. La loi applicable est adaptée au grain de l'événement considérée. Les lois utilisées à une certaine échelle si elles découlent en général de celles utilisées à une échelle plus petite sont considérées comme normatives de cette échelle. Il est inutile à un biologiste de connaître la physique des particules, il doit savoir quelle molécule est susceptible d'interagir avec une autre et donner une loi qui décrira l'effet d'une telle union.

L'usage des lois permet de ne pas être obligé d'étendre la chaîne causale à l'infini. La loi relie un état donné à un autre état. Si une loi dit : la neige provoque une résistance à l'avancement des véhicules proportionnelle à la hauteur de sa couche, la relation causale peut être close sans se préoccuper du pourquoi de la neige ou de la nature du véhicule.

L'exemple des véhicules bloqués par la neige est captivant dans sa simplicité d'énonciation et par sa complexité sous-jacente. Nous avons cité la possibilité d'une loi qui relie la hauteur de la neige et la résistance opposée au déplacement d'un véhicule. C'est parfait sauf qu'une telle loi n'existe pas. Il en existe reliant la force, l'inertie et l'accélération, reliant l'adhérence et la transmission des forces, mais aucune ne globalise le couple voiture neige. Il faut un effort d'abstraction pour ne

³⁰⁷ En utilisant la contre-factualité par exemple

considérer une voiture que comme une simple masse mobile soumise à des forces transmises par frottement. Cette abstraction est présente, *mutatis mutandis*, dans la grande majorité des exemples retenus et devenus incontournables dans l'étude de la causalité. L'abstraction permet d'appliquer certaines lois, en ignorant généralement celles du background, à des objets que le discours cite comme s'il possédait leur « notion complète » implicite. Pourtant la voiture immobilisée comporte ou non des passagers, elle était en mouvement, pas en panne d'essence etc. Il est évident que des paradoxes surgissent au sein de telles absences de précisions, conséquences d'une granularité grossière.

Il est possible d'objecter que la présence ou non de passager dans la voiture ne change rien au problème, ce n'est pas si certain. La neige immobilisant des voitures sur un parking ne devient un élément de causalité que si quelqu'un souhaite s'en servir pour un déplacement. Mais dans le cas précité ce sont les puissances des moteurs, les formes des véhicules, leurs masses, l'adhérence des pneus qui ne sont pas pris en compte. En les réintégrant l'on obtiendrait une description plus parfaite du processus, mais comme elle conduirait au même résultat, l'approximation est jugée suffisante.

Bien qu'elle soit d'une approche difficile, il est opportun de citer l'étude du bruit³⁰⁸ dans les plans de Taguchi³⁰⁹. Un plan de Taguchi est une méthode statistique pour réaliser des plans d'expériences de contrôle de qualité. Pour la production d'objets elle permet de simplifier le protocole expérimental en se concentrant sur les paramètres décisifs. La couleur de la carrosserie par exemple est sans impact notable sur l'aérodynamisme de la voiture, mais son état de surface l'est. Il semble que nous soyons naturellement adeptes de la méthode et que l'expérience commune, conduit, peut-être par manque d'analyse ou parce que celle-ci ne semble pas nécessaire, à déterminer subjectivement les facteurs critiques.

De même les lois qui décrivent un *background* suffisamment stable pour ne pas influencer sur le processus sont toujours négligées. L'existence de la gravité est sous entendue dans les expériences de chimie dès lors que rien ne précise sa disparition.

La notion de processus permet de résoudre les paradoxes créés par des causes

³⁰⁸ Un « bruit » est ici une modification parasite d'un signal.

³⁰⁹ C. Constant *La méthodologie Taguchi : introduction à la recherche technologique Paris*, Revue de statistique appliquée, 1989, tome 37, no 2, p. 47-77

multiples. La description de l'état initial doit pour être correcte les contenir toutes qu'elles soient chacune suffisante ou non.

La notion de processus permet d'assurer la liaison entre deux événements dont la distance temporelle conduit à des paradoxes. Elle ne répond pas à l'objection de Russell sur la possibilité d'intercaler des causes à l'infini dans l'intervalle de temps séparant l'effet de sa cause. Ou plutôt elle les intercale elle-même par continuité. C'est en toute rigueur logique l'apport du dernier flocon qui immobilisera le véhicule, chacun des précédents n'ayant produit qu'un ralentissement.

Nous étudierons plus loin deux problèmes : La réaction de la notion de processus à la contre-factualité et l'existence de processus entre plusieurs variables d'un même ensemble à l'intérieur duquel il est difficile de distinguer entre effet et cause ; attraction gravitationnelle de deux corps, ou relation entre la pression et le volume d'un gaz à température constante par exemples.

Il est des processus extrêmement rapides qui sont considérés naturellement comme des événements. Ainsi lorsqu'un caillou heurte une vitre, utiliser la notion de processus semble peu naturel. Il suffit pourtant de considérer l'image du phénomène observé par une caméra à très grande vitesse. Un objet lent provoque des vibrations locales, une déformation puis une rupture autour de son point d'impact pour finir par traverser la vitre alors que des éclats de tailles variables volent alentour. Si des événements semblables sont filmés en faisant varier la taille du caillou, sa vitesse et l'épaisseur ou la matière de la vitre, l'on s'apercevra que la cause, tout en gardant la même description globale « choc d'un caillou contre une vitre », produira des effets très différents, de l'émiettement complet de la vitre à sa résistance.

Nous avons rencontré le problème de la désintégration spontanée de certains atomes radioactifs. Pour un atome particulier elle se produit de façon aléatoire, selon un mécanisme similaire à celui de l'effet tunnel, mais strictement imprévisible de façon non statistique. Le phénomène est souvent cité comme étant acausal. Ramener la causalité à un processus qui décrit l'état classique de l'atome puis son état final, relié par une loi de probabilité dissout en partie le problème. Il n'y a pas de processus sans cause, il n'y a que des processus.

La causalité comme relation contrastive quaternaire

Dans l'article que nous avons déjà cité, J. Schaffer note en préambule qu'une

déclaration identifiant une cause est faite dans un contexte « qui inclus l'hypothèse d'un champ causal (297)³¹⁰ ». Elle est la réponse à une question du type « quelle est la cause de cette explosion » où cause et effet sont considérés comme des différences au sein d'un même champ³¹¹. Schaffer généralise la question en : « Qu'est ce qui fait la différence, dans ces moments ou dans ces cas, considérés dans une certaine plage, entre ceux dans lesquels une explosion s'est produite et ceux où elle n'a pas eu lieu ? (297) ». Il soutiendra que la causalité est une relation contrastive quaternaire et qu'une telle présentation résout de nombreux paradoxes.

Schaeffer note qu'en pratique les théoriciens rejettent la fragilité mais n'en disent pas plus. Il construit un paradoxe sur les raisons d'accepter et de refuser la fragilité et considère que la présentation constructive correspond à l'intuition en niant complètement la fragilité. Que (c') soit variation ou remplacement de (c) n'est d'aucune importance. La présentation contrastive est fondée sur la séparation de la causalité avec la distinction présence absence qui a été abordée au sujet de la causalité des non événements. Les descriptions différentes de l'événement causal n'ont pas d'importance lorsque l'on reste dans la même espèce d'événement. Que le tireur presse la détente ou appuie brusquement n'a pas d'importance si la balle touche sa cible. En revanche qu'il tire ou ne tire pas en a une. Ainsi dans une présentation contrastive le grain de poussière heurtant la fenêtre avec le caillou la brise d'une façon différente que le caillou seul. La présentation contrastive mesure l'impact, elle conserve la trace des causes et 'mesure' la dépendance fonctionnelle. Mais note Schaffer il peut exister une 'indétermination linguistique' (305) quant aux contrastes mis en jeu. C'est-à-dire que certains contrastes n'ont pas à être relevés car ils « n'ont pas de poids ». En cela la causalité contrastive « rejoint la méthode scientifique » (305) en mesurant l'impact d'une variation de la cause. Mais elle ne résout pas directement le problème de l'insertion dans le processus causal d'événements hâtant ou retardant l'apparition de l'effet. Nous les traduirons par frein et accélérateur. Il est facile de traiter de façon contrastive les accélérateurs, la cause plus un accélérateur produit l'effet plus tôt que la cause seule. Tandis que dans le cas du frein ce serait plus difficile comme l'a fait remarquer Mackie (1992,486). En se demandant « pourquoi le fait d'avancer un événement serait

³¹⁰ Les parenthèses indiqueront sans autre précision les pages de l'article.

³¹¹ La causalité à l'intérieur d'un état permanent n'étant pas abordée, la question « qu'est ce qui fait que la chose perdure dans son état » ne semble pas être pour lui une question causale.

considéré comme sa cause alors que le fait de la retarder ne le serait pas », Schaffer propose d'étudier un cas semblable au suivant : Une batterie chimique se décharge en une semaine, l'apport de soude fait qu'elle se décharge en un jour, l'apport d'acide sulfurique en un mois.

Pourquoi considérer la soude comme cause de la décharge et pas l'acide sulfurique ? Selon lui la soude est cause de l'accélération de la décharge mais ne cause pas la décharge cependant le caractère immédiat de la décharge implique l'impossibilité d'intervenir ensuite sur la batterie et confère à l'effet un caractère irréversible. Donc il donne à la soude la qualification de cause. L'apport d'acide sulfurique est vu comme s'opposant à l'effet, il ne peut de ce fait être qualifié de cause de la décharge puisqu'il la contrarie. Schaffer résout l'apparent paradoxe en considérant que pour nous finaliser est plus important que reporter et qu'il existe pour nous une différence due à la perception que nous avons de nous-même comme agent agissant sur les événements entre les « contrastes définitifs et les contrastes différés »

Commentaires :

Détaillons l'exemple proposé : Soit une réaction chimique RC, à définir, cause de la décharge sans intervention sur une batterie. L'on a :

Dans la formulation contrastive

RC + soude cause décharge en un jour plutôt que décharge en une semaine

RC + acide cause décharge en un mois plutôt que décharge en une semaine

Mais cela est équivalent à

RC cause décharge en une semaine

Soude + RC cause décharge en un jour

Acide + RC cause décharge en un mois

Il apparaît alors que la soude ne peut être considérée en droit comme cause unique de la décharge. Le paradoxe vient en partie de l'importance de la notion de décharge, sorte de finalité de la batterie, par rapport au moment où elle intervient. En distinguant comme différents, décharge en un jour et décharge en un mois, nous créons deux événements (apparitions) différents de l'état 'batterie déchargée'. L'exemple traité par Schaffer est sans doute plus dramatique puisqu'au lieu d'une batterie il évoque la mort d'un patient et l'intervention d'un médecin. Or semblablement être mort est un état, mourir un événement. En confondant dans le

discours (ce qui est légitime) l'état et l'événement, l'on montre surtout à quel point la causalité est un concept dépendant du sujet qui l'exprime et la fragilité de la distinction état et événement³¹²

La présentation contrastive devrait donc utiliser la même espèce d'événement ce qui demande encore à définir la notion d'espèce. Or une large littérature philosophique contemporaine s'interroge sur les concepts du même et de l'autre³¹³. Schaffer lui-même note la liaison de la fragilité avec la conception « très contre intuitive selon laquelle on ne peut se couper un ongle et compter toujours pour le même individu »(303). Il faudrait dit-il, peut-être avoir résolu la question avant d'aborder la fragilité. C'est pour la causalité contrastive la marque du caractère à gros grain de ses relata qu'il revendique par ailleurs. Lancer un caillou contre une vitre provoque en général sa cassure, le sujet ne se préoccupe guère de la fragilité de l'événement. La latitude qu'il choisira dans sa description des causes sera fonction de la finalité de son discours, « la providence en intercalant une poussière a fait passer la balle à trois millimètres de la tête » aura un sens différent de « la vibration de la bouche du canon lors d'un tir cause une variation de l'impact de trois millimètres autour du point visé ».

La mention de la mesure de l'impact, donné par la présentation contrastive, réconcilie, selon Schaffer, la causalité avec l'image scientifique. N'ajoute-t-elle pas plutôt une complication inutile ? Conservons l'exemple du caillou auquel est ajouté un grain de poussière et ajoutons un par un des grains de poussière, avant de lancer, avec la même vitesse, ces ensembles contre une vitre. La causalité contrastive décrira que le caillou avec n grains de poussières (n = beaucoup) a explosé la vitre alors que le caillou seul l'avait fêlé. Mais le scientifique aurait fait une loi donnant l'écart maximal des fragments résultants du bris en fonction des caractéristiques (masse, impulsion, élasticité, etc.) des éléments de l'ensemble. Cette loi donnera une distribution de probabilités de la taille des éclats et de leur répartition de leur distance à la vitre.

Cette continuité de la loi conduit à s'interroger sur la pertinence d'une description contrastive par rapport à une série de descriptions binaires. La

³¹² Voir *infra* l'analyse de cette distinction.

³¹³ Voir par exemple D. Armstrong, *Les universaux, une introduction partisane*, Paris, Ithaque, 2010. Où F. Nef E. Garcia, *Métaphysique contemporaine, propriétés, mondes possibles et personnes*, Paris, Vrin, 2007

description contrastive doit choisir les intervalles entre (c) et (c'), elle donnera à ces moments-là un couple des descriptions binaires précédentes.

Ces dernières sont aussi soumises au même aléa de la définition d'un intervalle pertinent de mesure.

La loi a peu de chance d'être mentionnée dans le compte rendu d'un tel événement. Si des manifestants brisent une vitrine personne ne mesurera la taille des débris, si une balle atteint sa victime au travers d'une vitre, cette mesure sera effectuée dans le but de rechercher une trajectoire, la description causale binaire semble suffire.

Enfin la revendication d'être plus proche de l'image scientifique semble en opposition avec le fait que la notation contrastive élimine les différences légères. La méthode scientifique utilisant évidemment la variation légère et continue d'un état antérieur pour déterminer la loi qui le relie à l'état ultérieur, quitte à éliminer le facteur s'il ne provoque aucune variation.

Toutefois, pour étayer sa thèse d'une causalité contrastive, Schaffer est conduit à définir quelques propriétés de la causalité qu'il semble utile d'étudier de façon générale, quelle que soit la thèse en présence sur la nature de la causalité. Il s'agit des propriétés que nous avons traduites par contre-factualité, arité³¹⁴, extension, transitivité, sélection. La contre-factualité étant une théorie complète de la causalité, en particulier présentée par Lewis nous l'étudierons dans la deuxième partie de ce chapitre. Cependant il nous faudra dire ensuite comment se présentent les notions de causalité objective et subjective face à elles.

L'arité

Il semble, dit Schaffer, qu'il soit généralement admis qu'elle est égale à deux, mais il n'y a aucun argument dans la littérature pour défendre ce point de vue. C'est en effet la forme générale des déclarations causales (c) est cause de (e), mais cette forme outre qu'elle admet de nombreuses exceptions cache parfois des formes logiques plus complexes. Une des alternatives est due à Van Fraassen qui pense que l'explication est contrastive du côté de l'effet. Elle rend compte d'un effet plutôt que d'un autre. L'exemple cité est celui de la syphilis de Jean qui explique sa parésie³¹⁵. Cette explication est-elle valide ? Pour Van Fraassen oui et non « Elle

³¹⁴ Voir le paragraphe, la causalité comme relation

³¹⁵ Paralysie légère consistant dans l'affaiblissement de la contractilité

peut expliquer pourquoi il a une parésie par rapport à ses frères, qui en parfaite santé, n'ont pas eu la syphilis, mais pas pourquoi c'est le cas par rapport aux autres syphilitiques qui n'ont pas de parésie ». Il est cependant naturel d'amplifier le caractère contrastif également du côté de la cause. Ainsi Hitchcock affirme que la causalité probabiliste est contrastive, le tabagisme modéré cause-t-il le cancer du poumon ? « Oui et non » (298). Par rapport à un tabagisme excessif, non, par rapport à l'abstention, oui. Schaffer remarque que les arguments de Van Fraassen et de Hitchcock peuvent s'étendre des deux côtés et pour pouvoir chaîner un ensemble de relations causales il faut qu'il y ait deux effets contrastés afin de fournir deux causes qui le seront également.

Commentaires :

Il semble être un cas évident de relation non binaire celui où une pluralité de cause est nécessaire pour fournir un effet. Si « l'explosion a été produite par la présence simultanée de chaleur, de salpêtre de soufre et de charbon de bois », un seul des éléments manquant suffit à rendre l'explosion impossible.

L'exemple du tabagisme peut recevoir une explication de type probabiliste, (sous les réserves exprimées plus haut) : Plus le tabagisme est aigu plus il cause de cancers et celui de la parésie une explication plus fine, la syphilis jointe à une carence en neurotransmetteur acétylcholine explique sa parésie. Oui et non (*yes and no* dans le texte) ne semble pas être une réponse pertinente à une question, que d'ailleurs l'auteur décompose de façon à obtenir des solutions non ambiguës.

l'extension

Schaffer note que l'extension est intuitive, c'est-à-dire que nous pouvons substituer des expressions co-référencées dans des déclarations de causalités singulières et y rajouter des éléments qui bien que véraux, n'ont pas d'utilité dans le processus causal. Ainsi l'assassinat perpétré par Princip, l'assassinat de Sarajevo en 1914, ou l'assassinat dans la capitale de la Bosnie sont également cause de la guerre de 14. L'extension correspond à « une métaphysique réaliste », il cite Strawson (1985,118) « la causalité est une relation naturelle qu'elle que soit la façon dont cause et effet sont décrits »

Cependant certaines extensions ne sont pas pertinentes, tant pour la cause que pour l'effet, la marque Browning n'a pas provoqué la guerre de 1914 même si

Princip s'est servi d'un pistolet de cette marque³¹⁶. La tension de Mac Enroe peut causer qu'il serve maladroitement mais pas qu'il serve et que Socrate boive la ciguë au crépuscule ne peut faire considérer que le crépuscule a un lien causal avec sa mort.

Comme précédemment en reliant les cas où l'extension est pertinente des cas où elle est ne l'est pas, Schaffer conclut à un paradoxe qu'une présentation contrastive peut résoudre, les changements de description sont traités comme induisant des changements de contraste, l'extension est défendue en autorisant la substitution d'identiques aux quatre éléments (c) (e) (c') (e'). La relation causale est maintenue. Les contre-exemples sont traités comme des contrastes induits par le contexte, la volonté du discours de mettre en relief un moment ou un moyen particulier.

Commentaires :

Que l'extension soit fondamentalement la recherche de la mise en valeur d'un détail devant évoquer des analogies dans l'esprit de l'auditeur est difficilement contestable. Si Princip avait employé une hache, l'expression « la hache de Princip a provoqué la guerre de 14 » mettant l'accent sur la barbarie du procédé, serait plus employée que ne l'est actuellement 'le browning modèle 1910 de Princip a provoqué la guerre de 14'.

Mais la causalité contrastive n'explique pas pourquoi retenir comme contrastes induits par le contexte certains faits. Supposons ainsi que la ciguë n'ait d'effet que si elle est prise à l'aube ou que l'indignation soulevée par la sauvagerie du moyen utilisé pour l'attentat de Sarajevo, (une hache) ait émue l'opinion populaire au point de la faire basculer en faveur de la guerre, ce que n'aurait pas fait le coup de fusil distant d'un tireur d'élite. La présentation contrastive, certes maintient la relation causale, mais elle ne résout pas ici le problème de la définition de la cause.

Nous allons encore retrouver le problème du choix des exemples selon qu'ils sont détaillés ou pris dans un cadre plus large. Schaffer indique que la tension de Mac Enroe lui fait servir maladroitement³¹⁷ mais qu'elle n'est pas cause qu'il serve. Certes, mais elle semble légitimement³¹⁸ être cause de ce qu'il perde le match.

³¹⁶ Ce n'est pas son exemple, mais celui-ci est jugé similaire

³¹⁷ Exemple tiré de M. McDermott, *Redundant Causation*. *British Journal for the Philosophy of Science*, 40:523-4, 1995

³¹⁸ Légitimement, mais selon une loi de probabilité faisant intervenir le rapport victoire-défaite de Mac Enroe dans une période proche, en fonction d'un type de surface et d'adversaires, en supposant que sa tension

La transitivité

La question est classique. Si (c) provoque (e) et si (e) provoque (x) est ce que (c) provoque (x) ? En faveur de la transitivité Schaffer relève deux arguments : Elle est intuitive, c'est comme le souligne Hall ³¹⁹ « pour beaucoup une donnée fondamentale, une des rares informations *a priori* indiscutable que nous avons sur le concept ». La transitivité relie la causalité à la notion d'histoire causale, Schaffer utilise un exemple de Lewis sur les causes d'un accident de voiture où chacune des causes multiples possède des causes propres et dans lequel sans transitivité l'on ne peut construire une « histoire » de l'accident. Mais il retient trois contre-exemples, celui de McDermott (1995) dans lequel un chien mord la main droite d'un terroriste qui oblige ce dernier à utiliser sa main gauche pour déclencher l'explosion. Le chien ne peut être considéré comme cause de l'explosion. Celui de Hall (2000) ou le bruit d'un rocher qui s'effondre prévient le randonneur qui l'évite et survit. L'effondrement du rocher provoque le bruit, celui-ci provoque l'évitement qui provoque la survie. Mais l'effondrement ne provoque pas la survie malgré la transitivité. Le troisième contre-exemple est celui des petites altérations, le grain de poussière sur la route d'une pierre modifie légèrement sa trajectoire et elle brise une fenêtre qu'elle aurait de toute façon atteinte. Le grain de poussière ne peut être cause du bris de la fenêtre. Schaffer reconnaît que la présentation contrastive des contre-exemples semble échouer dans le cas du rocher car « les définitions nominales sont instables »³²⁰ mais même dans les autres cas elle est difficile.

Commentaires

Nous allons essayer d'étudier ces cas limites de transitivité en reprenant les contre-exemples sans nous servir d'une présentation contrastive, donc en abandonnant le raisonnement développé par Schaffer, afin de montrer que les paradoxes n'apparaissent que si l'on considère la causalité comme une stricte relation entre éléments que le locuteur choisit comme déterminants dans la présentation du cas et s'il est fait abstraction d'un contexte plus vaste et du caractère de processus, donc si la causalité décrite est de caractère subjectif.

n'est pas due au fait qu'il ait déjà fait trois double faute sans tension et que celle-ci ne résulte pas du fait qu'il prenne conscience qu'il joue mal, etc...

³¹⁹ N. Hall, *Causation and the Price of Transitivity*, *Journal of Philosophy*, 97:198–222, 2000

³²⁰ Ici sans doute, les définitions nominales permettent seulement de désigner un objet par ses caractères, de distinguer un objet des autres. Elles sont traditionnellement opposées aux définitions réelles, qui portent sur la nature, sur la réalité objectives des choses elles-mêmes (THINES-LEMPEREUR. 1975):

L'exemple concernant le grain de poussière a déjà été utilisé dans un autre contexte, réécrivons le :

Le mouvement d'une pierre cause sa rencontre avec une poussière.

La rencontre cause une modification du mouvement de la pierre.

La pierre au mouvement ainsi modifié cause le bris de la vitre.

Donc la poussière est cause du bris de la vitre

Ainsi présenté il semble s'agir d'un exemple où la transitivité est en défaut. Une poussière ne cause pas le bris d'une vitre, cela s'établirait naturellement par un raisonnement contrefactuel, en supprimant le grain de poussière, la vitre sera cassée de toute façon. Ainsi exprimé l'on pense ôter au grain de poussière sa qualification de cause alors qu'en réalité il reste la possibilité de le considérer comme une parmi des causes multiples. Cette dernière hypothèse semble cependant difficile à tenir car intuitivement on estime qu'il existe une proportionnalité entre l'effet et la cause. Un grain de poussière seul n'a jamais cassé une vitre. C'est habituellement constaté mais il est possible de construire un scénario où l'effet additionnel du poids d'un grain de poussière casse une vitre.

Faisons varier le contexte, la pierre est un astéroïde qui rencontre à quelques milliards de kms de la terre une poussière qui modifie sa trajectoire de façon instantanément infinitésimale, mais qui sur la distance le dévie de plusieurs kilomètres et le conduit à briser une vitre. Le micro alea rencontré dans la trajectoire sera naturellement considéré comme une cause, sans lui l'événement n'aurait pas eu lieu.

Il est également possible de supposer que la variation infime de trajectoire a fait tomber la pierre en un endroit très précis de la vitre où les vibrations entrent en résonance et la brisent, ce qui ne serait pas le cas sur la molécule de verre voisine.

Si nous reprenons le cas général ce que voulait sans doute exprimer l'exemple, sommes-nous vraiment en présence d'une violation de la transitivité ? Supposons l'impulsion initiale de la pierre suffisante pour casser la vitre quel que soit le point où sa trajectoire croise la surface de la vitre. En employant toujours la contre-factualité pour chercher ce qui brise la vitre on ne trouve que l'intersection de la trajectoire de la pierre avec la position de la vitre. Seront efficaces toutes trajectoires qui passent par la surface de la vitre et en particulier celles déterminées par la cause initiale, mais cela inclut toutes trajectoires modifiées de façon

marginale mais passant par la vitre.

Il n'y a que quatre cas possibles :

a) La trajectoire de la pierre passe par la vitre, le choc avec une poussière provoque une déviation marginale, la vitre intercepte toujours la trajectoire, elle se brise.

b) La trajectoire de la pierre passe par la vitre, le choc avec une poussière provoque une déviation marginale, la vitre n'intercepte plus la trajectoire, elle ne se brise plus.

c) La trajectoire de la pierre ne passe pas par la vitre, le choc avec une poussière provoque une déviation marginale, la vitre n'intercepte toujours pas la trajectoire, elle ne se brise pas.

d) La trajectoire de la pierre ne passe pas par la vitre, le choc avec une poussière provoque une déviation marginale, la vitre intercepte alors la trajectoire, elle se brise.

Cette formulation montre bien qu'il n'y a pas de problème de transitivité. Pour les cas a) et c) le discours ne ferait même pas apparaître le concept puisque le choc d'une poussière ne change rien, au mieux peut-on considérer le grain de poussière comme une cause de ce que le bris de la vitre sera légèrement différent de ce qu'il aurait été (C'est la présentation contrastive que nous retrouvons là).

Pour les cas b) et d) il est correct de dire que c'est une poussière qui cause le bris ou la sauvegarde, mais le discours fera apparaître un faux paradoxe pour un vulgaire caillou alors qu'il retiendra sans peine la transitivité dans le cas d'un astéroïde.

Dans l'exemple précédent l'ajout d'une relation causale ne détruit pas systématiquement le lien entre cause initiale et effet final (préemption), ce qui est le cas dans le contre-exemple du rocher, plus complexe.

Rappelons-le :

L'érosion provoque l'éboulement d'un rocher.

L'éboulement du rocher provoque du bruit.

Le bruit provoque une réaction d'un promeneur.

La réaction du promeneur sauve sa vie.

Est-on réellement dans une description où la transitivité est contestable au prétexte qu'un rocher sauve la vie d'un promeneur, ce qui est intuitivement

absurde ? Il faut déjà introduire l'affirmation : L'éboulement du rocher doit conduire à l'écrasement du promeneur pour que le paradoxe prenne sens. Il n'est en général que sous-entendu. Mais malgré tout la transitivité pose problème car l'effet premier de la cause initiale est d'interrompre le processus qui la reliait à l'effet final attendu.

Notons tout de suite une ambiguïté dans l'expression de l'effet final. La survie du promeneur n'est pas provoquée, c'est la mort qui est évitée. Le fait que le promeneur soit vivant résulte d'un ensemble de causes antérieures dans lesquelles aucun rocher ne peut raisonnablement avoir sa place. L'événement mourir écrasé, fait lui, plus souvent appel à un rocher.

En supprimant l'éboulement le promeneur n'est pas écrasé, l'effet est conservé, l'éboulement n'est donc pas contre factuellement cause unique de la survie.

On ne peut ici aller de la cause initiale à l'effet final, parce qu'intervient le bruit, si le rocher glissait de nuit sur la neige il aurait écrasé le promeneur qui ne l'aurait ni vu ni entendu. Lorsque l'on introduit cette cause dans la description il est sous-entendu que sans bruit le promeneur n'aurait pas eu de réaction et qu'un bruit seul, sans liaison avec un rocher dévalant, ne l'aurait pas inquiété davantage.

Cependant il est obligatoire d'introduire le fait que le promeneur n'est pas sourd. Si on supprime le sens de l'ouïe de ce dernier, il est écrasé, donc par le même raisonnement c'est sa faculté qui le sauve.

L'effet d'évitement n'a donc pas pour seule cause le bruit mais le rocher plus le bruit, plus l'ouïe, plus les réflexes, une situation complexe. Le schéma présenté comme purement transitif est altéré par l'introduction de causes supplémentaires, nécessaires mais non retenues dans l'énoncé initial. La description se bornera à expliquer que le bruit a sauvé la vie de ce dernier. Logiquement pourtant le pas en arrière a besoin de plusieurs éléments pour apparaître.

Il devient également intéressant d'étendre la description de la situation vers l'amont et dans le cours du processus. La structure du paradoxe devient alors :

Un promeneur vivant marche,	A - état initial,
un rocher se détache,	B - événement initial, première cause,
le rocher fait du bruit,	C- effet de l'événement B, deuxième cause,
le promeneur l'entend	C' - effet de C sous-entendu, troisième

	cause
le promeneur s'écarte,	D- effet de C' ? , quatrième cause qui empêche la modification de l'état,
Le promeneur reste en vie,	E- effet de D, constatation de la conservation de l'état.

Ainsi exprimée la transitivité semble maintenue.

- Elle n'est plus paradoxale, elle va d'un promeneur qui marche à un promeneur qui continue de marcher. L'état final étant égal à l'état initial il n'a pas à apparaître comme un effet de l'événement qui n'a pas eu lieu (l'écrasement) et qui aurait dû le modifier, l'état initial est maintenu durant tout le processus et présenté à son terme comme un état final.

- Le discours fait apparaître un paradoxe rémanent dans la liaison B et E. Il provient du passage de C' à D et dans une moindre mesure de l'expression de E. D n'est pas l'effet de C' mais de la situation créée par A et C'. Un bruit sans rocher proche, celui d'une avalanche lointaine n'eut pas été cause d'un pas en arrière, même sans le voir le bruit a été identifié par le promeneur comme celui de la chute d'un rocher proche. D est fondamentalement la résultante du système nerveux du promeneur et du bruit. Si (c) cause (e) et si (e) cause (e') alors certes (c) cause (e'), mais si (c) cause (e) et si (e) + (c') cause (e') alors la même affirmation n'est pas possible. Le choix de l'événement déclencheur, le bruit, comme cause par rapport au contexte, le système nerveux du promeneur en montagne, est typique d'une causalité subjective resserrant sa description sur les seuls faits qui lui semblent marquants, elle fait naturellement apparaître des paradoxes.

E devrait être formulé par « le promeneur n'est pas écrasé. Le paradoxe remplace cette expression « le promeneur reste en vie ». Nous avons l'impression d'un remplacement légitime, mais en fait « n'a pas été écrasé » recouvre toutes les situations où le promeneur est vivant plus toutes celles dans lesquelles il est mort d'une autre cause que l'écrasement. « N'a pas été écrasé » n'est pas identique à « reste en vie ».

En reformulant E ainsi nous faisons apparaître que le paradoxe se sert d'un inverse de la causalité des absences, nous avons vu qu'une absence ne peut être cause, il s'agit là d'un non-effet. Est-ce une privation ou un manque ? Plutôt un manque car être écrasé est un état possible du promeneur en montagne, on peut

donc écarter le non effet comme étant purement logique en étendant à l'effet le raisonnement de Kant pour la cause. Ce n'est pas un effet, ce que masque la formulation positive, « reste en vie ». A ce titre il ne peut être conservé dans une chaîne transitive qui se terminerait par le pas en arrière.

Le pas en arrière se trouve à l'intersection de deux chaînes causales, celle du promeneur

- un promeneur en bon état se promène,
- un promeneur en bon état entend un bruit suspect,
- Il fait un pas en arrière

Qui est une chaîne transitive, et de la chaîne également transitive

- un rocher se détache,
- un rocher détaché fait du bruit
- un promeneur l'entend

Il faut l'existence des deux chaînes pour conduire à l'état final, on ne peut considérer que le rocher cause la survie du promeneur. La transitivité est sauvegardée. Elle a paru en faute car la présentation utilise des événements au détriment des états, néglige que la cause puisse demeurer alors que l'effet apparaît, le promeneur est la cause de son pas en arrière, le rocher continue à dévaler en faisant du bruit, donc donne à divers éléments choisis intentionnellement une apparence de succession alors qu'ils varient de façon concomitante. La causalité est utilisée dans son caractère relationnel. Un discours qui décrirait l'évolution continue des phénomènes qui se passent dans un secteur de la montagne éviterait les paradoxes. Il utiliserait les adverbes dès, lorsque, tandis que, en même temps. Il ne pourrait être complet mais il se resserrerait dans l'espace et considérerait des intervalles de temps plus rapprochés lorsqu'il s'approcherait de l'événement décisif, le pas en arrière. Il dissoudrait la notion de cause parce qu'il serait obligé d'en voir partout, de la qualité anti dérapante des semelles du promeneur à la courbe de la montagne qui a déterminé la vitesse de la chute du rocher.

L'exemple un peu curieux du terroriste et de la morsure du chien qui l'oblige à changer de main pour déclencher sa bombe s'analyse presque de la même façon.

La sélection

Schaffer s'interroge ensuite sur l'objectivité de la sélection de la cause principalement à partir de la situation d'un incendie déclenché par un court-circuit.

Cet incendie nécessite de l'oxygène. Il note que la plupart des commentateurs identifieront le court-circuit comme une cause et la présence d'oxygène comme 'une condition de fond'. Il cite Mill qui maintient « Rien ne peut mieux montrer l'absence de fondement scientifique à la distinction entre la cause d'un phénomène et ses conditions que la manière capricieuse de choisir parmi les conditions ce que nous choisissons de nommer cause³²¹. » (244). De fait les tentatives « d'énoncer des principes objectifs ont échoué » (313). En particulier au sujet de la distinction entre conditions suffisantes et causes nécessaires (ou l'inverse). Dans le cas de l'incendie ni l'oxygène ni le court-circuit ne sont suffisants ou nécessaires (il y a des incendies en milieu fluoré sans oxygène). Une autre distinction proposée par Hart et Honore³²² (1985, 33) propose situations anormales et actions libres en tant que causes et situations normales et facteurs non agentiels en tant que conditions (313). L'imprécision est telle que la distinction n'apporte rien. Mais note Schaffer il existe trois raisons d'accepter la sélection :

La sélection est stable, pratiquement tout le monde choisit le court-circuit comme cause et la présence d'oxygène comme condition de fond

La sélection fait partie intégrante des pratiques juridiques et morales, reprenant un exemple tiré de Hart et Honoré, Schaffer cite le cas d'une collision entre navires dont l'un avait un pilote non licencié. La collision est-elle due à l'absence de licence, donc imputable aux armateurs qui avaient envoyé ce pilote, ou au pilote qui faisait la sieste au moment de l'accident ?

La sélection est un aspect « indissociable » de notre concept de causalité. Sans elle nous sommes privés de toute compréhension intuitive de la causalité objective.

Comme accoutumé, Schaffer construit un paradoxe sur la sélectivité et tente de montrer qu'une présentation contrastive les surmonte. Il est cependant conduit à reconnaître qu'il faut nier qu'il existe une base objective pour la sélection des contrastes, mais à affirmer qu'il existe une telle base compte tenu des contrastes. Ce qui varie c'est la recherche causale, ce qui est prévisible c'est la cause retenue compte tenu du caractère de la recherche. Il note que tout le monde convient que les déclarations du type (c) cause (e) dépendent du contexte, mais il s'étonne que les contrastes choisis pour exprimer le contexte soient mis du côté de la relation

³²¹ Ici d'après J.S. Mill, *a system of logic*, New York, Macmillan press, 1950, nous avons déjà cité le même livre dans une autre édition.

³²² H.L.A. Hart et Tony Honoré, *causation in the law*, Oxford, Clarendon press, 1985, p 119 sq

entre les mots et les usagers des mots plutôt que dans la recherche des conditions de vérité. (whether pragmatic,..., or semantic) (316)

Commentaires :

Il semble évident que selon que votre position soit celle de l'avocat de l'armateur ou de la compagnie adverse vous considérerez que la sieste du pilote ou son absence de brevet est la cause de la collision. Au cas précis le tribunal a retenu la sieste du pilote, l'auteur ignore ce qui a été jugé en appel.

Nous noterons que la sélection est un des points principaux qui met en valeur la différence entre une causalité objective et la causalité subjective. Pour reprendre le cas de l'incendie, si la présence d'oxygène n'était pas désirée (soudage sous argon par exemple) son arrivée inopportune alors que l'arc électrique pré existe serait naturellement considérée comme cause.

La distinction condition de fond, causes échoue sans doute mais on peut relever, puisqu'un exemple juridique a été invoqué la possibilité d'utiliser pour les distinguer, un faisceau de conditions convergentes, les composantes d'un état stable, les conditions suffisantes, peuvent être présumées faire partie des conditions de fond, l'élément qui apparait juste avant la production de l'effet ou qui a un caractère intentionnel est davantage saisi comme cause.

Si nous reprenons l'incendie, l'état de l'univers avant le court-circuit comporte localement de l'oxygène, des produits combustibles, un courant qui circule au travers d'un matériau naturellement isolant mais fragilisé. A un instant quelques électrons, dont la progression est décrite par une loi quantique sautent une barrière de potentiel qui a été affaiblie par la présence d'éléments conducteurs, ce courant chauffe l'isolant et amplifie le phénomène, la chaleur provoque une réaction chimique, elle aussi quantique, entre des molécules d'oxygène et celle du carton, un incendie se déclare.

La description devrait en soi être toujours de cette forme, mais outre son caractère surréaliste, elle serait évidemment incomplète, il faudrait indiquer ce qui a conduit à cet état de l'univers, par exemple simplement pourquoi il y avait du carton et de l'oxygène, et l'on ferait sans doute dans cette description intervenir une volonté humaine. L'explosion d'un stock de nitrate d'ammonium dans l'usine AZF de Toulouse en 2001 donne un excellent aperçu du problème de la sélection des causes.

Un enquêteur indépendant a même retenu la probabilité de l'amplification causale d'un mécanisme non causal, l'explosion d'une bombe à effet électro magnétique sans effet de souffle. Pour retrouver un lien entre sélection objective et sélection subjective, il semble au moins nécessaire de trouver un critère permettant d'écartier les sélections aberrantes, la couleur du papier peint de la pièce dans laquelle s'est produit le court-circuit par exemple.

La nature de la causalité subjective

Schaffer, en plus des conclusions que nous avons mentionnées, rajoute que la relation causale est plus ou moins contrefactuelle, nous ne contesterons pas cet avis qui est pour le moins prudent. Nous analyserons en détail la contre factuelité dans le chapitre suivant. Dans notre analyse des caractères d'extension et de sélection nous avons montré, en accord le plus souvent avec les auteurs cités, que ceux-ci dépendent du sens qui veut être donné au discours. Les relata peuvent être non seulement des faits ou des événements comme montré au chapitre précédent mais encore leur choix, leur présentation comme élément déterminant ou condition de fond dépend de ce que le locuteur veut prouver ou transmettre. De la même façon la causalité sera envisagée comme un processus ou une relation en fonction de l'intentionnalité du discours. Souvent comme un processus pour en montrer l'inexorabilité, la lente maturation, comme une relation pour mettre en valeur le caractère événementiel. Même si c'est le choix des relata qui aura plus d'importance, la causalité subjective peut être soit une relation qui reliera les événements, soit un processus qui reliera plus volontiers les états.

La nature de la causalité objective

La causalité objective doit permettre de résoudre les paradoxes que nous avons soulevés, elle ne doit pas avoir besoin d'une présentation contrastive et intégrer les découvertes de la physique contemporaine. Son arité n'a aucune raison d'être inférieure à trois, elle doit pouvoir ne pas tenir compte des extensions non pertinentes, évacuer le problème de la sélection. Elle doit être transitive car c'est la propriété que l'on reconnaît le plus à la causalité.

Ainsi, comme nous avons vu en particulier dans l'exemple du promeneur et du rocher nous pouvons retenir que la causalité, lorsqu'on l'envisage comme un processus perd de sa nature paradoxale, elle y gagne la suppression des problèmes

de transitivité et introduit de façon naturelle les causes communes. Elle supprime la causalité des absences apporte les limites nécessaires à la contre factuelité en considérant qu'un même effet peut avoir des causes suffisantes mais non nécessaires. La définition que nous avons donnée en introduction « *ce qui est désigné par cause (c) ou effet (e) n'est que la description de parties instantanées d'état de l'univers, reliées par une ou plusieurs lois* » s'applique bien à un processus, elle a une arité en général supérieure à deux. Le processus est en général formé par un ensemble de lois, en distinguant des causes différentes à des instants différents, cela permet d'exclure de la description les éléments correspondants aux processus qui se sont interrompus ou qui n'ont pas commencé au moment considéré.

Les problèmes de distinction entre le *background* et les éléments déclencheurs sont supprimés, tous les éléments descriptifs étant au même niveau. Il en est ainsi pour l'extension, ce sont les propriétés efficaces des objets qui deviennent fondamentales pas la dénomination des objets. Cela conduit à inclure dans la cause des éléments rejetés par la causalité subjective, l'adhérence des semelles du promeneur dans l'exemple que nous avons longuement étudié et retrace mieux l'incroyable complexité du réel. Notre définition semble résister mais elle n'est pas seule en lice. Il nous appartient de la confronter à quelques autres définitions contemporaines de la causalité.

3.4 – Philosophie : Causalité objective et autres approches

De nombreuses autres définitions de la causalité ont été proposées. Elles ne distinguent pas en général entre causalité objective et causalité subjective, aussi tombent-elles dans les pièges de la nature des relations, de la simultanéité des causes et des effets, des causes multiples. Elles se veulent objectives sans se qualifier ouvertement ainsi mais conservent les éléments de la subjectivité en ce qu'elles recherchent les éléments qui semblent les plus déterminants en matière de cause, en limitant le rôle du *back-ground*. Celles qui en sont les plus détachées ont un caractère nomologique, elles sont alors amenées à s'interroger sur le concept de loi. C'est le cas de la causalité par conservation d'une quantité transmise, probablement la présentation la plus élaborée à qui nous réserverons une large étude. Nous nous sommes servis sans la justifier, parfois à notre insu tant elle est naturelle, de la contre-factualité dans les raisonnements précédents. Il nous faut donc examiner de façon critique ce modèle avant d'aborder un panorama qui sera certes incomplet et sans doute approximatif, mais qui est établi dans un but comparatif et heuristique.

La causalité contre-factuelle

La contre-factualité a été relevée par D. Hume lui-même, comme nous l'avons signalée parmi les définitions qu'il a données de la cause. La cause d'un effet est un objet, « tel que, s'il n'avait pas existé, le second n'aurait jamais existé »³²³, mais il n'a pas ajouté de développement particulier à son assertion. Menzies³²⁴ considère que les premières véritables tentatives d'analyses rigoureuses de la contre-factualité datent de 1974 avec le livre de J.L. Mackie, mais retient que la première étude riche de potentialité est celle de Lewis en 1973, étendue dans des articles rassemblés en 1986 et révisée en 2004. La notion centrale retenue est celle d'une similarité entre des mondes possibles.

³²³ *EEH*, p. 144

³²⁴ P. Menzies, *Counterfactual Theories of Causation*, The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2017 Edition), Edward N. Zalta (ed.), <https://plato.stanford.edu/archives/win2017/entries/causation-counterfactual/> Nous n'utiliserons qu'une partie de cet article, extrêmement détaillé et riche et proposant une bibliographie remarquable.

La condition de vérité pour l'hypothèse « si (c) avait été constaté, alors (e) aurait été constaté » est : « Tous les mondes possibles où (c) est constaté et où (e) est constaté sont plus proches du monde actuel que tout monde possédant (c) mais ne possédant pas (e) ». Notons que s'il n'y a aucun monde où (c) est constaté, l'hypothèse est vraie³²⁵.

Il apparaît immédiatement une difficulté, il va falloir construire une relation d'ordre pour déterminer comment se rangent les mondes selon leur proximité avec le monde constaté.

La condition de vérité peut également s'exprimer par : « Lorsque (c) et (e) sont deux événements distincts, (e) dépend causalement de (c) si et seulement si, si (c) ne devait pas se produire, (e) ne se produirait pas ». Nous avons cette idée de contre-factualité dit Lewis parce que « Nous pensons la cause comme faisant une différence, cette différence étant entre ce qui s'est passé et ce qui se serait passé en son absence ». (D'où découle en partie la notion de causalité contrastive de Schaffer).

Notons que cause et effet sont dans la théorie, des événements, et doivent être distincts, au moins non compris l'un dans l'autre, dire bonjour n'est pas cause de dire bonjour à voix haute au motif que si je n'avais pas dit bonjour, je ne l'aurais pas dit à voix haute. De plus la contre-factualité ne doit pas être rétrospective, si (e) et (e') sont des effets de (c), il est incorrect de dire que (e) est cause de (e') car si (e) ne s'était pas produit, alors rétrospectivement (c) ne se serait pas produit, donc (e') n'aurait pu apparaître.

Les mondes possibles de Lewis sont des mondes où agissent des lois de la nature semblables à celles connues dans le monde actuel. Mais si les lois sont déterministes il n'y a pas de monde possible différent du nôtre à partir de conditions initiales similaires, la différence doit être due à de « petits miracles ». Des objections sont évidemment possibles dont l'exemple canonique, cité par Menzies, est que la définition de Lewis rendrait fausse le contre-factuel suivant : « si Nixon avait pressé le bouton il y aurait eu une guerre nucléaire ».

En effet le monde dans lequel le bouton est pressé mais dans lequel un petit miracle empêche la transmission du signal vers les fusées est plus près du nôtre que

³²⁵ Vieux paradoxe de logique, « si la reine d'Angleterre était un homme, alors je serai la reine d'Angleterre » est considéré en logique classique comme une proposition vraie.

celui où il est pressé et où il y a eu une guerre thermo nucléaire.

Donc si « bouton pressé et absence de guerre nucléaire » est plus près que « bouton pressé et guerre nucléaire », bouton pressé ne peut pas par définition être la cause d'une guerre nucléaire.

Lewis répondit que devait être prise en compte la similarité entre les lois de la nature mais aussi les faits particuliers. La correspondance ici doit être réalisée au prix d'un petit miracle, il faudrait un grand miracle pour rétablir la correspondance entre une zone dévastée par une guerre thermo nucléaire et le monde actuel. Il faut également tenir compte de l'asymétrie temporelle des faits dans le monde réel. L'on peut aller d'un bouton pressé à un immeuble en ruine, pas d'un immeuble en ruine à un bouton immobile.

Menzies examine ensuite l'exemple de deux tireurs A et B qui visent un dictateur. Sachant qu'ils sont sûrs de leur atteinte, ils décident de ne tirer qu'une seule fois. Si A tire B ne tire pas. Dans ce cas, le tir de A est bien la cause de la mort du dictateur mais dans un monde où A ne tire pas, B tirerait et le sort du dictateur serait le même. La contre factuelité semble prise en défaut.

Lewis va introduire la notion de dépendance causale entre événements réels. Elle est suffisante pour qu'il y ait causalité mais n'est pas nécessaire. Dans cet exemple les actions de A et B sont équivalentes du point de vue de la dépendance causale, A et $\neg B$ ³²⁶ produisent le même effet que B et $\neg A$, $\neg A$ et $\neg B$ annulent la mort du dictateur. Mais il existe une chaîne causale allant de A à la mort du dictateur qui permet de distinguer entre cause préemptive et cause préemptée.

Il rajoutera à ses conditions de vérité la définition suivante :

(c) est cause de (e) si et seulement s'il existe une chaîne de causalité reliant (c) et (e).

Il prendra en compte la physique non déterministe et l'apparition d'effets à caractère probable en remplaçant (e) par $\text{Pr}(e)$ ou Pr est un opérateur de probabilité, ce qui modifiera la définition de la causalité contre factuelle en :

Si (c) et (e) sont des événements actuels distincts, (e) dépend causalement de (c) si et seulement si, si (c) ne se produit pas, la probabilité que (e) apparaisse sera moindre que sa probabilité réelle.

Des probabilités égales à 0 et 1 sont les cas limites pour les événements se

³²⁶ $\neg B$, notation classique pour B n'est pas constaté.

produisant de façon déterministe.

Selon Menzie la présentation contre factuelle de la causalité présente des avantages,

- Elle rompt avec la théorie classique de la répétition constatée de la succession de phénomènes.

- Elle prend en compte les effets conjoints d'une cause commune en introduisant l'interdiction d'un raisonnement rétrograde.

- Elle gère le problème des causes préemptées

Mais de nombreux auteurs ont une appréciation plus négative de la théorie³²⁷. Elle ne tient pas compte en particulier du contexte et ne distingue pas entre conditions de base et événements déclencheurs³²⁸. Dans l'exemple du campeur qui met le feu à une forêt car une saute de vent a renversé son réchaud, la présence de bois et d'oxygène est une cause autant que la saute de vent ou l'allumage du réchaud. Pire elle peut rendre l'absence causale et le météore qui n'a pas frappé le campeur semble être une cause contre factuelle.

Certes Lewis veut donner une définition objective de la cause mais il n'indique pas comment distinguer entre les mondes proches du nôtre (construire la relation d'ordre dont nous avons noté la nécessité plus haut), un monde où le campeur décède d'une maladie cardiaque semble aussi proche du nôtre que celui où il n'y a pas de saute de vent.

Il étudiera ce que nous avons abordé également en amont, le problème de la fragilité des événements et sera amené à conclure que l'esprit humain peut sélectionner certaines parties de l'histoire causale pour attirer l'attention, mais il ne donne pas de principe pour éviter une sélection abusive. Il semble selon lui que l'on ne retienne que les situations qui s'opposeront à l'effet. Mais cela conduit à un paradoxe exemplifié par la famine en Inde, est-elle une situation normale ou anormale ? Peut-elle avoir pour cause une sécheresse passagère ou l'inaction du gouvernement qui n'a pas constitué de réserves de grain par rapport à une situation endémique ?

L'affirmation de Menzie sur la gestion par la contre factualité des causes

327 P. Horwich, *Asymmetries in Time*, Cambridge, M.I.T Press, 1987

M. S. Moore, *Causation and Responsibility: An Essay In Law, Morals, and Metaphysics*, Oxford, Oxford University Press, 2009

328 H.L. Hart and T. Honore, *Causation in the Law*, Oxford, Clarendon Press, 1965

préemptées n'est pas évidente. Ce problème va conduire Lewis à distinguer entre préemption précoce et préemption retardée donc à faire agir de plus en plus la qualification des relata sur la nature de la relation. Les problèmes vont se multiplier en envisageant la causalité aléatoire de la physique.

Tous les exemples voulant montrer des inconséquences de la théorie de la contre factuelité sont d'une structure identique à ceux que nous avons rencontrés précédemment. Il semble cependant que les auteurs se soient fait un malin plaisir à complexifier les situations, si un assassin verse un poison dans la boisson du roi mais que son goûteur verse un antidote sachant que l'antidote est mortel s'il est pris seul qui est 'responsable' de la survie du roi ?

Commentaires

A la vue des précisions que Lewis est obligé d'introduire, se renforce l'hypothèse que la causalité contre factuelle est de type subjectif, naturellement employée pour affirmer la responsabilité de l'élément manquant et que ce faisant elle utilise toutes les ressources du discours, choisissant ses relata et définissant de façon arbitraire en quoi un des mondes contre factuels est plus proche ou éloigné du monde constaté.

Nous avons renvoyé en annexe I la démonstration de la façon dont le concept de causalité objective 'résiste' au paradoxe du poison cause de la survie, cité plus haut. Notons qu'il existe une façon de relier la contre factuelité à la causalité objective qui revient à l'expression originale de Hume, on envisage la différence entre l'état actuel de notre monde et celui d'un monde dans lequel un événement antérieur, constaté dans notre monde ne se serait pas produit. L'évolution du monde supposé obéit alors, strictement et sans miracle³²⁹, aux lois du nôtre. L'action manquante peut être alors considérée comme appartenant à l'ensemble des causes de la différence. L'inverse n'est pas vrai, une absence de différence peut être la conséquence d'une cause multiple ce qui n'autorise plus à retirer l'événement antérieur de l'ensemble des causes.

Pour ne pas être circulaire le raisonnement contre factuel doit faire intervenir une ou plusieurs lois retraçant l'évolution d'un monde sans (c), sinon en affirmant $\neg(c)$ alors $\neg(e)$ il rend implicite le lien (c) et (e). Or les lois ne relient jamais les

³²⁹ Le seul miracle étant l'absence d'un événement qui peut être important et être la résultante d'un déterminisme mécanique (un tsunami par exemple). Mais il ne s'agit que d'une absence logique, le terme miracle semble inadapté.

absences, même en considérant qu'il ne s'agit pas là de la causalité des absences mais de l'évolution d'un monde où une cause est absente la tâche est ardue. Il suffit pour s'en convaincre de considérer les discussions sur l'évolution d'un monde n'utilisant pas l'électricité d'origine atomique.

Remarquons également ce qu'implique la contre-factualité lorsqu'elle semble justifier des décisions contradictoires. Pour limiter le nombre d'accidents entre les piétons et les voitures, on peut soit supprimer les piétons, soit les voitures. La première solution est appliquée sur les autoroutes, l'autre dans les villes. Cela signifie, car ces décisions sont raisonnables, que les conditions de fond, ici ville ou campagne ont une importance au moins égale aux éléments déclencheurs et qu'ils doivent être pris ensemble dans une définition objective de la causalité.

La causalité comme transfert d'énergie

Parmi les théories les plus consistantes et objectives de la causalité figure celle de M. Kistler qui est parvenu à une formule resserrée. Nous avons indiqué sa façon de procéder en préface, nous pouvons ajouter à quel point la présente thèse lui est redevable tant dans sa démarche que dans ses conclusions. Rappelons qu'il commence par élaborer un concept de causalité « très général à l'égard de son champ d'application et très restrictif en raison de son caractère physique » et rejette ou retient, pendant le cours de l'analyse les propriétés qui lui semblent fondamentales. Ainsi il adopte le concept de loi de la nature et rejette l'idée d'une dichotomie entre deux types de loi, celles « de la physique fondamentale » et celles qui font l'objet des sciences spéciales ». Il postule rapidement que « deux événements sont reliés comme cause et effet si et seulement si une quantité déterminée d'une grandeur conservée est transférée entre l'un et l'autre »³³⁰. Puis précise en introduisant la notion de loi, « Deux événements c et e sont liés comme cause et effet si et seulement s'il existe une grandeur physique P , soumise à une loi de conservation, exemplifiée dans c et e , et dont une quantité déterminée Q est transférée entre c et e . ». Il interroge le terme « transfert » car s'il impliquait la causalité alors la définition serait tautologique, aussi on dira qu'une quantité Q est transférée entre (c) et (e) si elle est présente dans (c) et dans (e). L'acte du transfert

³³⁰ Max Kistler, *Causalité et lois de la nature*, Paris, Vrin, mathésis, 1999 p 10

n'est pas considéré. Que la quantité Q qui était présente en (c) soit trouvée présente en (e) suffit à caractériser une relation causale.

Certains auteurs ont toutefois mis en doute la possibilité d'un tel transfert car la quantité transférée doit rester la même à travers le temps, donc avoir le caractère d'une substance. D'autres ont nié la possibilité de reconnaître la quantité transférée avant et après le transfert et de l'identifier à la même chose. M. Kistler répond à ces objections en définissant la quantité transférée comme un particulier abstrait. Ce n'est pas un universel et cela n'a pas non plus de rapport avec l'identité dans le temps des objets concrets. La quantité de mouvement est un exemple de ce type de particulier abstrait. La quantité de mouvement d'une paire de particules est une valeur associée à l'ensemble des particules, un « troisième sens du prédicat a possède b ».

Une telle définition de la causalité conserve naturellement la notion humienne de contiguïté mais ne l'implique pas. En effet un transfert peut se faire entre deux objets distants, à condition cependant que la vitesse de ce transfert ne viole pas le principe de l'impossibilité pour toute vitesse d'être supérieure à celle de la lumière. Le paradoxe EPR³³¹ qui semble impliquer une transmission d'information à une vitesse instantanée ne peut donc être défini comme résultant d'une interaction causale. C'est pour M. Kistler une relation non locale et non causale, elle sauvegarde la validité de sa définition.

Hume avait également placé la cause et l'effet dans le cadre d'une succession temporelle. Une définition proche de celle de M. Kistler, donnée par D. Fair en 1979³³², introduit un sens du transfert le long d'un axe temporel. L'effet ne peut précéder la cause. La définition précédente n'exclut pas, *a priori*, que l'effet puisse précéder la cause. L'asymétrie de la causalité par rapport au temps n'est pas pour elle un aspect constitutif de la relation causale. La définition fait de la causalité une notion indépendante du temps. De fait M. Kistler prend en compte les prévisions d'une expérience qui a été proposée mais sera réalisée après la sortie de son ouvrage, celle de la « gomme quantique³³³ ».

³³¹ Voir *infra*

³³² D. Fair, *Causation and the flow of energy*, Erkenntnis 14, p 219, 1979, cité par M. Kistler

³³³ C'est une expérience dont l'idée était de pouvoir, a posteriori, dans le cas de la formation de franges d'interférence, déterminer par quel chemin était passé le photon. Il existe en effet un appareil qui ne provoque pas la réduction de la fonction d'onde d'un photon incident et qui en émet deux corrélés lorsqu'il en reçoit un. Il suffit alors de comparer ensuite le comportement des photons secondaires pour connaître le chemin du photon initial. On aurait ainsi une possibilité de déterminer le chemin pris par un phénomène ondulatoire. Il semble,

Le problème de la simultanéité des causes et des effets, que Hume réfutait est traité de façon beaucoup plus complexe. L'exemple proposé comme sujet de réflexion est cependant simple, soit un glaçon en train de fondre dans un verre d'eau tiède. Dira-t-on que le glaçon est cause du rafraichissement de l'eau ou l'eau cause de la fonte du glaçon ? Il existe un transfert d'énergie entre l'eau et le glaçon, le sens de ce transfert détermine-t-il les places respectives de la cause et de l'effet ? Ici, l'eau tiède qui cède de l'énergie au glaçon serait la cause, mais le sens commun sait que l'on met des glaçons dans l'eau pour la refroidir, il sait aussi que l'on dégivre les frigidaires à l'air chaud, il n'a donc pas de réticence à l'idée de causes simultanées. Hume a réfuté cette notion de cause simultanée en disant qu'elle impliquerait qu'une cause 'explose spontanément' au sein d'un objet, en absence d'un événement extérieur, ce qui serait contraire au principe de raison suffisante. En réfutant à son tour sur cet argument la théorie humienne, Kistler lui oppose la désintégration spontanée des atomes radioactifs. L'on sait qu'en partant d'une masse quelconque d'un élément radioactif, l'on sera, au bout d'une période appelée demi-vie de cet élément, en présence d'une masse réduite de moitié, le reste s'étant désintégré. Mais il est impossible de considérer la désintégration d'un atome particulier comme résultante d'un événement extérieur. Il existe des événements sans cause, cette démonstration de Hume sur l'impossibilité des causes simultanées est donc selon M. Kistler, fausse.

Mais rejoignant la conclusion de Hume, comme toute interaction suppose un vecteur de cette interaction voyageant à une vitesse finie, M. Kistler conclut qu'il n'y a pas de simultanéité de la cause et de l'effet. L'atome excité de l'eau tiède émettra un rayonnement qui le fera descendre dans un état plus froid, ce rayonnement sera reçu par un atome du glaçon qu'il excitera.

En analysant la relation entre la pression et la température régnant à l'intérieur d'un gaz parfait, il voit un cas possible de réfutation de Hume en considérant qu'il s'agit d'un cas type de simultanéité d'effets et de causes. La pression fait varier la température qui fait varier la pression jusqu'à l'obtention d'un équilibre. M. Kistler soutient qu'il ne s'agit pas d'une relation causale en ce sens que « cause et effet ne

car les problèmes d'interprétation deviennent très ardues, que lorsque l'on parvient à connaître ce chemin, le phénomène de diffraction disparaît. Une des interprétations fait réagir la deuxième mesure, postérieure, sur le résultat de la première. Elle autoriserait une rétroaction quantique de l'effet sur la cause.

sont qu'un seul événement ». L'étude de ce cas est également importante pour notre définition de la causalité objective, elle est longue et assez technique, nous l'avons renvoyée en annexe J.

Pour Hume les causes étaient des objets, ce n'est pas implicite dans la définition de M. Kistler. La catégorie ontologique d'évènement lui semble mieux convenir à la cause (et à l'effet). Pour l'auteur « un objet est un particulier qui est seulement déterminé dans ses dimensions spatiales, mais non dans la dimension temporelle³³⁴ », il se distingue d'un événement qui est selon E.J. Lemmon³³⁵ « identique à une zone spatio-temporelle ». Une telle distinction permet d'éviter le problème de la persistance des objets dans le temps que niait Hume. Si chaque événement selon Quine « inclut le contenu aussi hétérogène qu'il soit, de quelque portion de l'espace-temps, aussi déconnectée et de forme étrange qu'elle soit », l'on s'aperçoit que sa définition n'est pas éloignée de celle d'un objet, elle lui rajoute seulement une dimension temporelle. Elle présente moins de contraintes que celle d'objet. En fait elle permet d'expliquer la permanence dans le temps d'un objet concret, l'objet persiste à travers le temps parce que chacune de ses tranches temporelles transmet à la suivante les quantités de grandeur conservées qu'elle porte (matière et énergie par exemple).

L'auteur souligne qu'il ne faut pas confondre les événements avec la zone d'espace-temps qu'ils occupent et remarque que la formulation de Lemmon conduit à des paradoxes. Celle de Quine est plus satisfaisante mais ultérieurement ce dernier a considéré que seule la durée de l'extension dans le temps distinguait les événements dont la durée est courte des d'objets à durée longue. L'auteur propose de ne retenir comme relata de la relation causale que les événements, un objet s'en distinguant « par le fait que son identité ne dépend que de sa détermination spatiale et non temporelle ».

Causalité et lois de la nature.

M. Kistler reconnaît que sa définition de la causalité implique au moins une loi, celle de la conservation de l'énergie qui est transférée entre la cause et l'effet. Ce qui le conduit à poser deux questions ;

Le rapport nomique entre la cause et l'effet prend-il toujours le caractère d'une

³³⁴ *Idem*, p 64

³³⁵ *Idem*, p 65

loi de conservation ? Celle-ci est-elle suffisante dans le cas où elle serait nécessaire ? L'exemple de la loi du gaz idéal montre que n'importe quelle loi de la nature n'implique pas causalité. Kistler pense donc qu'une loi de conservation ne suffit pas pour créer une relation de causalité. En s'appuyant sur les travaux de Dieks et d'Aronson qu'il critique parce qu'ils tentent de définir « la causalité du sens commun » il montre que parmi les termes que Hume avait relevé dans la définition de la causalité, et qu'il trouvait tous synonymes, « efficace, opération, pouvoir, force, énergie » un seul correspond à une conservation, l'énergie et ce terme a de plus un sens physiquement bien défini. Cela permet d'avoir accès à ce que Hume considérait comme impossible : la construction logique qui conduit de l'effet à la cause³³⁶.

La définition de M. Kistler recoupe donc sur bien des points la critique humienne. Elle considère avec elle qu'il n'y a pas de causalité simultanée mais pour des raisons différentes, elle conserve la contiguïté et ne considère la succession que comme une règle générale que l'on peut transgresser. Elle en diverge en considérant que la cause n'est pas un objet mais un événement et que l'introduction d'une loi de la nature mettant en œuvre la conservation est nécessaire mais pas suffisante pour définir une relation causale.

Kistler critique la position de Carnap que nous avons étudiée, selon laquelle relation causale signifie prédictibilité. La prédictibilité est comme l'explicabilité, une « relation logique entre des connaissances possibles ». Il considère qu'il manque à sa définition la notion de responsabilité. Selon ses termes une explication causale est vraie si :

« Les énoncés reliés par l'explication causale sont vrais... Si ce sont des faits... Si le fait constituant l'*explanans* attribue à la cause la propriété qui est causalement responsable de l'existence d'une relation causale entre elle et l'effet ». Cette propriété est due à une loi de la nature. En introduisant la notion de 'vraie' Kistler rejoint la logique donc la déduction, ce qui est permis par une loi de nature, mais impose que cette loi relie des termes ayant un sens. Il donne des exemples toujours simples :

Socrate est mort parce qu'il a bu la ciguë à 18 heures est une affirmation vraie si et seulement si Socrate a bu la ciguë à 18 heures. En admettant que c'est le cas,

³³⁶ Nous contesterons ce point.

l'on voit bien qu'il y a dans l'énoncé de la cause, un élément vrai mais dénué de 'responsabilité causale' avec la mort de Socrate. Eut-il bu la ciguë à 16 heures que sa mort serait survenue. La responsabilité causale est le caractère qui est attribuable au simple fait de boire. L'élucidation de ce caractère, jointe à une loi de nature, on meurt si l'on boit la ciguë, donne une vraie explication causale.

M Kistler est conduit à une critique des conceptions nomologiques de la causalité que nous ne pouvons passer sous silence, notre conception étant on ne peut plus de ce type. Il note :

- Réduire la causalité à une déduction logique à partir d'une loi revient à la réduire à la possibilité d'une explication causale.

- Nombre d'explications ne sont pas causales, les explications mathématiques sont de ce type et pour prendre un exemple simple il en est de même pour l'explication de la hauteur d'un bâtiment par le calcul à partir de son ombre. En fait l'auteur détermine sept familles d'explications non causales.

Mais la critique fondamentale provient de ce que l'on ne peut « pas déduire qu'un objet exemplifie la propriété conséquente d'une loi du fait qu'il exemplifie la propriété précédente...une telle déduction est illégitime car il s'agit d'un cas d'application de la loi à un cas particulier³³⁷ » L'argument repose sur le fait que les lois admettent des cas particuliers et que leur application dépend des conditions d'applications. Prenons un exemple qui j'espère ne déforme pas la pensée de l'auteur : « le poids est tombé parce que le fil de fer qui le retenait était trop mince ». Il existe une loi reliant la résistance d'un fil de fer à sa section, mais cette résistance est aussi fonction de la température.

Ces arguments méritent que l'on s'y arrête, ils permettent de préciser la définition de causes que nous avons proposée. Elle sous-tend que les lois ne sont rien d'autres que l'expression de régularités universelles³³⁸. Si ce critère est admis comment distinguer les deux expressions « tous les objets en or massif ont un volume inférieur à 1 kilomètre cube » de « tous les objets en uranium 238 ont un volume inférieur à 1 kilomètre cube³³⁹ ». La première est une « coïncidence » la seconde la conséquence d'une loi régissant les masses critiques des matériaux

³³⁷ *Idem* p 192

³³⁸ M. Kistler note que c'est la position de Goodman, Bratthwaite, Nagel, Empel., Carnap, Lewis. Ce n'est pas une proposition révolutionnaire.

³³⁹ *Idem*, p 107

Les autres approches

fissibles. Nous n'avons surtout pas donné à la loi le caractère de nécessité qu'elle ne peut avoir même si l'analyse du livre de E. Boutroux est renvoyée en annexe, car cela semble aller de soi après l'étude du déterminisme.

D'autre part nous répugnons à admettre le caractère de loi à l'affirmation sur les objets en or car il n'y a certes jamais eu de constatation d'un objet de ce type mais rien parmi l'éventail des autres lois ne s'opposerait à son inverse (il n'y a pas de loi qui interdise à un objet en or d'avoir un volume égal à une planète). L'ensemble des lois doit être cohérent mais il est évolutif. Ce disant nous nous rangeons selon l'auteur dans un courant nominaliste qui doit renoncer à établir une distinction sur une base objective. Nous l'admettons et pour deux raisons :

- Le concept de loi que nous avons retenu dans notre formulation de la causalité objective est subjectif en ce sens qu'il est celui qui rend la causalité objective pour les locuteurs. « Le lieu naturel des graves est le bas » a été une loi pendant longtemps, elle exprimait pour ses contemporains la causalité objective pendant quelques siècles.

- Les lois font intervenir des nombres affectés aux objets, pas les objets. Les lois qui relient les particules subatomiques sont établies selon une théorie globale sous-jacente, les diagrammes de Feynman décrivent le rôle éphémère de particules virtuelles. Des approches différentes existent. Il n'y a eu pendant longtemps rien de plus objectif que les lois faisant agir des forces. La physique ne s'en sert plus guère.

Les résultats de certaines lois dépendent des conditions d'application. Le plus simple est de considérer que les conditions d'applications font partie de la définition des lois.

Qu'il existe des explications non causales n'est pas contradictoire avec le fait que toute cause se veut une explication.

N'oublions pas, quelle que soit la loi utilisée, qu'il y a une limite à la description de la situation initiale limite ontologique et non due à la précision insuffisante des appareils de mesure. Dès lors il n'y a que des cas particuliers, certains indiscernables ce qui complexifie l'approche philosophique, privée de la notion du même au profit de celle du semblable.

Les autres approches

Une partie de ces approches a été listée par M. Kistler lui-même, dans un article

plus général, publié dans la revue *intellectica* en 2004. L'abondance des contre-exemples que l'on peut construire pour objecter à chaque définition peut conduire à considérer³⁴⁰ que la notion de cause est sans doute une notion 'première' car la critique qui est faite en exhibant un contre-exemple, revient évidemment à donner une nouvelle définition intégrant le contre-exemple et à supposer qu'il doit être considéré comme une situation de causalité par celui que l'on contredit. La variété des solutions proposées fait que la liste ci-après n'est certainement pas complète. Il faut imaginer chaque type de causalité proposé comme représentant d'une famille; non régulariste, contra factuelle, interventionniste, etc...

La cause INUS

J.L. Mackie, a publié en 1980 une nouvelle définition de la cause. Elle correspondait à la recherche médicale où il était évident que différents ensembles de facteurs pouvaient être à l'origine d'une maladie. Un seul des facteurs n'est généralement pas suffisant, mais un seul des ensembles est nécessaire. La cause est devenue une INUS condition, (Insufficient but Necessary part of an Unnecessary but Sufficient set of conditions). Une partie non suffisante mais nécessaire d'un ensemble de conditions non nécessaire mais suffisant pour obtenir le résultat. Si la définition est très éclairante sur le plan médical, (si un facteur est nécessaire, alors il apparaît dans tous les ensembles), au plan philosophique elle fait passer de la cause au champ causal, et demande de déterminer les mots nécessaire et suffisant, ce qui conduit à d'autres difficultés.

La théorie néo humienne

Proposée par Hausman en 1998, elle stipule, si les événements de type B suivent toujours les événements de type A, que a cause b si et seulement si :

a est de type A et b de type B

a est antérieur à b

a est nomiquement nécessaire et suffisant pour b dans les circonstances (il n'est pas incompatible avec les lois de la nature que a ait lieu et pas b et que b ait lieu et pas a. On a b si a et si b alors a)

a contigu à b spatio-temporellement.

³⁴⁰ Ce que nous ferons, avec des réserves, *in fine*

Formulée en termes de proposition, il ne s'agit que de la définition de Hume, pour laquelle la régularité est assurée par l'existence d'une loi. La loi ayant son fondement dans la régularité, la circularité est évidente. Une telle formulation est susceptible de recevoir les critiques faites lors de l'analyse des définitions humiennes. Les lois de la nature ne sont pas discernables en tant que causalité seulement en tant que relation. Il peut y avoir des successions temporelles non causales, l'électricité de l'air cause l'éclair puis le tonnerre donc le tonnerre est cause, selon la définition, de l'éclair.

L'explanans-explanandum

Hempel et Oppenheimer proposèrent de distinguer, l'*explanans*, énoncé des conditions antécédentes et des lois générales, duquel une déduction valide permet de fonder l'*explanandum*. Alors l'*explanans* est la cause de l'*explanandum*.

Cette définition permet d'aller de loi en loi (de la gravitation aux lois de Kepler par exemple). L'*explanans* doit pouvoir être testé par l'observateur et ne comporter que des énoncés vrais. Les lois toutefois ne sont connues que par induction et les antécédents compris dans l'*explanans* sont facilement extensibles à l'univers entier.

Comme tous les modèles déductif-nomologique celui-ci se heurte au problème de la coexistence. La période d'un pendule est normalement considérée comme un effet de sa longueur, mais la longueur du pendule est pour la même définition un effet de sa période, ce qui est moins immédiat à admettre mais aussi vrai.

L'analyse compositionnelle pose également un problème, quelle est la cause de la dissolution du sucre dans l'eau ? « Il n'existe entre les propriétés des composantes et leur relations mutuelles et la propriété ainsi réduite de l'objet complexe aucune relation causale, ne serait-ce que parce qu'il s'agit de la possession de différentes propriétés par des objets qui se trouvent au même endroit en même temps.³⁴¹ »

Cette définition permet de remonter de l'effet pour expliquer la cause, ainsi l'ombre d'une tour est un explanans pour l'ensemble hauteur de la tour et position du soleil. Elle peut conserver des informations sans pertinence dans la cause, même indécélables, ainsi le sel se dissout parce qu'il a été ensorcelé reste un *explanans* valide permettant même de déduire que tous les sels sont ensorcelés.

³⁴¹ Kistler, *intellectica*, 2004/1, p 38

L'interventionnisme

Une théorie de ce genre postule que A est cause de B, si provoquer A est pour un agent libre un moyen efficace de provoquer B, (Menzies et Price 1993, p 148)³⁴², cette définition très curieuse se heurte au moins à trois arguments :

D'où vient la liberté du sujet ? Il faut la dégager du concept de causalité avant de pouvoir l'utiliser.

Il existe des événements connus des hommes, qui échappent à l'action humaine, que l'on considère comme devant être causés et qui échapperaient ainsi à leur qualification, l'apparition de la vie sur terre serait ainsi sans cause.

Elle est complètement anthropomorphique, il n'y a pas de cause s'il n'y a pas connaissance par un agent d'un mécanisme sur lequel il peut agir, donc pas de cause avant la théorie scientifique ou la série d'expérience permettant d'établir A. Cependant a posteriori une telle définition permet de reconnaître clairement la nature causale que l'on prête à certaines relations. On retrouve par un biais la critique anthropomorphique de Russell.

Le probabilisme

La notion recouvre toute une famille ou la causalité correspond à une définition de la forme : A est cause de B si de davantage de A découle davantage de B. C'est une définition intéressante, proche de la précédente, A sera mis en œuvre si l'on croit que B en découle, mais l'augmentation des occurrences n'est pas évidente, la multiplicité des nuits n'en fait pas la cause des jours. Comment traiter les événements singuliers ? Il y a des facteurs tiers qui peuvent s'intégrer entre A et B, par exemple, s'il y a plus de chasseurs il y aura plus de gibier tué, mais seulement si le gibier ne manque pas. Il existe de plus des cas mathématiques complexes contre intuitifs. Les statistiques d'admission à Berkeley montrent que les hommes ont une fréquence d'admission plus grande que les femmes. Etre un homme serait donc une cause de l'admission. Cependant il se trouve que Berkeley est divisée en plusieurs établissements et que les hommes se présentent majoritairement dans ceux où il est le plus facile d'être admis. Ce simple fait invalide la conclusion précédente. La théorie probabiliste fournit au mieux une explication de type nomologique.

Prenons l'exemple célèbre de la tempête et du baromètre souvent utilisé par

³⁴² Voir note M.K.

W. Salmon, si l'on se réfère à une définition probabiliste de la causalité³⁴³ donnée par J. Suppes en 1970, elle consiste à affirmer que si (e) est postérieur à (c), on peut dire que (e) est cause de (c) si la probabilité de (e) en présence de (c) est plus grande qu'en son absence.

Cela ne pose pas de problème pour le tabagisme et le cancer du poumon mais conduirait à considérer le baromètre comme cause de la tempête, ce qu'il n'est pas selon l'opinion générale. Pour éviter de confondre corrélation et causalité il a fallu par exemple (d'autres méthodes ont été employées) rajouter des notions complémentaires tel le principe de la cause commune puis celui de fourchette interactive dont les effets restent corrélés même en présence de cause commune³⁴⁴. Signe encore une fois qu'il existe un concept commun de cause qui a la capacité curieuse de faire l'objet d'un consensus réel lorsqu'on ne cherche pas à le définir, et de divergences dans le cas contraire.

Le transfert

Ce qui fait qu'A soit cause de B c'est que quelque chose soit transmis ou transféré entre A et B. Cette famille de définitions comporte celle de M. Kistler mais donne un sens plus large à ce qui est transféré. Ainsi selon W. Salmon (1984), le principe de causalité est un principe de 'transmission des marques' ainsi défini :

« Soit P un processus qui, en l'absence d'interaction avec d'autres processus resterait uniforme par rapport à une caractéristique Q qu'il exhiberait continûment sur un intervalle spatio-temporel contenant les points A et B. Alors, une marque (qui consiste en la modification de Q en Q*) qui a été introduite dans le processus P au moyen d'une seule interaction locale au point A, est transmise au point B si et seulement si P exhibe la modification Q* en B ainsi qu'en tous les points situés entre A et B sans qu'aucune autre interaction ne soit nécessaire³⁴⁵. » Remarquons que cette définition est contre factuelle mais qu'elle utilise clairement la notion de processus, en fait il semble que plus la définition tend à devenir objective, plus on y intègre l'idée de loi de la nature.

S'il y a description de l'interaction la définition ne dit rien de la production

³⁴³ Frederick Suppe, *The Structure of Scientific Theories*, Urbana, University of Illinois Press, 1977

³⁴⁴ Exemple de la diffusion Compton par Salmon (cité in <https://plato.stanford.edu/entries/wesley-salmon/>)

³⁴⁵ Pierre Sagaut, *Introduction à la pensée scientifique moderne*, Institut Jean le Rond d'Alembert, Cours de culture générale, 2008, p 199

causale. Salmon avait souligné que c'était la capacité de transmettre une marque qui caractérisait un processus, non le fait qu'il en transmette réellement. Après les remarques de Phil Dowe, la transmission des marques a été abandonnée au profit de la transmission d'une quantité conservée.

La quantité conservée

Très proche de la précédente, cette famille y ajoute la conservation d'une quantité. Elle propose une définition en deux temps :

« Un processus causal est une trajectoire spatio-temporelle d'un objet qui possède une quantité conservée

Une interaction causale est une intersection de trajectoires qui implique l'échange d'une quantité conservée³⁴⁶ ».

L'on aperçoit alors l'apport de M. Kistler faisant une synthèse des deux définitions précédentes qui présentaient des difficultés. En effet, la marque fut vite définie comme un caractère, une altération de propriété, mais le caractère transmis a un aspect de cause. C'est une altération de propriété due à une interaction locale singulière. La cause est alors cause parce qu'elle cause.

On est donc passé de la marque à la quantité conservée, pas seulement l'énergie, mais aussi l'information etc... Il a fallu alors dresser la liste de toutes les grandeurs qui se conservent dans un transfert.

Des problèmes déjà rencontrés apparaissent vite :

Tout l'univers est présent dans n'importe quelle cause.

Un objet a des relations causales à l'intérieur de lui-même dans le temps, ces relations fondent son identité.

S'il n'y a pas de grandeurs conservées il n'y a ni cause ni effet. Donc en particulier pas de causalité en mécanique quantique pour les corrélations observées à distance.

La conservation de l'énergie est équivalente à une symétrie par transformation dans le temps. La loi de conservation de l'énergie fait peut être appel à une loi plus profonde.

³⁴⁶ *Idem*, p 201

Conclusions

La causalité objective

Nous devrions en toute rigueur mettre notre définition de la causalité parmi les autres. La définir et la distinguer de la causalité subjective étant l'objet de la présente thèse, conservons lui un titre à part et récapitulons ses avantages et ses inconvénients.

Elle est très proche de la définition de M. Kistler mais n'exige pas qu'une quantité soit conservée. Cela permet de considérer comme causaux les successions de phénomènes où cette conservation n'apparaît pas évidente. En particulier le paradoxe EPR décrit un phénomène causal, car une loi relie le résultat de la mesure au point B d'une particule intriquée avec celle de sa parèdre effectuée au point A. Que cette loi comporte une quantité conservée ou non n'est pas un critère. Les phénomènes qui peuvent poser problème comme ceux dit du pendule et des gaz parfaits³⁴⁷ s'y intègrent sans à coup.

Son principal mérite est de définir une cause instantanée, valable uniquement à l'instant t et qui peut être différente de celle en t plus ou moins Δt . On ne peut demander ce qui est cause de l'effet qu'en précisant de quel moment il s'agit. Cela supprime les discussions sur la simultanéité cause, effet, sur les causes multiples et sur les préemptions qui n'existent que lorsque la cause est un événement ou un état possédant une certaine durée.

La définition proposée suppose en creux que ce que nous considérons comme un rocher qui dévale à l'instant t n'est pas le rocher qui dévale à l'instant $t + \Delta t$ malgré la persistance que nous accordons à un rocher. Est sous-jacent le passage de la notion d'identité à ce que Carnap nomme génidentité³⁴⁸. Les objets ne sont pas situés dans un espace tridimensionnel mais au moins³⁴⁹ quadri dimensionnel. Les objets ont donc des parties temporelles, l'objet persistant n'est plus une substance mais la classe d'appartenance de ses parties temporelles. L'exemple simple que donne Carnap est celui d'un wagon de tramway. Ses vitres sont sales à vingt heures mais propres le lendemain matin après le nettoyage. Le référent du mot wagon, en

³⁴⁷ Cf annexe J

³⁴⁸ Cf. Max Kistler, *Le concept de génidentité chez Carnap et Russell*, Université Paris X-Nanterre in Sandra Laugier, *Carnap et la construction logique du monde*, Paris, Vrin, 2001, p. 163-188.

³⁴⁹ Le 'au moins' est rajouté par l'auteur.

ce qui concerne ce wagon, n'est pas le même. La relation entre les parties temporelles n'est pas d'identité logique, mais de génidentité. Notons que nous aurions pu faire cette analyse lors de notre étude des concepts d'événement et d'état, mais à la lumière des divergences existantes sur le mode de constitution des objets nous aurions risqué de rajouter un débat sur le débat.

Il faut noter que M. Hulswit fonde les difficultés du concept de causalité sur l'usage de « deux cadres catégoriels incompatibles³⁵⁰ » ceux de l'ontologie de la substance et de l'ontologie des faits, la relation étant exprimée dans des termes relevant d'une ontologie de fait alors que les exemples sont décrits selon les termes d'une ontologie de la substance. En exprimant *relata* et *relation* dans des termes plus épistémologiques qu'ontologiques, notre définition écarte le problème.

L'inconvénient principal de notre définition est aussi son principal avantage, en plaçant le concept de causalité objective sous celui de loi, nous nous heurtons aux problèmes qu'il soulève et que nous avons abordés précédemment.

Nous avons traité de l'objection des lois fausses en remarquant que celle qui dispose que le bas est le lieu naturel des graves a été un modèle d'explication objective causale pendant des siècles. Elle s'inscrivait dans un ensemble cohérent qui était celui de l'explication du monde contemporain. Le caractère de non nécessité que nous avons reconnu aux lois implique qu'elles peuvent être à tout moment amendées. Ce fut le cas de celle-là.

L'absence de loi, la loi inconnue est un autre problème. Nous soutiendrions volontiers que toute corrélation parfaite, mesurable, aussi éloignée du sens commun qu'elle puisse être, est, lorsqu'elle fait l'objet d'un consensus de la communauté scientifique est une loi.

Par contre la loi non connue peut conduire à exclure de la description de l'ensemble causal, un ou plusieurs éléments déterminants. Cela rend fautive l'affectation à cet ensemble du nom de cause, mais ne remet pas en question sa définition.

L'autre objection, soulignée par M. Kistler est l'inutilité du concept puisque l'on va le retrouver identique à celui de loi. Il est équivalent de dire selon notre

350 Menno Hulswit, *Causality and Causation : The Inadequacy of the Received View*, University of Nijmegen, 2004
<https://www.semanticscholar.org/paper/Causality-and-Causation%3A-The-Inadequacy-of-the-View>

Conclusions

définition, la science recherche des lois et s'exprime par des énoncés de lois qui permettent la prédictibilité ou la science recherche des causes qui permettent l'explication. Prenons un exemple récent, soit la phrase « les collisions de trous noirs sont les causes des ondes gravitationnelles » c'est un raccourci qui inclut la description sommaire de deux parties de l'espace, l'une celle de la source des ondes où sont situés les trous noirs, l'autre celle du détecteur et d'un ensemble de lois qui avaient prévu le type de signal attendu. C'est notre définition, mais il faut surtout noter que la phrase s'interprète en : Les lois d'Einstein sur la métrique de l'espace-temps viennent de trouver une confirmation, la causalité disparaît de la description. L'objection est valable et nous y souscrivons, La recherche des lois peut remplacer la recherche des causes puisque c'est la même chose.

Une troisième objection est étudiée dans l'annexe J elle concerne les lois non causales. La durée d'une transition telle celle observée lors de l'effet tunnel est selon la théorie, nulle. Les mesures font apparaître une durée de l'ordre de 10^{-18} seconde, elle pourrait n'être qu'un effet d'un champ externe. Le phénomène décrit par le paradoxe EPR semble lui aussi instantané, c'est une des raisons pour laquelle il n'est pas causal selon la théorie de M. Kistler. Le problème est important et déborde largement la causalité, nous admettons pour l'instant que le 'réel' au niveau quantique supporte des états indéterminés. Il en résulte pour les phénomènes des mesures ayant un caractère aléatoire mais localisé. Dans ce cas un phénomène, la 'particule' franchissant le tunnel quantique, serait mesuré au même moment comme possédant deux valeurs différentes, certaines valeurs de la 'particule', en particulier sa masse, serait au même moment des deux côtés du tunnel quantique. Pour le paradoxe EPR il n'y a pas de transmission de masse ou d'énergie, le problème est évité. Considérant qu'une portion d'espace à un au moins de ses paramètres défini par ce qui se passe dans une autre portion d'espace au même moment³⁵¹ nous conserverons un aspect causal à la simultanéité, puisqu'une loi décrit le phénomène.

Notre définition perdure même en cas de causalité rétroactive, sous réserve d'une loi décrivant l'impact de ce que nous concevons comme futur sur ce que nous appelons passé.

Cette même objection formulée au sujet du temps concerne aussi l'espace. Reprenons une citation d'Einstein « Si au contraire on renonce à l'hypothèse que ce

³⁵¹ Attention, la valeur de ce paramètre est aléatoire, mais dépend d'un autre tout aussi aléatoire.

qui est présent dans diverses portions de l'espace a une existence réelle autonome, je ne vois pas ce que la physique aura à décrire. Car ce que nous entendons par "système" est purement conventionnel, et je ne vois pas comment on pourrait découper objectivement l'univers pour pouvoir en décrire les portions³⁵². » Or notre définition, en isolant des parties de l'espace, a besoin de l'hypothèse de leur existence réelle autonome. La mécanique quantique, appuyée sur le théorème de Bell ne peut retenir une telle hypothèse, elle nécessite une pensée holistique où les particules sont les quanta d'un champ commun, dont elles ne seraient que des valeurs propres associés à des opérateurs de création ou d'annihilation. Les interactions y seraient transportées à une vitesse supérieure à celle de la lumière, mais leur décroissance rapide en fonction de la distance ferait paraître comme indépendants des objets éloignés³⁵³. Ce qui impliquerait l'impossibilité de décrire une portion d'espace « cause » à l'instant $t - \Delta t$ puisque tout ce qui est dans l'espace réagit sur tout. Notons encore une fois que face à la physique moderne, nous ne pouvons faire d'image mentale sans y introduire des éléments dénués de pertinence³⁵⁴

Le concept d'objectivé ne peut sans doute être dégagé de toute subjectivité puisqu'il reflète au moins l'image mentale de l'objectivité de celui qui l'exprime. Celui de cause objective n'échappe pas à cette évidence, nous avons cependant démontré sa pertinence. Son principal défaut est que, subsumé sous la notion de loi, il n'a aucune utilité pratique.

La causalité subjective

Les logiciens-philosophes, même s'ils n'y croient plus, et le cas de Carnap est significatif, ne peuvent éliminer « l'appareil conceptuel de la causalité », ainsi que sa terminologie. Devant l'incapacité de dépasser les trois critiques fondamentales de Russell, savoir l'anthropomorphisme du concept de cause, l'impossibilité de la reproduction d'un même état pour l'univers, et l'inexistence de lois de succession, ils utilisent donc des stratégies de contournement. Si le concept de causalité nécessaire n'a plus sa place dans l'ontologie, c'est-à-dire parmi les types d'entités

³⁵² A. Einstein, *Correspondance Einstein-Born*, Paris, Seuil, 1972. Lettre à Born le 18-3-48, p. 180

³⁵³ Cette critique est issue de *La mécanique quantique, invitation au pays des quantas*, Institut de physique des deux infinis, Lyon, www.ip2i.in2p3.fr/img.

³⁵⁴ Remarque relevée par Dirac *The principle of quantum mechanics*, oxford, Oxford university press, 1958

Conclusions

qui existent réellement, il est possible de se rabattre vers une relation d'explication dont on a mis en évidence le caractère 'grossier'.

Ainsi Russell lui-même en 1948, dans *La connaissance humaine*, développera le concept de ligne causale, il n'est pas question de renoncer à la critique de la cause, mais de pouvoir comprendre des systèmes moins grands que l'état total de l'univers. Cette abstraction réclame cinq postulats :

La quasi permanence, au sein de la ligne causale il n'y a que des changements continus.

La séparabilité, certaines lignes n'interfèrent jamais avec d'autres.

La continuité spatiale, les objets d'une ligne doivent être contigus.

L'isomorphisme, il est possible d'en établir entre des lignes causales

L'analogie, elle peut être utilisée pour inférer d'un effet causal non observable.

Sous ses conditions, il est évident que la causalité est sauvegardée mais au prix de la mise en place d'une axiomatique considérable. Le travail de Russell est remarquable en ce qu'il met à jour les présupposés nécessaires au concept de cause, c'est pourquoi la traduction du vocable qu'il emploie par axiome semble meilleure que celle par postulat. Russell établit les règles d'un univers où la causalité peut être envisagée. Ces règles n'ont pas le caractère de vérité d'évidence des postulats mais de cadre d'une théorie. Leur force provient de leur capacité à être complètement oubliées dans les explications causales. La démonstration du théorème de Pythagore ne fait jamais mention des postulats d'Euclide dont elle se sert. De même l'usage de la causalité ignore quasiment toujours les postulats de Russell.

La causalité intégrée au modèle nomologique-déductif est considérée comme synonyme de l'*explanans*. Nous avons vu les problèmes que soulevait une telle assimilation. Il semble donc se dégager au moins une double voie :

- Celle définie par Russell : « Il existe néanmoins un usage quelque peu grossier et peu rigoureux du mot 'cause' qui peut être préservé. Les uniformités approchées qui conduisent à son emploi préscientifique peuvent s'avérer dans toutes circonstances en dehors de quelques-unes très rares et exceptionnelles, et peut-être même dans toutes les circonstances qui se produisent dans la réalité. Dans de tels cas, il est utile de pouvoir parler de l'événement antécédent comme de la 'cause' et

de l'événement successif comme de 'l'effet' ³⁵⁵».

- Celle qui consiste à préciser la définition de la relation causale, en dehors de l'axiomatique russellienne, de façon à la réintégrer de façon scientifique parmi l'ontologie, au prix d'une limitation de sa portée et de la perte de son caractère immédiatement explicatif.

Nous avons utilisé les deux en distinguant deux concepts de cause subjective et objective se rapprochant assez de ces définitions, mais n'avons-nous pas élaboré des concepts vides, l'un objectif n'ayant pas plus de portée que celui de loi, l'autre subjectif trop vague pour être qualifié de concept ? Faut-il abandonner le concept de cause subjective ?

Sachant que même si la réponse était oui, il serait toujours largement utilisé, il semble plus raisonnable de se replier derrière son utilité. Il est pragmatique et moral, il sert à définir une responsabilité, exprimer un souhait, transmettre une expérience, montrer l'étonnement voire le caractère miraculeux. Quand il est utilisé il n'est le plus souvent qu'une base de discussion face à un autre raisonnement causal qui reprend globalement les mêmes causes, en rajoute ou en retranche pour les besoins de la démonstration et conclut par des effets différents. Il exprime le jugement de chacun sur les faits dont il a connaissance et la façon dont il suppose les liens entre eux.

Nous avons noté qu'il utilise largement la causalité des absences, de façon à reconstruire les événements et à pouvoir imputer à l'absent la différence entre le reconstruit et le constaté.

Il ne sert de rien de le comparer à la causalité objective, il utilise certes les mêmes procédés, il tente pour se rendre plus efficace de se servir des mêmes lois, mais son fondement est plus la persuasion que la conviction.

C'est également le mode de causalité qui fait apparaître la finalité et permet encore, à ce titre, de porter un jugement pragmatique ou moral. Comme nous n'avons pas abordé l'acte volontaire, sujet type des jugements de finalité, il faut noter que parmi les relata où ne figurent que des objets, la finalité n'est pas absente mais supposée être celle d'un destin ou d'un Dieu. Beaucoup de cosmogonies, qui devraient être le lieu de la causalité objective par excellence ne sont étudiées que pour mettre en avant une cause finale. Le mécanisme est intéressant. Pour les

³⁵⁵ B. Russell, *la méthode scientifique en philosophie*, Paris, Payot, 2002, p 229, cité par M. Kistler

Denouement

meilleures démonstrations le discours est scientifique et décrit parfaitement les lois connues en la matière. Le caractère probabiliste de leurs résultats est souligné. A ce moment apparaît la causalité subjective. Comme le résultat est peu probable il est rajouté une autre cause qui fait que le résultat constaté est équivalent au résultat peu probable. Or il n'y a pas besoin de cette cause pour obtenir un résultat peu probable. La causalité subjective remplit le besoin de sur explication par rapport à un événement dont la probabilité d'apparition est faible.

Ne tenant pas à réduire au silence les avocats, les hommes politiques, les prêcheurs, les économistes et accessoirement les philosophes, nous conserverons donc le concept de causalité subjective au moins comme un élément fondamental du discours.

Denouement

Ce mot signifiant à la fois la fin et la possibilité de trouver une issue ne semble pas complément approprié tant parce que la controverse sur la nature de la causalité n'est pas prête de se terminer et parce que la solution proposée est sujette à la critique. Nous le conserverons cependant avec un point d'interrogation car il s'agit de savoir si nous avons vraiment détaché la causalité de la métaphysique.

La réponse à Hume

Rien n'est mieux que de répondre à un philosophe par la citation d'un autre, surtout si l'on partage son opinion, aussi nous nous excusons de nous retrancher derrière une citation, un peu longue de Nietzsche en plein accord, mais mieux exprimée que ce que nous avons voulu démontrer. « Nous appelons 'explication' ce qui nous distingue des degrés de connaissance et de science plus anciens, mais ceci n'est que 'description' Nous décrivons mieux, nous expliquons tout aussi peu que tous nos prédécesseurs. Nous avons découvert de multiples successions, là où l'homme naïf et le savant de cultures plus anciennes ne voyaient que deux choses : ainsi que l'on dit généralement, la 'cause' et l' 'effet'; nous avons perfectionné l'image du devenir, mais nous n'avons pas dépassé l'image au-delà de l'image. La suite des 'causes' se présente en tous les cas plus complète devant nous ; nous déduisons : il faut que telle ou telle chose ait précédé pour que telle autre suive, mais par cela nous n'avons rien compris. La qualité par exemple, dans chaque

phénomène chimique, apparaît, avant comme après, comme un « miracle », de même tout mouvement en avant ; personne n'a « expliqué » le choc. D'ailleurs, comment saurions-nous expliquer ! Nous ne faisons qu'opérer avec des choses qui n'existent pas, avec des lignes, des surfaces, des corps, des atomes, des temps divisibles, des espaces divisibles, comment une interprétation saurait-elle être possible, si, de toute chose, nous faisons d'abord une image, notre image ? Il suffit de considérer la science comme une humanisation des choses, aussi fidèle que possible ; nous apprenons à nous décrire nous-mêmes toujours plus exactement, en décrivant les choses et leur succession. Cause et effet : voilà une dualité comme il n'en existe probablement jamais, en réalité nous avons devant nous une continuité dont nous isolons quelques parties ; de même que nous ne percevons jamais un mouvement que comme une série de points isolés, en réalité nous ne le voyons donc pas, nous l'inférons. La soudaineté que mettent certains effets à se détacher nous induit en erreur ; cependant cette soudaineté n'existe que pour nous. Dans cette seconde de soudaineté il y a une infinité de phénomènes qui nous échappent. Un intellectuel qui verrait cause et effet comme une continuité et non, à notre façon, comme un morcellement arbitraire, qui verrait le flot des événements, nierait l'idée de cause et d'effet et de toute conditionnalité³⁵⁶ ».

Nous avons rajouté, ce que Hume ne pouvait savoir, l'indéterminisme dans la causalité, la même cause peut produire des effets différents, à l'intérieur d'une détermination statistique de l'ensemble des résultats.

Nous avons rajouté que les causes peuvent être semblables mais pas identiques et ce de façon absolue, pas par ignorance ou insuffisance des moyens de mesures, et qu'en conséquence le principe même causes, mêmes effets n'était pas valide.

Nous savons maintenant pourquoi le pain nourrit, plutôt nous avons affiné le processus qui permet au pain de se transformer en énergie au sein du corps humain, mais en passant des réactions de chimie moléculaires à la physique qui les soutend nous nous heurtons à un 'c'est ainsi', plus subtil certes mais tout aussi infranchissable.

Nous ne pouvons lui donner tort quant à sa réfutation de la nécessité et nous ne pouvons toujours pas a priori déterminer quelles seront les conséquences d'une

³⁵⁶ F. Nietzsche, *Le gai savoir*, traduction H. Albert, Edition électronique, Les Échos du Maquis, 2011 § 112

Denouement

cause inconnue. L'esprit cherche toujours une finalité dans les causes.

La causalité objective a été définie de façon négative en essayant d'éviter les paradoxes relevés à l'encontre du concept classique de causalité, se faisant la causalité a été subsumée sous la loi et en partage les caractéristiques à un point tel que le concept n'est pas utilisé autrement que dans un sens heuristique. Les lois ne constatent jamais qu'une répétition. Elles apparaissent ce que ne soulignait pas Hume, comme conscientes de leurs limites dans la possibilité des mesures, dans le déterminisme des résultats et dans leur caractère universel.

Aux constatations de Hume, nous avons rajouté l'impossibilité de connaître le réel en soi et la certitude, par l'examen des phénomènes émergents que nous ne pouvons en faire une image à partir de nos concepts classiques.

Nous reconnaitrons donc que le texte de Hume, même s'il a donné lieu à d'innombrables remarques de bas de page, a posé les limites fondamentales auxquelles se heurteront tous ceux qui veulent aborder le problème de la connaissance.

Le lien physique métaphysique

Cependant avons-nous dénoué le lien entre la physique et la métaphysique ?

M. Kistler a remarqué que le monde de la science (qui est en fait le monde de la physique) n'est pas constitué selon les catégories de substance et de causalité, mais uniquement en fonction du postulat de nomicité (sic). Or pour soumettre l'expérience au déterminisme des lois, il n'est ni nécessaire de la considérer comme organisée en choses substantielles ni de donner une interprétation "métaphysique" de la causalité.

La causalité objective ne garderait donc une dimension métaphysique que par contact avec les problèmes métaphysique traitant de l'existence des lois. Et parce qu'elle dissout la notion d'objet et interpelle nos catégories de l'entendement.

Ainsi nous avons mis à part la partie déterministe de la causalité et démontré qu'il n'y a pas de déterminisme absolu, à la fois parce que la connaissance infiniment précise des conditions initiales est impossible et parce que certains phénomènes sont par nature indéterminés. Ces deux raisons conduisent à abandonner le concept tant dans le monde de la physique des particules que pour les phénomènes macroscopiques.

Nous avons relevé que les lois physiques n'expriment qu'une régularité

constatée, Elles n'ont pas de caractère de nécessité et elles pourraient être autres. *In fine* elles constatent un 'c'est ainsi' qu'elles n'expliquent pas. Leur principal intérêt est dans la prévisibilité qu'elles permettent.

Ces deux résultats n'ont pas affecté le discours scientifique qui est passé de la certitude du résultat à un degré de probabilité du résultat et qui constatant l'invariance « jusqu'à maintenant » de ses lois, postule que l'avenir sera très probablement identique.

Les notions d'objet séparé, de substance et de propriétés ont montré leurs limites. L'objet même a été remplacé par un ensemble de variables dont on peut calculer l'évolution, au niveau atomique personne n'ose une description, l'électron est « l'objet de l'équation de Dirac », et P. Valéry déjà disait en substance dans son « discours aux chirurgiens », le nom d'électron ne signifie « que l'ensemble de tout ce qu'il faut d'appareils et d'actes pour produire à nos sens tels phénomènes observables ».

La mathématisation du réel lui enlève de son caractère concret, l'intuition et les idées claires et distinctes sont insuffisantes pour juger de l'essence des objets.

Ces remises en cause ne sont pas apparues avec la physique du 20^e siècle, cependant elle a fourni des exemples concrets et ouvert d'autres voies de recherche. La difficulté fondamentale demeure, l'objet s'évanouissant, d'une façon oserait-on dire plus concrète que dans les raisonnements de Kant ; la physique, confrontée à un besoin d'interprétation des faits devient une sorte de métaphysique. Elle décrit la réalité, mais nous n'avons pas de concept précis de réalité sinon en dehors de ce qu'en dit la physique.

Depuis longtemps les êtres mathématiques, d'une parfaite intelligibilité théorique puisque créés par l'homme échappent à la connaissance d'une grande majorité d'individus qui n'en ressentent de plus, dans leur vie courante aucun besoin. Qui voit ce que recouvre un titre d'exposé comme « les mesures de Radon sur des espaces non localement compacts³⁵⁷ ». Or il se trouve que certains de ces êtres permettent de donner une intelligibilité aux phénomènes. Mais c'est une intelligibilité abstraite sans possibilité d'image, sans stricte causalité où disparaissent substance, propriétés, localité mais qui permet une stricte

³⁵⁷ Titre pris au hasard parmi les œuvres publiés par la Société mathématique de France. Son auteur L. Schwartz a eu la médaille Fields

prédictibilité. Cette nouvelle intelligibilité a sa source dans la physique qui a remis en question nos catégories de l'entendement. La physique pour nous ne dévoile pas le réel, mais demeure dans le rationnel, Il faudrait trouver aux interprétations un autre qualificatif que métaphysique.

Nous avons séparé de la métaphysique tout un pan de la causalité qualifié de subjectif. Là où elle ne parle que du sujet, de sa volonté, de ses jugements de valeur, de sa responsabilité mais aussi de ses émotions et de ses croyances. Le rocher dont la chute bruyante alerte le promeneur qui s'écarte est un récit de frayeur, de miracle si le rocher passe à un cheveu, de mise en valeur des réflexes du locuteur, ou la traduction de son sentiment de petitesse face aux phénomènes de la nature.

Le lien n'est certainement pas coupé. Il est temps de se souvenir d'une remarque de Frege³⁵⁸ au sujet de la vérité : « Une définition proposerait certains traits caractéristiques du vrai, et dans une application particulière il s'agirait toujours de savoir s'il est vrai que les traits caractéristiques sont constatés. On tourne en cercle. Il est donc vraisemblable que le contenu du mot « vrai » est unique en son genre et indéfinissable. » Frege introduira ensuite le vrai et le faux comme des objets primitifs. Ils ne sont pas des propriétés des énoncés, mais bel et bien ce à quoi les énoncés réfèrent. *Mutatis mutandis* la causalité se heurte à la même difficulté. Une critique de sa définition utilise obligatoirement un critère de causalité. On tourne également en cercle, au lieu de chercher à le définir, il semblerait plus opportun de considérer la causalité comme la langue dans laquelle s'exprime toute thèse portant sur le monde que celui-ci soit la totalité des faits ou des choses.

³⁵⁸ G. Frege , *Ecrits logiques et philosophiques*, Paris, Seuil, Point essais, 1971, p. 172-173

Ces annexes, dans leur partie physique, sont extrêmement descriptives et comportent sans doute des simplifications abusives et négligentes des aspects théoriques complexes. Elles ont été conçues, en réponse à la préface, comme une invitation à l'étonnement ou à l'émerveillement. Il est légitime de s'étonner devant 'l'effet tunnel' et de s'émerveiller face à l'émergence du vivant, au sein d'un univers où l'entropie augmente. Le monde de la physique est souvent mal connu et surtout jugé incompréhensible et très difficile d'accès. C'est en partie vrai mais il existe un niveau de vulgarisation qui permet d'accéder aux questions fondamentales et de les relier aux interrogations philosophiques classiques sur le lieu, la matière, le temps et la causalité. L'importance de ce niveau varie avec le temps. Lorsque Newton écrivait la formule donnant l'équation du mouvement d'un corps soumis à une force centrale, même si elle avait demandé plusieurs siècles à être établie l'on pouvait aisément se faire une image de ce qu'elle représentait. Une force émanant du soleil 'tire' vers lui les planètes qui sinon poursuivraient leur route en ligne droite. Les formules de la physique quantique utilisent un formalisme mathématique encore plus difficile et il est également plus difficile de se faire une idée de ce qu'elles représentent. Leur interprétation résiste à nos catégories ontologiques fondamentales. L'on ne peut pas les verbaliser au sens de « baliser par le verbe ». Mais cet inconvénient présente un avantage, la formulation mathématique, qui est universellement admise, n'a pas besoin d'être présentée, la discussion théorique peut suffire à l'exposition des problèmes.

C'est surtout dans cet esprit que ces annexes sont présentées.

Elles comportent également des études qu'il eut pu sembler trop lourd de faire figurer dans le corps du texte, c'est le cas des annexes H, I, et J.

A Les constantes fondamentales

Les corps majoritairement formés de terre ou d'eau vont vers le bas et les corps composés d'air ou de feu vers le haut. Il est en effet de leur nature de n'être en repos que dans le lieu qui leur est assigné. Cette formule où l'on veut parfois réduire la physique Aristotélicienne a beaucoup été critiquée. Sans doute parce que son effet explicatif est réduit « les choses sont ainsi parce qu'il est de leur nature qu'elles soient ainsi » et surtout parce que la démarche permet d'inclure sans grande réflexion toute nouvelle propriété. Si le mercure du tube barométrique descend d'une hauteur qui n'est pas constante avec l'altitude, c'est, comme le dira le père Etienne Noël dans sa réponse à Pascal, que la matière a dans sa nature « une horreur du vide variable ».

On peut à l'inverse concevoir que c'était pour Aristote, la première tentative à répondre à la question pourquoi et que cette tentative considérait comme normal le fait de laisser une place à des propriétés naturelles sans autre explication que « il en est ainsi ». La physique moderne retrouve cette notion de propriétés sans autre explication, ici nous dirions sans cause, dans la recherche des « constantes fondamentales ».

Ces constantes sont des valeurs qui interviennent dans les équations de la physique et qui ne sont déductibles par aucune théorie. Elles ne sont constatées qu'empiriquement. Leur nombre augmente lorsque les expériences mesurent de nouvelles interactions, et décroît lorsque l'on parvient à calculer certaines d'entre elles à partir d'autres. Il en existe de deux types, avec ou sans dimension. La valeur des premières dépend du système de poids et mesure utilisé et variera selon que l'on les exprime par exemple en mètre ou en miles, c'est le cas de la vitesse de la lumière, la valeur des secondes est constante dans tous les systèmes d'unité possibles, c'est le cas de la constante de structure fine qui régit la force électromagnétique assurant la cohérence des atomes et des molécules ($\alpha=7,297 \times 10^{-3}$).

Il existe plusieurs dizaines de constantes intervenant dans tous les domaines de la physique, électromagnétisme, cosmologie, théorie des gaz, structure atomique, etc. On y trouve la vitesse de la lumière, la perméabilité magnétique du vide, la charge de l'électron, la masse du proton, les constantes de Planck, de Boltzmann, de Faraday, ...

Les constantes physiques ayant une dimension peuvent être rendues égales à

un par un choix judicieux d'unités de mesure qui sont en général des unités dites de Planck.

Il faut noter qu'à chacune des constantes est associée une incertitude correspondant à l'erreur de mesure, en général de l'ordre de 10^{-7} . Les constantes sans incertitude servent d'unités de mesure pour les autres, la conférence générale des poids et mesure fixe actuellement leur nombre à sept, elles sont pourtant, en toute rigueur des valeurs probables obtenues par ajustement.

Une théorie du tout qui se voudrait parfaite devrait supprimer le concept de constante fondamentale et fournir une explication des valeurs constatées à partir de ses équations. Il resterait à établir pourquoi le système d'équation proposé est celui-là et pas un autre. La physique est très loin de cet idéal.

Une abondante littérature décrit ce que pourrait être notre univers si les valeurs actuellement constatées variaient même de façon infinitésimale. Il semble, c'est en tout cas la thèse de Martin Rees³⁵⁹ que notre présence en tant qu'observateur du cosmos serait très fortement compromise. La réponse la plus courante est que ce sont justement ces valeurs qui permettent l'émergence de la vie, donc d'observateurs qui vont provoquer le questionnement sur leur existence. Dans l'infinité des cas où elles auraient été différentes il n'y aurait pas de questionnement.

En mentionnant l'existence des constantes fondamentales nous avons voulu surtout renforcer le caractère de non nécessité des lois. Ce sont les mesures qui déterminent les constantes, elles pourraient être différentes, le fait que nous ne pourrions les observer si elles l'étaient peut faire conclure à un « dessein intelligent », pas à une nécessité.

B. L'interféromètre de Michelson et Morlay.

Un faisceau lumineux issu d'une source monochromatique frappe le miroir semi transparent C. Une partie du rayon traverse le miroir, une autre partie est réfléchi vers le miroir A, y est à nouveau réfléchi et retransverse C vers le dispositif d'observation en O.

La partie du rayon incident qui traverse C atteint le miroir B, y est réfléchi, revient en C ou elle est à nouveau réfléchi vers le dispositif d'observation.

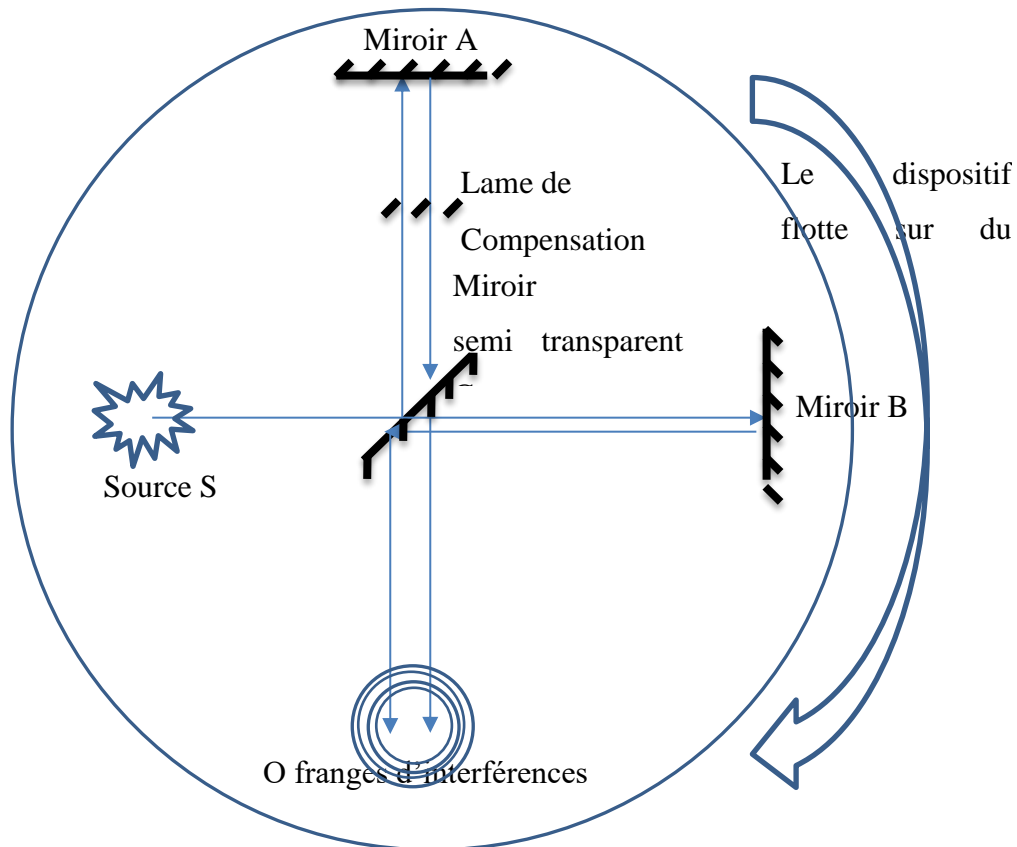
³⁵⁹ M. Rees, *Just six numbers*, Londres, Weidenfeld and Nicolson, 1999

B. L'interféromètre de Michelson et Morlay.

Un rayon parcourt $SC + CA + AC + CO + 1$ fois l'épaisseur du miroir C

L'autre parcourt $SC + CB + BC + CO + 2$ fois l'épaisseur du miroir C

On intercale une lame de verre pour compenser l'épaisseur de celui du miroir C dans le premier parcours



$AC = CA$ et $CB = BC$ par construction, la différence de marche entre les deux rayons est due soit à une longueur différente des bras AC et CB , soit à une variation de la vitesse des rayons en parcourant CAC ou CBC . Les autres éléments du parcours sont communs et n'interviennent pas.

En effet si dans l'éther la lumière se déplace à la vitesse c et si la terre s'y déplace à la vitesse v ; la vitesse de la lumière mesurée sur la terre sera une combinaison de c et de v différente selon le sens et la direction de propagation

La différence de marche entre les rayons, de valeur trop faible pour être mesurée directement, produira cependant des interférences en O, phénomène que

nous avons rencontré dans l'expérience des fentes de Young.

Les interférences dues à la différence de longueur des bras sont inchangées si on tourne le dispositif autour de son centre. De fait les miroirs étaient placés sur un bloc de marbre flottant sur une cuve de mercure ce qui permettait une rotation sans à-coups. Cela permet si l'on veut calculer la différence due à la marche du rayon lumineux de poser $AC = CA = CB = BC = d$

Dans un référentiel lié à l'éther le dispositif se déplace comme la Terre à la vitesse v .

Supposons AC orienté dans le sens du déplacement.

Si t_1 est le temps de parcours de la lumière sur CA, elle doit parcourir $d + (v \cdot t_1)$ pour atteindre A (qui s'est déplacé depuis son émission en C). Au retour c'est le miroir C qui vient à sa rencontre et la distance à parcourir est $d - (v \cdot t_2)$.

On a $d + v \cdot t_1 = c \cdot t_1$, $d - v \cdot t_2 = c \cdot t_2$ d'où $t_{cac} = t_1 + t_2 = (d / (c - v)) + (d / (c + v))$
en simplifiant

$$t_{cac} = 2d \cdot c / (c^2 - v^2)$$

Le chemin suivi selon AB est plus complexe, le miroir B s'étant déplacé de $v \cdot t_3$ si t_3 est le temps de parcours CB la lumière doit parcourir l'hypoténuse du triangle rectangle de côtés d et $v \cdot t_3$. Même trajet au retour

on a donc si t_{cbc} est le temps de parcours :

$$t_3^2 \cdot c^2 = (d^2 + v^2 \cdot t_3^2), t_3 = d / (c^2 - v^2)^{1/2}$$

$$T_{cbc} = 2 \cdot d / (c^2 - v^2)^{1/2}$$

La différence des temps de parcours est de l'ordre de $d \cdot (v^2 / c^3)$. Trop faible pour être mesurée mais capable de provoquer des interférences dans un appareil très précis. La possibilité de tourner l'appareil permet de s'affranchir de l'inégalité de la longueur des bras (sauf hypothèse de Fitzgerald Lorentz) et de tester la variation de la v par rapport à c . Si v est colinéaire à c sur un bras elle lui est perpendiculaire sur l'autre. Une variation d'un quart de tour inverse la situation.

C La relativité générale, quelques contractions.

Il est fait un grand usage dans la littérature sur la relativité du terme repère galiléen ou inertiel. Il s'agit d'un système de coordonnées dans lequel les corps « libres », c'est à dire qui ne sont soumis à aucune force restent soit au repos (leur position au sein du référentiel est inchangée) soit conservent un mouvement

rectiligne uniforme.

Tout référentiel en translation à une vitesse uniforme par rapport à un référentiel galiléen est lui-même galiléen. Les objets du premier mesurés dans l'un ou l'autre repère suivent la loi énoncée plus haut. Plusieurs conséquences doivent être notées.

L'on a tendance à lier des objets en mouvement à un repère ou ils sont fixes et à les dissocier du repère fixe ou ils sont en mouvement, les passagers d'un train ont ainsi une position par rapport au train (voiture, place) et le train une position sur une carte. Les passagers sont cependant aussi des objets repérables sur la carte. Le problème est de donner les formules mathématiques qui relient les coordonnées du passager dans le train à ses coordonnées sur la carte. Lorsque l'on parle d'observateur lié à un repère, ici chef de gare ou contrôleur, l'observateur peut observer les deux référentiels et n'a pas une vision instantanée de tout ce qui se passe dans son référentiel, le contrôleur situé voiture 28 a besoin d'être informé au mieux par radio, de ce qui se passe voiture 25 (ou d'y aller). Cependant le mouvement des sièges numérotés 76 et 77, réel pour le chef de gare est selon l'expression de Galilée « comme rien » pour le contrôleur.

Au repère galiléen situant l'objet dans l'espace est associé un temps propre, celui du repère. Cette distinction a semblée longtemps inutile, l'horloge de la gare indiquant a priori la même heure que celle du contrôleur

Il n'existe en fait pas de corps parfaitement « libre », dans un train si je lâche mon crayon il poursuit son voyage entre les gares, mais il tombe à mes pieds en accélérant. Il faut donc éliminer la gravité mais aussi la rotation de la terre et son mouvement autour du soleil etc.

Le référentiel galiléen suppose que l'espace soit homogène et isotrope, si l'espace avait une propriété particulière dans le sens de la marche du train, les objets « libres » auraient un mouvement perturbé.

Nous avons vu les postulats d'Einstein, fondés en partie sur son analyse du résultat négatif de l'expérience de Michelson et Morlaix. Il en déduisit que :

a) Il n'y a pas de référentiel absolu. Pas de référentiel pour lequel la vitesse de la lumière serait constante et servirait de fondement aux référentiels en mouvement par rapport à lui et dans lequel la vitesse de la lumière aurait des mesures différentes.

Tous les référentiels ne peuvent mesurer que leurs vitesses relatives par rapport

à d'autres référentiels. Ces mesures sont symétriques, si le train pour la gare s'éloigne à la vitesse v , la gare pour le train s'éloigne à la vitesse v .

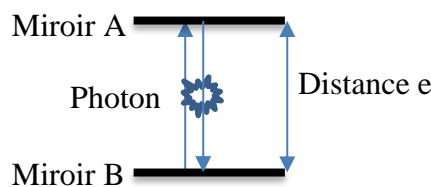
L'impossibilité de définir un référentiel absolu implique que les lois de la physique sont les mêmes dans tous les référentiels galiléens. Une expérience sur la conservation de l'énergie dans un train doit donner le même résultat que celle réalisée dans la gare.

b) La vitesse de la lumière, découlant des lois de Maxwell, est la même dans tous les référentiels galiléens.

Mais cela à des conséquences étranges :

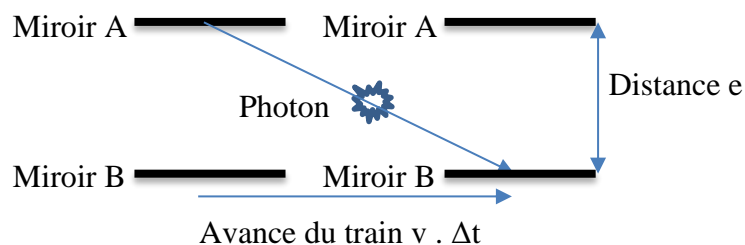
Conservons notre image ferroviaire. Le train dont s'agit ne freine jamais, donc ne s'arrête jamais en gare, il a une vitesse constante v

Supposons une horloge composée d'un photon oscillant entre deux miroirs séparés d'une distance e , elle émet un bip à chaque fois que le photon touche un des miroirs A ou B. Pour un observateur chef de gare, à côté de l'horloge les bips interviennent tous les intervalles de temps $\Delta t = e / c$. Il constate au passage du train que l'horloge que possède le contrôleur est identique et a bien la même épaisseur e .



Le chef de gare voit dans l'intervalle Δt le photon de l'horloge du contrôleur parcourir en diagonale (à cause de l'avance du train) une distance égale à $c \cdot \Delta t$. (Le photon se déplace, quel que soit le référentiel, à la vitesse c), la distance parcourue horizontalement est $\Delta t \cdot v$, (le mouvement du train).

La distance entre les miroirs est la distance que le contrôleur voit accomplir par son photon dans un temps $\Delta t'$ soit $c \cdot \Delta t'$



D Mesure en mécanique quantique.

Il en résulte en appliquant simplement³⁶⁰ le théorème de Pythagore que :

$$(v \cdot \Delta t)^2 + (c \cdot \Delta t')^2 = (c \cdot \Delta t)^2$$

$$(v^2 \cdot \Delta t^2) + (c^2 \cdot \Delta t'^2) = c^2 \cdot \Delta t^2$$

on en déduit $c^2 \cdot \Delta t'^2 = \Delta t^2 \cdot (c^2 - v^2)$

$$\Delta t'^2 = \Delta t^2 \cdot (1 - v^2 / c^2)$$

$$\Delta t' = \Delta t \cdot (1 - v^2 / c^2)^{1/2}$$

Le $\Delta t'$ observé par celui qui se pense immobile (le chef de gare) et voit l'autre (le contrôleur) se déplacer dans son référentiel est plus grand que son Δt propre. Il en déduit que le temps s'écoule plus lentement dans un référentiel en mouvement.

Mais il n'y a pas de référentiel absolu. Pour le train la gare s'éloigne et le contrôleur peut faire exactement le même calcul, le temps local du chef de gare lui paraîtra allongé.

Notons que dans le référentiel du train, le passage dans deux gares s'effectue au même endroit pour tout passager qui n'a pas changé de place, il ne notera qu'un intervalle de temps entre Paris et Bordeaux qui apparaîtront successivement place 37 ! Remarque triviale qui indique bien la difficulté à s'abstraire de la notion de référentiel absolu.

Si le contrôleur veut mesurer la distance Paris Bordeaux, il va mesurer le temps entre les apparitions de Paris et de Bordeaux à la place 37 et multiplier par la vitesse du train, c'est-à-dire v . Mais son intervalle de temps est différent de celui du chef de gare, ils ne sont d'accord que sur la vitesse du train, il y aura le même rapport entre les longueurs mesurées dans le sens du déplacement qu'entre les temps. Le contrôleur trouvera la distance Paris Bordeaux plus courte que le chef de gare d'un facteur $(1 - v^2 / c^2)^{1/2}$. En revanche si le chef de gare veut mesurer le train, il le trouvera plus court que le contrôleur du même facteur.

D Mesure en mécanique quantique.

Un état est représenté par un vecteur dans un espace vectoriel de Hilbert, il admet une décomposition selon une base du système.

Les vecteurs de base du système pour un observable donné représentent les états propres. Un observable est formalisé par un opérateur qui décompose un état

³⁶⁰ Simplement ? Cela postule que la combinaison des mouvements est possible selon cette loi, le résultat est en accord avec l'expérience.

quantique en une combinaison linéaire d'états propres (vecteurs de la base du système), le carré de la norme des vecteurs de bases impliqués représente la probabilité d'effectuer la mesure correspondante à cet état propre.

Lors de l'opération physique de mesure l'on ne trouve que le résultat correspondant à un des vecteurs de la base. Une mesure ultérieure sur le même système redonnera le même résultat. Cependant en l'absence de mesure l'état du système évolue en conservant la superposition selon l'équation de Schrödinger. L'on dit que la mesure réduit la fonction d'onde (celle de Schrödinger) ou projette le vecteur d'état sur un des vecteurs de la base.

L'on peut observer (mesurer) par exemple la position, l'impulsion, l'énergie, la vitesse, le moment cinétique, le spin, et le moment magnétique d'une particule quantique³⁶¹ mais le principe de superposition va avoir des répercussions curieuses sur le résultat de la mesure.

En effet si le système est convenablement décrit à l'instant $t = 0$, son évolution est alors parfaitement déterministe et suit l'équation de Schrödinger, elle permet de déterminer, à un instant t ultérieur, quelle sera la probabilité d'obtenir un résultat donné. Cela implique que pour des systèmes identiques à l'instant $t = 0$, les mesures effectuées au même instant t donneront des résultats différents, le résultat le plus probable apparaîtra le plus souvent, le moins probable sera évidemment plus rare.

Il faut noter que ces résultats ne seront pas les résultats obtenus si l'on mélange des objets quantiques dans l'état pA et d'autres dans l'état qB et si l'on effectue les mêmes mesures. Il existe des états superposés distincts d'un « mélange propre » de pA et de qB .

Il y a ici une contradiction flagrante avec la mécanique classique, son principe étant que toutes choses étant égales par ailleurs, les mêmes expériences donneront le même résultat. Toutes les billes identiques lâchées en altitude auront au bout du même laps de temps la même vitesse. La mesure similaire effectuée pour des particules quantiques préparées identiquement donnera des vitesses différentes.

Le comportement de l'électron qui semble interférer avec lui-même a conduit à reconsidérer la notion de trajectoire et à proposer qu'à une particule ne puisse plus être associée qu'une probabilité de présence en un endroit. L'équation dite de

³⁶¹ L'emploi du terme particule ne doit pas conduire à imaginer la particule comme un grain matériel, une corpuscule excessivement petite, il n'y a pas de terme unanimement reconnu pour désigner ce dont on mesure une propriété. Le terme *quanton* avait été proposé mais sans succès.

E Pourquoi mon crayon ne traverse- t-il pas la table ?

Schrödinger définit de façon déterministe et dans le temps cette probabilité de présence. Mais cela est très éloigné de la notion classique de trajectoire telle que définie en mécanique classique. Cette théorie a trouvé une confirmation dans deux phénomènes confirmés par des applications pratiques, l'effet tunnel déjà étudié et l'effet Aharonov-Bohm.

E Pourquoi mon crayon ne traverse- t-il pas la table ?

Mon crayon et la table sont composés d'atomes qui apparaissent comme des petites boules au travers des images d'un microscope électronique. Mais ces images ne sont qu'une reconstitution mathématique à partir de la mesure de l'intensité d'un courant créé entre la pointe du senseur du microscope et l'objet analysé. Si nous étudions la structure d'un atome la boule figurée n'est que la signature de la présence du nuage d'électron qui entoure le noyau de l'atome.

Ce noyau a un 'diamètre' n de l'ordre de 10^{-15} mètre et le nuage un 'diamètre' de 10^{-10} . Il est ainsi 100 000 fois plus grand. Si le noyau était une sphère de 1cm de rayon, celui du nuage serait de 1 km. En comptant en plus la distance entre atomes, table et crayon sont majoritairement, à 99,99999999999999 % vides. Il serait donc logique qu'ils puissent s'interpénétrer.

L'explication fournie classiquement dans les manuels scolaire est que les électrons des atomes de la table et du crayon ayant la même charge électrique, ils se repoussent et qu'il y aura un effet de répulsion entre les nuages d'électrons des atomes de la table et du crayon.

Les nuages étant bien plus grands que le noyau cet effet suffisait à ce que les objets ne s'interpénètrent pas, les distances entre atomes étant plus petites dans les solides que dans les liquides ou les gaz, ces derniers se mélangeaient plus ou moins facilement.

Puis en 1925, Pauli énonça son principe d'exclusion qui interdisait à tout fermion (les électrons, protons, neutrons, neutrinos et quarks sont des fermions) appartenant à un système de fermions d'avoir exactement les mêmes nombres quantiques qu'un autre fermion du système. Une version quantique du principe des indiscernables de Leibniz en quelque sorte. Dans ce cas les électrons du crayon ne peuvent occuper des positions dans les couches électroniques supérieures des atomes de la table. Cela suffit à maintenir le crayon sur la table.

Les livres de physique, même du niveau de terminale mentionnent toujours l'effet de répulsion électrique, peu mentionnent le principe de Pauli.

En effet la répulsion de charge électrique de même signe est simple à visualiser. Tout le monde a vu les boules d'un pendule électrostatique frottées avec de la laine se repousser et l'expérience visuelle fait admettre le fait.

Personne ne peut se faire une représentation nette de l'interaction d'échange de Pauli, elle exprime une particularité beaucoup plus fondamentale de la matière (les fermions c'est la matière ordinaire), mais c'est la résultante d'un calcul donnant une probabilité nulle à un état de fait. Cependant ce principe peut être interprété comme conservant à l'électron une individualité, et les chimistes établissent des tableaux où les électrons se rangent sagement par couches et sous couches autour du noyau atomique. Toujours utile pédagogiquement, ce stade n'est plus celui est dépassé par la physique théorique. Elle utilise les déterminants de Slater qui sont une expression de la fonction d'onde d'un système de plusieurs électrons, ils y perdent leur individualité mais le principe de Pauli est respecté car sa violation correspondrait à un déterminant nul, donc à une probabilité nulle d'observation.

Soient trois explications :

- Le crayon ne passe pas à travers la table parce que les électrons de la table repoussent ceux du crayon.

- Le crayon ne passe pas à travers la table parce que la probabilité qu'un électron du crayon ait les mêmes nombres quantiques qu'un électron de la table est nulle

- le crayon ne passe pas au travers de la table parce que l'ensemble table crayon, aux alentours du point de jonction, aurait une représentation globale de son système électronique dans lequel une valeur appelée déterminant de Slater s'annulerait, ce qui correspond à une probabilité nulle de la configuration.

L'explication qui sera préférée est évidente. Mais si nous revenons aux conceptions de Hume qui ont généré cette note, dans le premier cas nous avons une propriété de la chose qui devient cause d'un fait observable, dans l'autre nous avons une propriété de l'arrangement des choses qui devient cause du même fait.

Notons que la répulsion qui se crée entre les charges électriques de même signe est une constatation de l'expérience, rien dans la structure de l'électron ne permet de la déduire. La mesure de cette force est aussi un fait d'expérience, son résultat

aurait pu être différent et il est possible d'imaginer cette éventualité sans contradiction.

F L'effet Casimir

Le principe d'incertitude, classiquement exprimé comme l'impossibilité de connaître précisément à la fois la position et la quantité de mouvement d'une particule est aussi valable pour d'autre couple de variables, ainsi du temps et de l'énergie. Cela n'est pas sans conséquences curieuses. Ainsi pendant une durée très faible, donc extrêmement déterminé, peut apparaître en un endroit une quantité d'énergie dont la variation est très importante, le produit des deux étant toujours supérieur à la valeur minimale calculée par Heisenberg. Cette énergie peut alors se transformer en masse et agir en tant que particule virtuelle. Une telle particule ne peut être détectée car son existence est trop courte. Ces particules sont d'autant plus nombreuses que leur existence est courte. Le vide défini en tant qu'absence de matière n'est donc jamais vide. Il est en théorie soumis à des fluctuations quantiques, il voit partout l'apparition et la disparition de particules virtuelles qui existent un moment très bref puis disparaissent. Si l'on calcule l'énergie du vide l'on trouve une valeur infinie. Un artifice de calcul dit renormalisation permet de s'affranchir du problème et de ne considérer que les variations de cette énergie dues à l'apparition des particules virtuelles Aucune d'elles n'est détectable mais un de leur effet a été prévu dès 1948 par Hendrik Casimir, physicien des Pays-Bas.

En effet si dans le 'vide' on rapproche très près deux plaques de métal conductrices, les particules virtuelles qui apparaissent entre les deux plaques ont des conditions d'apparition plus restrictives que celles de l'espace extérieur. Leurs longueurs d'ondes associées doivent être un sous multiple de la distance des plaques. Il en résultera une pression externe tendant à rapprocher les plaques.

L'expérience, simple dans son principe, est très difficile à mener, le simple effet d'attraction gravitationnelle des plaques devant être pris en compte. Elle a toutefois été conduite depuis 1958 pour aboutir en 1990 à celle d'Umar Mohideen en Californie dont la marge d'erreur inférieure à 2% permettait de conclure avec certitude à l'existence de l'effet. Notons toutefois que l'apparition en un 'endroit' de ce vide d'une particule virtuelle est un phénomène sans cause. Il implique de plus qu'une petite division de l'espace ait une composante réelle puisqu'il faut une

détermination du lieu pour une indétermination de l'énergie. Mais il est impossible de considérer l'espace comme juxtaposition de cellules d'espaces délimitées, par quoi le seraient-elles ? (Question à poser à un physicien).

G Champ scalaire et champ vectoriel, potentiel.

La notion de champ, devenue essentielle en physique, a un support très naturel, il suffit de considérer une carte météorologique. En tout point d'une carte de ce type sont définies la valeur de la température et la pression atmosphérique. Ce sont deux données qui s'expriment chacune par un chiffre. Les points où ces chiffres sont égaux permettent de tracer des isobares ou des isothermes. L'on peut dire que l'on est en présence de deux champs scalaires (exprimés par un nombre) dont le support est la présence des molécules de l'atmosphère et qui mesurent, la façon dont nous ressentons leur agitation.

Sur la même carte est tracée la direction du vent en chaque point. Il y a besoin ici de connaître sa vitesse (un scalaire) et sa direction (un vecteur). On parle alors de champ vectoriel qui sert à définir la carte des vents c'est-à-dire la direction et la vitesse des particules de gaz définies plus haut.

Or si les vents circulent d'une zone de haute pression à une zone de basse pression, l'on peut penser que leur vitesse dépendra de la différence de ces pressions. En appelant la pression en un point un potentiel, l'on a un champ qui dérive d'une différence de potentiel.

Mais en électro magnétisme, l'on définit d'abord les champs et l'on en fait dériver les potentiels. Dès lors se pose la question abordée lors de la présentation de l'effet Aharonov, quelle est l'entité fondamentale, le champ ou le potentiel ?

Il est très possible de considérer que les vents créent des zones de hautes ou de basses pressions, l'on retrouve alors le problème de l'intrication effet cause étudié par M. Kistler.

H La contingence des lois :

. En 1898 Emile Boutroux, un des professeurs de Bergson, fit éditer, sans y apporter de changement, sa thèse de 1871 dont le titre était « *De la contingence des lois de la nature* ». Il pose en introduction l'objet et la méthode de sa recherche, pour « savoir s'il existe des causes réellement distinctes des lois », il faut « chercher

jusqu'à quel point les lois qui régissent les phénomènes participent de la nécessité³⁶²». Son analyse est très fine et couvre et couvre les champs de la causalité de la matière et de l'homme, nous ne nous intéresserons qu'au premier en notant déjà une particularité de son écriture. Chez ce spécialiste de la philosophie allemande, il n'a aucune citation d'un nom propre de philosophe allemand ou de mention d'une théorie qui lui soit attribuable. De fait il n'y a aucun nom propre cité dans cette thèse, qui ne comporte, du moins dans l'édition consultée, aucune bibliographie. Nous tenterons cependant de rechercher en quoi il emprunte à Kant et à Hume aidé en cela par le cours qu'il a professé à la Sorbonne en 1896/97 ou il analyse largement la pensée de ces deux auteurs³⁶³.

Dans son mémoire de thèse, l'analyse commence par celle du possible. L'acte devient « la réalisation d'un contraire de préférence à un autre³⁶⁴ », si l'être est la « synthèse du possible et de l'acte », cette synthèse est irréductible.

Possible et acte ne semblent pouvoir n'être conçus qu'*a priori* car, le possible n'est pas donné par l'expérience et l'acte est « tout le donné ». Mais « tout le donné » est « inintelligible » à cause de la multiplicité « et de la diversité infinie des données expérimentales »³⁶⁵. Cependant nous pouvons prendre possible et acte comme l'existence de l'expérience et constater que « l'idée du possible devient de plus en plus abstraite », il ne répugne pas à la raison d'admettre que « jamais le possible ne doit passer à l'acte ou que l'actuel n'existe de toute éternité ».

La connaissance de l'être peut donc dériver de l'expérience et « ne peut être rapportée à un jugement synthétique *a priori* ». Faut-il donc admettre que la distinction du possible et de l'être soit « une illusion causée par l'interposition du temps », l'auteur soutient que non car il existe un degré de réalisation des choses qui ne deviennent que peu à peu ce qu'elles doivent être. Cette « différence doit préexister dans l'éternelle actualité que l'on prête aux possibles » La conclusion fondamentale de la première partie est que « L'être actuellement donné n'est donc pas une suite nécessaire du possible »

Mais si l'être n'est qu'une forme contingente, peut-être que sa nature, une fois

³⁶² Emile Boutroux, *De la contingence des lois de la nature*, Paris, Ancienne librairie Germer, 1898, p 5, en abrégé ci-après *CLN*

³⁶³ Emile Boutroux, *La philosophie de Kant, Cours de Emile Boutroux professé à la Sorbonne*, préface E. Gilson, Paris, Vrin, librairie philosophique, 1926

<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5400951c/f8.image.r=nietzsche.langFR>

³⁶⁴ *CLN*, p 16, voir Kant *monadologie physique*, 1756

³⁶⁵ *Idem*, p 17/20 pour les trois citations suivantes

qu'il y a 'être', est nécessaire. Boutroux s'interroge alors sur la causalité dans l'expérience. Elle semble s'exprimer par « rien n'arrive sans cause » ou « rien ne se perd ni ne se crée » mais ces expressions font que la loi de causalité est « la synthèse de deux éléments irréductibles entre eux, le changement et l'identité ». Il est d'ailleurs « difficile de trouver dans les données de l'expérience un objet correspondant au terme cause... et un rapport correspondant au lien de génération ». Ici en reprenant la critique humienne sur l'impossibilité de concevoir le lien de génération entre cause et effet, Boutroux la dépasse en y rajoutant l'impossibilité de trouver un objet qui soit cause et ce faisant il va anticiper la critique de Russell qui s'exprimera en termes logiques alors que lui reste dans un langage métaphysique. La description du même problème dans deux langages est suffisamment intéressante pour que l'on poursuive l'analyse de la critique de Boutroux, elle se cristallisera, comme celle de Russell sur la notion de phénomène. On retrouve la remarque, formulée en introduction, pour justifier un survol historique de ce que, en philosophie, toutes les idées ayant été émises leur interprétation ou leur pertinence dépend du contexte et de l'intention de l'auteur mais que la variation des contextes est en elle-même éclairante.³⁶⁶

La cause au sens scientifique ne sera donc que la recherche de « la nature et de l'ordre des phénomènes » et ne se rapporte pas à « l'être en soi ». La cause d'un phénomène ne sera qu'un autre phénomène, mais leur lien sera un lien de nécessité posé *a priori*. Boutroux affirme que le principe de causalité ainsi entendu est proche de la vision scientifique et ne demande pas l'hypothèse d'une chose en soi, mais il réclame encore la nécessité. Or la science n'a pas besoin de la nécessité, il lui suffit que la liaison entre les phénomènes soit « relativement invariable ». Il étend son affirmation jusqu'à considérer que le mode de succession « qui dépend du mode d'action des choses en soi » ne peut avoir qu'un caractère relatif. Donner un caractère d'absolue nécessité à la causalité, c'est voir dans les phénomènes des choses en soi³⁶⁷.

L'idée qui lie tout changement à un autre changement, mais pas de façon

³⁶⁶ Comme le contexte dépend assez peu de l'auteur, cela doit l'inciter à une certaine modestie. Boutroux souhaitait montrer que « Tout ce qui est possède des qualités et participe, à ce titre même, de l'indétermination et de la variabilité radicales qui sont de l'essence de la qualité » Il appelle contingence le relâchement du lien nécessaire, qui, selon sa démonstration, croît à proportion de la complexification des phénomènes et de l'individuation des êtres. Pour lui la contingence est un attribut de l'être.

³⁶⁷ CLN, p 21

I Roi, gouteur poison et mortel antidote.

quelconque est empruntée à l'expérience. L'homme peut être « disposé à admettre des commencements absolus, des passages du néant à l'être ». Le principe de causalité n'est pas une loi dictée par l'esprit aux choses, mais elle exprime une idée « d'invariabilité ». Or l'invariabilité n'équivaut pas à la nécessité. Le principe de nécessité a été « le nerf de la connaissance scientifique », il est « contraire à toute vraisemblance d'imaginer des mondes réels où les phénomènes se produirait sans cause, c'est-à-dire sans antécédents invariables ». Mais « jamais on atteint le point précis où le phénomène commence et finit réellement »³⁶⁸ de plus si la cause contient tout ce qu'il faut pour expliquer l'effet elle ne contient pas ce qu'il faut pour que l'effet se détache d'elle et dans ce cas elle n'est pas dissociable de l'effet. Si l'effet se distingue de la cause « c'est qu'il est d'un certain point d'une autre nature » mais alors on ne peut « mesurer l'hétérogénéité qualitative » il faut donc admettre que « dans les formes les plus élémentaires de l'être, il y a quelque élément qualitatif », que l'effet peut être disproportionné à la cause et que « nulle part, dans le monde concret et réel, le principe de causalité ne s'applique rigoureusement »³⁶⁹. Selon E. Boutroux, le progrès des sciences montre que les rapports généraux permanents qu'elles établissent montrent qu'il est « impossible d'atteindre une loi absolument fixe ». Ainsi la loi de causalité qui affirme la conservation absolue de l'être.

Boutroux fait ici un appel direct sans le citer à Kant, l'être n'est donc à aucun de ses degrés, connu jusque dans son fond.

I Roi, gouteur poison et mortel antidote.

Le cas proposé est le suivant : Un assassin introduit un poison dans la boisson du roi, son gouteur y met un antidote sans savoir que l'antidote pris seul est mortel, le roi boit et survit. Qui est cause de la survie du roi ?

Par contre factualité c'est l'antidote, si on le supprime le roi meurt empoisonné. Donc le responsable de sa survie est le gouteur.

Mais c'est aussi le poison, si on le supprime le roi meurt. L'antidote le tue. Donc le responsable de sa survie est l'assassin.

La tranche spatio temporelle la plus simple décrivant le cas, *in fine*, comprend

³⁶⁸ *Idem*, p 24

³⁶⁹ *Idem*, p 26

le roi, le poison et l'antidote bus et un verre. On trouvera, aux instants précédents la constatation de « le roi a bu, il est vivant », dans ce que nous nommons des causes objectives prises à des instants précis, c'est-à-dire des descriptions de tranche d'espace, les éléments suivants ;

- à t le roi vivant, un liquide ingéré, un verre vide,
- à $t - 1\Delta t$ le roi vivant, un verre plein d'un liquide inoffensif,
- à $t - 2\Delta t$ le roi vivant et un verre contenant du poison et un antidote,
- à $t - 3\Delta t$ le roi vivant et un verre contenant du poison
- à $t - 4\Delta t$ le roi vivant avec un verre
- à $t - 5\Delta t$ le roi vivant

On relie toutes les tranches spatio temporelles avec la loi de conservation dans l'existence du roi et du verre et des autres états, plus entre les instants $- 2\Delta t$ et $- 1\Delta t$ une loi disposant que poison et antidote produisent un mélange sans effet.

Certes à $-3\Delta t$ le poison figure dans la description de la cause, de ce qui à cet instant va produire la situation constatée en t , mais il n'est pas seul, figurent un verre et un roi vivant dont l'importance est aussi égale, sans verre pas de boisson et un roi mort eut fait disparaître le problème. Nous sommes dans le cas où la contre-factualité est en défaut car il existe des causes multiples, ou plutôt parce que la description des états antérieurs comporte plusieurs éléments dont la suppression conduit à ne pas observer l'effet.

La causalité subjective pose la question de la cause sans en préciser le moment, elle ramène la description d'un état à un seul élément, proche ou lointain de l'effet pour construire un paradoxe. La causalité objective ne peut répondre qu'à une question datée. Qu'elle était à l'instant $t-n\Delta t$ la situation qui a conduit à ce qui a été constaté en t ?

J Le pendule et le gaz parfait.

La description nomologique est présentée comme se heurtant à une impasse lorsqu'elle décrit des phénomènes de variation conjointe dans lesquels le caractère causal n'est pas affirmé. Les deux exemples emblématiques sont celui du pendule pesant, masse ponctuelle m rattachée à un fil de longueur l accroché à un point fixe à l'intérieur d'un champ de gravité g et celui du gaz parfait dans une enceinte où l'on constate que pression, volume et température sont liées par une relation du type

J Le pendule et le gaz parfait.

$f(p,v,T) = 0$.³⁷⁰ Etudions ces deux cas :

Le pendule pesant.

La relation qui apparaît dans les livres de physique en classe de première dit que la période est égale à $2 \cdot \Pi \cdot (l/g)^{1/2}$, deux fois Π que multiplie la racine carrée du rapport entre l , la longueur du pendule et l'accélération g provoquée par la pesanteur à l'endroit considéré.

De cela le philosophe peut déduire qu'à g constant il suffit de faire varier l pour faire varier t et de faire varier t pour faire varier l .

Cependant cette formule masque certaines simplifications. Si l'on appelle Θ l'angle formé par le fil et la verticale (direction du vecteur g), en supposant la masse concentrée en un point, l'absence de masse du fil, l'absence de frottement de la masse dans le milieu ambiant et du fil sur son axe de rotation, la relation liant la variation de Θ dans le temps et les autres paramètres s'écrit.

$0 = d^2\Theta / dt^2 + g/l \cdot \sin(\Theta)$, ce qui n'est sensiblement pas la même chose. Il faut pour résoudre une telle équation assimiler Θ à son sinus ce qui est possible si Θ est 'petit'. L'on obtient dans ce cas la formule simplifiée citée plus haut.

La représentation du mouvement dans un système de coordonnées (Θ, t) est une sinusoïde.

Mais il est également possible de parvenir à décrire le mouvement du pendule en considérant sa position comme une donnée unique x et sa quantité de mouvement p égale au produit de sa masse par sa vitesse. L'on obtient alors la relation $(p^2 / 2 \cdot m \cdot l^2) - m \cdot g \cdot l \cdot \cos(\Theta) = E$ ou E est l'énergie totale du système.

Si l'énergie totale du système est faible, ce qui correspond aux petites oscillations, alors la représentation du mouvement dans un système de coordonnées p, x est une famille d'ellipses centrées sur $(0,0)$.

Il devient évident que le livre de physique de première fournit un modèle qui n'existe pas dans le monde, mais qui, s'il existait, serait une instance parfaite de la loi décrite. Mme. Vorms étudiant l'usage des modèles par les scientifiques refuse de disputer si ce dernier est comme le suppose Frigg 'une fiction'³⁷¹ ou à quel type d'entité il réfère, isomorphisme ou similarité. Elle préfère « définir la représentation

³⁷⁰ Marion Vorms, *Le pendule, la licorne et la figure*. Paris, Philonsorbonne, 3, 2009, Université Paris 1, p75

³⁷¹ R. Frigg 2008, cité dans l'article. L'ouvrage de référence est R. Frigg et C. Hunter, *Beyond mimesis and convention : Representation in art and science*. Dordrecht, Springer, 2010

comme une activité cognitive » utilisant un instrument le «*representans* » dans le but d'acquérir des connaissances au sujet de quelque chose dont il tient lieu, le «*representatum* ». Le parallèle avec le couple *explanans explanandum* est tel, au-delà de la consonance linguistique, qu'il justifie l'étude que nous allons en faire.

Mme. Vorms introduit la notion de format. Un format est « la manière dont une représentation transmet l'information qu'elle contient à l'utilisateur », entendre le sujet connaissant. Ce sujet doit maîtriser les règles d'interprétation. Les deux équations du mouvement du pendule que nous avons données ne parlent pas pareil à un étudiant pré bac ou à un spécialiste de la théorie du chaos. Le premier voit la répétition à l'identique dans le temps d'un phénomène périodique. Le second une trajectoire constante dans l'espace des phases. Mais l'information retransmise est exactement la même. Le format est relatif à l'agent, il montre la difficulté, une fois que la notion d'agent est introduite de « tracer une distinction nette entre des différences épistémiques [...] objectives [...] et des différences psychologiques subjectives. Les différences d'approches doivent se mesurer en coûts cognitifs, le nombre d'étapes inférentielles pour que l'agent puisse tirer toute l'information disponible dans la représentation.

La causalité par *explanans explanandum* est soumise au même problème. La pertinence de l'*explanans* est liée au sujet qui le considère et au coût cognitif qu'il représente pour lui. De même il ne va pas extraire les mêmes informations selon sa culture. Mais de plus M. Vorms cite la position de Ronald Giere (2006 p 105)³⁷² selon lequel une théorie peut être identifiée à une classe de modèle. Il est conduit à la question suivante comment peut-on aller d'un objet concret à sa représentation abstraite et se servir de cette représentation pour trouver des caractères pertinents pour le modèle à résoudre ? Cette question *mutatis mutandis* reste posée aux théories nomologico déductive de la causalité. Elles ne mettent en œuvre qu'un modèle théorique, un i modèle du réel au sens de Vorms auquel s'appliquent une ou plusieurs lois. Le résultat de l'application des lois conduit à un autre état de l'i-modèle, mais ce n'est toujours qu'un modèle et non le réel. Prenons pour exemple la recherche de la cause du retard de mon horloge comtoise. Après avoir éliminé les frottements, s'il persiste, je vais superposer au balancier, objet concret de cuivre et de laiton le modèle du pendule parfait version période/longueur (le modèle espace

³⁷² R. Giere, *How models are used to represent reality*, *Philosophy of Science*, 71(5): 742–52, 2004.

des phases ne m'est d'aucune utilité) et raccourcir ce dernier (une vis est généralement prévue pour le faire) je pourrai constater alors une variation du retard de l'horloge. J'aurai agi sur le concret, à partir des propriétés d'un modèle, sans doute parce que je le sais efficace, la présence de la vis m'incline à le penser, mais sans jamais m'interroger sur le passage d'une généralisation symbolique aux modalités d'instanciation d'une loi au travers d'un balancier de comtoise.

Pour la causalité cela peut fournir un argument supplémentaire en faveur de la thèse selon laquelle poursuite de la définition d'une causalité 'objective' ne répond pas aux critères de la causalité subjective, ici d'abord parce cette causalité ne sera établie qu'à l'intérieur de modèles, ensuite parce que même si tous les modèles sont pertinents, (le couple longueur période décrit autant le pendule que le couple position impulsion), ils ne mettent pas tous en évidence l'effet recherché.

D'autres remarques au fond :

Le pendule a été également étudié au niveau de la mécanique quantique. Les résultats sont troublants. La quantification de l'énergie fait qu'il ne peut que prendre certains niveaux, c'est-à-dire n'occuper que certaine position dans l'espace des phases. La belle ellipse décrivant son mouvement est en réalité constellée de points inaccessibles. Au repos le pendule ne peut pas rester immobile, les emprunts d'énergie avec le vide l'interdisent.

La loi qui lie la longueur du fil du pendule et sa période a été interprétée comme une loi non causale, une simple mise en relation de deux variables. Or dans les caractéristiques communes que l'on prête à une cause il y a le pouvoir d'agir, (c) est considérée comme cause de (e) si en agissant sur (c) je provoque une variation de (e). En faisant varier la longueur d'un balancier il est possible de modifier sa période, mais il n'y a pas de moyen, toutes choses étant 'égales par ailleurs' de faire varier sa longueur en agissant sur la période. L'on peut pour cela plonger le pendule dans un liquide, rajouter un champ magnétique ou augmenter sa masse, c'est-à-dire modifier les conditions initiales, mais cela ne fera toujours pas varier sa longueur. La loi semble donc bien extérieure à la causalité.

Reprenons notre définition de la causalité objective qui ici semble devoir s'appliquer car il n'y a rien de moins subjectif que le calcul d'une période. Parmi les causes de la longueur du balancier l'on ne trouvera d'abord que des matériaux et quelques outils, pas une période, sinon à titre d'intention chez le manufacturier.

Voulant obtenir une certaine période, il appliquera la loi, elle fait donc partie de la description de l'univers au moment de la conception du pendule. Elle participe donc à ce titre de la causalité.

Les gaz parfaits

La loi qui lie la pression, le volume et la température d'un gaz parfait est du même ordre. Ses i-modèles sont mécanistes ou statistiques. Elle s'exprime par, $P V$ et T , étant respectivement la pression, le volume et la température du gaz par la formule $P.V = K T$ ou K est une constante. C'est une équation d'état et à ce titre non causale pour M. Kistler. Mais elle se dérive dans le temps et s'écrit alors $P dV/dt + V dP/dt = K dT/dt$ où dV , dP et DT sont les variations de $P V$ et T pendant l'intervalle de temps dt . C'est parce que le pneu est crevé donc parce que le volume disponible pour le gaz augmente que la pression interne du pneu baisse et c'est parce que, le trou étant bouché, on rajoute du gaz que la pression augmente. Il est ici possible d'agir sur les trois paramètres, les pneus sont chauffés ou refroidis avant les compétitions. La loi semble donc sans contestation une loi causale.

Quel serait le statut d'une loi, reliant de façon instantanée des éléments situés à l'intérieur d'une tranche d'univers ? Selon notre définition, nous serions à $\Delta t = 0$, instant où la cause est égale à l'effet. Nous avons dit que nous la considérerions comme causale car elle relie deux changements même s'ils sont au sein d'un même ensemble. Il est plus difficile d'envisager ce qui se passe lorsqu'il y a apparence de transport d'énergie instantané. Car certains phénomènes quantiques, tel l'effet tunnel, paraissent instantanés, cependant les mesures sont extrêmement difficiles mettant en jeu des durées de l'ordre de l'attoseconde (10^{-18} seconde) et celles-ci peuvent provenir d'éléments externes freinant les processus. Si une durée nulle était mise en évidence il y aurait coïncidence de deux états (une masse) mesurés au même moment mais pas au même endroit. La superposition quantique passerait de la 'chose en soi' au phénomène. Pas impossible mais ouvrirait des perspectives fascinantes.

K les inégalités de Bell

La polarisation est une des propriétés de la lumière que nous ne percevons pas. Il semble que les abeilles y soient sensibles. Lorsque l'on fait passer un rayon lumineux au travers d'une grille métallique constituée de long fils très fins et très

rapprochés, seule une partie de la lumière passe, celle qui a sa direction de polarisation perpendiculaire aux fils. Si l'on installe un second polariseur dont la direction est perpendiculaire au premier l'on bloque complètement le rayon lumineux résiduel. Dans une autre position, il émergera un rayon derrière le second polariseur intense en fonction de l'angle qu'il forme avec le premier. L'expérience est faisable avec deux paires de lunettes de soleil à verres polarisants. On met la première sur le nez et on observe au travers de la seconde que l'on fait tourner.

Il existe des sources permettant d'émettre des paires de photons de polarisation exactement semblables (corrélés) mais partant dans des directions opposées. La polarisation est fixée de façon aléatoire au moment de l'émission de la paire. Il est également possible de placer des polariseurs sur le chemin des photons. (Cette description fait trop intervenir l'aspect corpuscule du photon, elle correspond cependant au montage de laboratoire).

Soit P_d le polariseur traitant par convention le photon partant vers la droite

Soit P_g le polariseur traitant par convention corrélé partant vers la gauche.

On place derrière chacun des polarisateurs un compteur CP_d/CP_g qui enregistre 1 si le photon passe, 0 s'il est absorbé.

1) les polarisateurs sont parallèles, l'angle qu'ils forment avec la verticale est θ , quel que soit θ on enregistre sur chaque compteur, après chaque émission un 1 ou un 0 qui forment une suite semblable à :

0100010001110001000101001011001001, elle est absolument aléatoire

On a alors sur CP_g la suite

0100010001110001000101001011001001, exactement la même suite

2) on fait varier de α l'angle de P_d

On obtient sur CP_d

010100**1**00101110**0**0101100101**0**1101100111**0**01 toujours absolument aléatoire

Et sur CP_g

010100**0**00101110**1**0101100101**1**1101100111**1**01, à peu près la même suite que CP_d mais avec des modifications, ici marquées en gras, l'interprétation est simple, les polariseurs n'ayant pas la même orientation le photon de droite (mutandis de gauche) passe son polariseur mais son frère jumeau, orienté comme lui ne passe pas l'autre car il est incliné différemment. Le taux de non corrélation

est noté $E\alpha$.

3) on fait varier de $-\alpha$ l'orientation du polarisateur P_g , sans toucher au polarisateur P_d . On obtient et c'est logique un taux de non corrélation $E_{-\alpha}$ égal à $E\alpha$.

4) l'on fait varier de α l'angle du polarisateur P_d et de $-\alpha$ l'angle du polarisateur P_g , (cumul des états 2 et 3). Quel sera le taux $E_{2\alpha}$ d'erreur de corrélation obtenu ?

Il semble logique de penser qu'il sera égal à la somme des deux taux précédents, puisque si une rotation de α élimine $E\alpha$ des photons de droite et une rotation de $-\alpha$ élimine $E\alpha$ des photons de gauche.

Sauf, que parmi les cas dans lesquels un photon passait son polarisateur et son jumeau ne le passait pas le sien on comptait une absence de corrélation. En modifiant l'angle du polarisateur de celui qui est passé il peut se trouver qu'il ne passe plus. Dans ce cas les couples 0 1 ou 1 0 deviennent 0 0 et la non corrélation se change en corrélation, il y a des corrélations supplémentaires, un double ratage est une corrélation !

Donc $E_{2\alpha} \leq 2.E\alpha$

C'est une inégalité de ce type qui a été mise en évidence par Bell. Il se trouve que dans les expériences quantiques, lorsque presque tous les biais possibles des mesures sont éliminés, l'inégalité n'est pas vérifiée dans une proportion supérieure aux erreurs de mesure résiduelles.

Notre raisonnement sur le taux d'erreurs dans le cas 2α faisait l'hypothèse implicite que ce qui se passe avec un des polariseurs ne modifie pas ce qui se passe dans l'autre. L'abandon de cette hypothèse donne un caractère non local à la physique quantique mais elle permet de retrouver les résultats de l'expérience.

Le raisonnement complet de Bell introduisait un paramètre supplémentaire, non mesuré, (variable cachée) qui ajouté à la polarisation des photons, aurait pu permettre d'expliquer les résultats. L'inégalité de Bell construite avec ce paramètre n'est pas respectée par les expériences, ce qui conduit à considérer que si un tel paramètre existe, il a une portée non locale. Les dernières expériences de 2015 menées par Ronald Hanson et son équipe, étendaient la distance entre l'émetteur et la mesure à plus d'un kilomètre.

Une autre approche de vulgarisation consiste à essayer d'établir l'impossibilité pour la paire de photons d'avoir des propriétés dès l'émission qui leur permettraient de valider les résultats des expériences.

K les inégalités de Bell

Soit avec le même dispositif trois configurations :

Dans la configuration 1 les polarisateurs sont dans la même direction les deux particules donnent la même réponse, absorption ou émission.

Dans la configuration 2 les polarisateurs ont un angle de 30° les particules donnent la même réponse dans 75% des cas

Dans la configuration 3 les polarisateurs ont un angle de 60° les particules donnent la même réponse dans 25% des cas

Il est proposé de reproduire l'expérience, *mutatis mutandis*, avec deux personnes séparées à qui vont être proposés trois choix 0 ?, 30 ? 60 ? Elles ne pourront répondre que Oui ou Non (O ou N).

Les questions seront posées par des examinateurs séparés qui ignorent la question posée par l'autre examinateur, les couples de question possibles sont 0 0, 0 30, 0 60, 30 30, 30 60, 60 60.

Trois couples correspondent à des polarisateurs parallèles 00, 30 30, 60 60.

Deux à des polariseurs avec un angle de 30° 0 30, 30 60

Un à des polariseurs avec un angle de 60° 60, 60

Afin de retrouver les valeurs constatées, avant de se séparer, les personnes doivent élaborer une stratégie commune pour répondre aux trois choix, elles ignorent celui qui leur sera proposé, et celui qui sera proposé à leur homologue, mais étant identiques elles doivent avoir la même stratégie.

Si elles décident de garder toujours la même réponse chacune ne peut partir qu'avec une seule des huit stratégies suivantes

	1	2	3	4	5	6	7	8
Si le choix proposé est 0	O	O	O	O	N	N	N	N
Si le choix proposé est 30	O	O	N	N	N	N	O	O
Si le choix proposé est 60	O	N	O	N	N	O	N	O

Elles se rendent compte qu'elles n'ont en réalité que quatre stratégies possibles les séries 1 à 4 donnant les mêmes effets que les séries 5 à 8.

Mais aucune des séries utilisée tout le temps ne permet de satisfaire les résultats des configurations 2 et 3. Seul le choix 1 validera le cas des polariseurs parallèles.

Il faut donc qu'elles choisissent aléatoirement une réponse à chaque choix. Si elles choisissent de répondre O dans α % des cas à la question 0, O à β % des cas dans la question 30 et O dans γ % des cas à la question 60 il est assez facile de

calculer qu'il n'y a pas de valeur de α β γ qui permettent de retrouver les résultats. Il faut que chaque personne module sa réponse en fonction de celle donnée par l'autre, donc qu'il y ait une communication instantanée.

L Un peu de poésie.

A Zurich où il travaillait, et dans d'autres laboratoires sans doute, circulait en 1926 le quatrain suivant concernant Erwin Schrödinger³⁷³.

Gar Manches rechnet Erwinn schon

Mit seiner Wellenfunktion.

Nur wissen möcht' man gern wohl,

Was man sich dabei vorstell'n soll

Dont la traduction approximative est

Erwin anticipe des choses,

Avec sa fonction d'onde.

Mais on aimerait bien savoir,

Ce que ça peut représenter.

Vaucresson, septembre 2020.

³⁷³ Manjit Kumar, *Le grand roman de la physique quantique*, Paris, Flammarion, Champs sciences, 2012, p 307

L Un peu de poésie.

Bibliographie

Ouvrages imprimés

Armstrong David M., *Les universaux*, Paris, Ithaque, 2010

Armstrong David M., *A world of states of affairs*, Cambridge, Cambridge university press, 1997

Amstrong David, *Les universaux, une introduction partisane*, Paris, Ithaque, 2010

Aristote, *La métaphysique*, Tomes I et II, introduction notes et index par Jean Tricot, Paris, librairie philosophique J. Vrin, 2000

Bachelard Gaston, *Le nouvel esprit scientifique*, paris, Puf, 1968

Bastit Michel, *La substance*, Langres, Presses universitaires de l'IPC, Parole et silence, 2012

Bauffret Jean, *Leçons de philosophie*, Paris, Tome II, édition établie par P. Fouillaron, Seuil, 1998.

Belaval Yvon, *Leibniz critique de Descartes*, Gallimard, « Tel », Paris, 1960

Bennet Jonathan, *Events and their names*, Indianapolis, Hackett, 1988

Biéma, Van Biéma Emile, *L'espace et le temps chez Leibniz et chez Kant*, Paris, Félix Alcan, 1908, Kessinger Legacy reprints.

Bonelli Maddalena, *Physique et métaphysique chez Aristote*, Paris, Vrin, Histoire de la philosophie, 2012

Boutroux Emile, *De la contingence des lois de la nature*, Paris, Félix Alcan, 1898

Bouveresse Jacques, *Essai V, Descartes Leibniz Kant*, Préface de JJ. Rosat, paris, Agone, 2006.

Boyer-Kassem Thomas, *Qu'est-ce que la mécanique quantique*, Paris, Vrin, Chemins philosophiques, 2015

Brunschwig Léon, *Descartes et Pascal lecteurs de Montaigne*, Neufchâtel, la baconnière, 1942

Carnap Rudolf, *Les fondements philosophiques de la physique*, Armand

Ouvrages imprimés

Colin_U, Paris, 1973

Carraud Vincent, *Pascal des connaissances naturelles à l'étude de l'homme*, Paris, Vrin, Histoire de la philosophie, 2007

Cassé Michel, *Du vide et de l'éternité*, Paris, Odile Jacob, Sciences, 2014

Comte Auguste, *Philosophie première, cours de philosophie positive, leçons 1 à 45*, Présentation et notes MM. Serres, F. Dagognet, Paris, Hermann, 1975

Congrès international de Philosophie, Congrès Descartes, *Causalité et déterminisme physique et philosophie*, Paris, Hermann, 1937, p 84

Constant C. La méthodologie Taguchi : *Introduction à la recherche technologique* Paris, Revue de statistique appliquée, 1989

Coujou Jean Paul, *Philosophies médiévales*, Louvain, ISP, 1999

Cotardière Philippe de (sous la direction de), *Histoire des sciences*, Tallandier, Paris, 2004

Davidson Donald, *Essay on actions and events*, Oxford, Oxford scholarship online, 2001

Descartes René, *Discours de la méthode, suivi des méditations*, Préface de François Misrachi, Paris, 10/18, 2002.

Descartes René, *Œuvres complètes*, Tome IX, *Méditations et principes*, Publiées par C. Adams et P. Tannery, Paris, Vrin, 1996.

Duhem Pierre, *Le système du monde, histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, Paris, Hermann, 1954

Dumont Jean-Paul, *Les présocratiques*, édition de Jean-Paul Dumont, Paris, Gallimard, « La Pléiade », 1988.

Einstein Albert, *La relativité*, traduction M. Solovine, Paris, bibliothèque Payot, 1956

Einstein Albert, *Correspondance Einstein-Born*, Paris, Seuil, 1972

Espagnat d' Bernard, *A la recherche du réel*, Paris, Dunod, 2015

Espagnat d' Bernard, *Traité de physique et de philosophie*, Paris, Fayard, 2002

Feuer Lewis S, *Einstein et le conflit des générations*, Bruxelles, complexe, 2005

Feynman Richard, *La nature de la physique*, traduction H. Isaac, Paris, Seuil, Points Essais, 1980.

Fichant Marcel, *Espace esthétique et espace géométrique chez Kant*, Paris,

PUF, Revue de métaphysique et de morale, 2004/4, n° 44

Frege Gottlob, *Ecrits logique et philosophiques*, Traduction Claude Imbert, Paris, Seuil, Points essais, 1971.

Gayon J, *Nouveau regard sur la philosophie bachelardienne*, Paris, PUF, 2000.

Gille Bertrand, *Les mécaniciens grecs*, Evreux, Seuil, Science ouverte, 1980

Giocanti Sylvia, *La critique sceptique de la causalité dans les Essais de Montaigne*, cahiers philosophiques n°114, Paris, CNDP, 2008/2

Greene Brian, *La magie du cosmos. L'espace, le temps, la réalité, tout est à repenser*, Paris, Robert Laffont, 2005

Greene Brian, *La réalité cachée*, Paris, Robert Laffont, 2012

Grondin Jean, *Introduction à la métaphysique*, Québec, Presses de l'université de Montréal, 2004

Guenancia Pierre, *Du vide à Dieu, Essai sur la physique de Pascal*, Paris, François Maspero, 1976

Jerphagnon Lucien, *Histoire de la pensée*, Paris, Taillandier, 1989

Hart Herbert Lionel Adolphus et Tony Honoré, *causation in the law*, Oxford, Clarendon press, 1985

Hawking Stephen, *Une brève histoire du temps*, Flammarion, Champs science, Paris, 2008

Heidegger Martin, *Kant et le problème de la métaphysique*, Traduction Alphonse de Waelhens, Paris, Gallimard, « Tel », 1953.

Heisenberg Werner, *La nature dans la physique contemporaine*, Paris, Gallimard, folio essais, 2000.

Heisenberg Werner, *Physique et Philosophie*, traduction J. Hadamard, Paris, Albin Michel, Sciences d'aujourd'hui, 1971.

Horwich Paul, *Asymmetries in Time*, Cambridge, M.I.T Press, 1987

Hume David, *Enquête sur l'entendement humain*, présentation et note M. Beyssade, Paris, GF Flammarion, 2006

Hume David, *Traité de la nature humaine*, traduction A. Leroy, Paris, Aubier, 1946

Jeangène Vilmer Jean-Baptiste, *Descartes et les bornes de l'univers : l'indéfini physique*, in *Philosophiques*, 37 :2, 2010, p. 299-323.

Ouvrages imprimés

Jolivet Régis, *La notion de substance*, Paris, Beauchesne, 1929

Kambouchner Denis, *Les Méditations métaphysique de Descartes*, Paris, PUF, « Quadrige », 2005.

Kant Emmanuel, *Critique de la faculté de juger*, traduction et introduction Alexis philonenko, Paris, Vrin, 2000.

Kant Emmanuel, *Critique de la raison pure*, traduction et présentation Alain Renaut, Paris, GF-Flammarion, 3^e édition 2006.

Kant Emmanuel, *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, traduction J. Gibelin, Paris, Vrin, librairie philosophique, 1982

Kant Emmanuel, *Prolégomènes à toute métaphysique future*, traduction Brunschvicg, Paris, Hachette, 1891

Kistler Maximilian, *Causalité et lois de la nature*, Paris, Vrin, Mathesis, 1999.

Knecht Herbert, *La logique chez Leibniz, essai sur le rationalisme baroque*, Herbert H. Knecht, Lausanne, Dialectica, « l'âge d'homme », 1981.

Kobayashi Michio, *La philosophie naturelle de Descartes*, Paris, Vrin, 1993.

Koestler Arthur, *Les somnambules*, Paris, Les belles lettres, 2010

Kojève Alexandre, *L'idée du déterminisme dans la physique classique et dans la physique moderne*, Paris, Livre de poche, biblio essais, 1990

Koyré Alexandre, *Blaise Pascal, l'homme et l'œuvre*, « Pascal savant », Paris, cahiers de Royaumont, Editions de Minuit, 1956

Kumar Manjit, *Le grand roman de la physique quantique*, Paris, Flammarion, Champs sciences, 2012

Ladyman James, Don Ross, *Every thing must go*, Oxford, Oxford UP, 2007

Laplace Pierre Simon de, *Essai philosophique sur les probabilités*, Paris, Bachelier, 1840

Leibniz Gottfried Wilhelm, *Discours de métaphysique, Monadologie*, édition et notes de Michel Fichant, Paris, Gallimard, « Folio essais », 2004.

Leibniz Gottfried Wilhelm, *Essai de Théodicée*, introduction de J. Brunschwig, Paris, GF, 1969.

Leibniz Gottfried Wilhelm, *Nouveaux essais sur l'entendement humain*, Paris, Flammarion, in <https://archive.org/details/nouveauessaisu00leib>.

Leibniz Gottfried Wilhelm, *Principes de la Nature et de la Grâce, monadologie et autres textes*, Présentation et notes Christiane Frémont, Paris, GF-

Flammarion, ,1996.

Leibniz Gottfried Wilhelm, *Système nouveau de la nature et de la communication des substances*, Paris, Garnier Flammarion 1994

Lennon Thomas M., *l'atomisme de Gassendi, taille figure et temps, Gassendi et la modernité*, Turnhout, Brepols, 2008

Luguet Henri, *Etude sur la notion d'espace, d'après Descartes, Leibniz et Kant*, Paris, A durand et Pedone Lauriel, 1875.

Luminet Jean-Pierre, *L'univers chiffonné*, Paris, Fayard, 2001

Macé Arnaud, *La matière, Textes choisis et présentés par, Malesherbes*, GF Flammarion, corpus, 2013

Makowski François, *L'espace lui-même, Négligence du lieu et émergence de l'espace dans la physique (IV, 1-5) d'Aristote*, Epokhé, N° 4, Grenoble, Millon, 1994

Malherbe Michel, *Qu'est-ce que la causalité, Hume et Kant*, Paris, Vrin, Prétextes, 1994

Marion Jean-Luc, *Sur l'ontologie grise de Descartes*, Paris, Vrin, « âge classique », 2000.

Matton Sylvain, *Scolastique et alchimie*, Paris Milan, S.E.H.A. Arché, 2009

Mazauric Simone, *Gassendi, Pascal et la querelle du vide*, Paris, Puf, Philosophies, 1998

Mazure Alain, Vincent le Brun, *Matières et antimatière, à la recherche de la matière perdue*, Paris, Dunod, 2009

Mellor David Hugh, *The Singularly Affecting Facts of Causation* in P. Pettit, R. Sylvan, and J. Norman *Morality & Metaphysics: Essays in Honour of J. J. C. Smart*, Oxford, Basil Blackwell, 1987.

Mellor David Hugh, *The Facts of Causation*, Londres, Routledge, 1995.

Meyerson Emile, *Identité et réalité*, Paris, Vrin, 1951.

Meyerson Emile, *Réel et déterminisme dans la physique quantique*, Paris, Hermann, 1933.

Monnier Emmanuel, Alain Bouquet, *Matière sombre et énergie noire*, Paris, Dunod, 2008

Monnoyeur F, *Qu'est-ce que la matière? Regards scientifiques et philosophiques*, Paris, Livre de poche, biblio essais, 2000

Ouvrages imprimés

Moore Michael S., *Causation and Responsibility: An Essay In Law, Morals, and Metaphysics*, Oxford, Oxford University Press, 2009

Mumford Stephen, *Metaphysics, a very short introduction*, Oxford, Oxford University press, 2012

Nef Frédéric, Emile Garcia, *Métaphysique contemporaine*, Paris, Vrin, 2007

Nef Frédéric, *les propriétés des choses*, Paris, Vrin, 2006

Newton Isaac, *M. Le chevalier de Newton, la méthode des fluxions*, traduite par Mr de Buffon, Debure, 1740.

Ney Alyssa, *Metaphysics, an introduction*, New York, Routledge, 2014

Nietzsche Friedrich, *Le gai savoir*, traduction H. Albert, Edition électronique, Les Échos du Maquis, 2011

Odling William, *La Revue Scientifique de la France et de l'étranger*, 15 juillet 1871, n°3 institution royale de la Grande Bretagne, Traduction E. Perrier

Olivi, Pierre de Jean, *la matière*, traduit par T. Suarez-Nani, Paris, Vrin, 2009.

Ortoli Sven, Jean-Pierre Pharabod, *Le cantique des quantiques*, Paris, la découverte/poche, 2015

Pascal Blaise, *Œuvres de*, compléments introduction et notes Léon Brunschvicg, Pierre Boutroux, Félix Gazier, Paris, Hachette et Cie, 1908.

Pascal Blaise, *Œuvres complètes*, Louis Lafuma, Paris, Seuil, L'intégrale, 1963

Pascal Blaise, *Œuvres complètes*, présentation Jean Mesnard, Bruges, Desclée de Brouwer, Bibliothèque européenne, 1970.

Pascal Blaise, *Œuvres complètes*, présentation Michel le Guern, Paris, Gallimard, Pléiade, 2000.

Paulot Claude, *Matière et esprit*, Paris, Pierre Téqui, 1997

Péguy, *Un poète l'a dit*, Gallimard, nrf, Paris, 1953

Piat Claudius, *La substance d'après Leibniz*, revue néo-scholastique, 7^e année, numéro 25, 1900.

Piché David, *La condamnation parisienne de 1277*, Paris, Vrin, 1999,

Popper Karl, *La logique de la découverte scientifique*, Trad N. Thyssen-Rutten, Paris, Payot, 1973

Prigogine et Stengers, *La nouvelle alliance*, Paris, Gallimard, folio essais, 2000

Prigogine Ilya, *La fin des certitudes*, Paris, Poches Odile Jacob, 2001

- Puech Michel, *Kant et la causalité*, Paris, Vrin, 1990
- Quine Willard van Orman, *Le mot et la chose*, traduction J. Dopp et P. Gohet, Malesherbes, Flammarion, Champs essais, 2010
- Reinhold Karl Léonhard, *Philosophie élémentaire*, présentation François Chenet, Paris, Vrin, 1989.
- Rivelaygue Jacques, *Leçons de métaphysique allemande*, Tome II, Paris, Grasset, collège de philosophie, 1990.
- Robinet A, *Correspondance Leibniz Clarke*, présentée par A. Robinet, PUF, « Bibliothèque de philosophie contemporaine », 1957.
- Russell Bertrand, *L'analyse de la matière*, traduction ph Devaux, Paris, Payot, 1965
- Russell Bertrand, *la méthode scientifique en philosophie*, Paris, Payot, 2002
- Russell Bertrand, *Mysticisme et logique*, traduction et notes Denis Vernant, Paris, Vrin, 2007
- Salem Jean, *L'atomisme au XVII^e et XVIII^e siècle*, Paris, publications de la Sorbonne, collection de travaux, 1999
- Schrödinger Erwin, *Physique quantique et représentation du monde*, traduction J. Ladrière, Paris, Seuil, Points, 1992.
- Schüssler I, *Années 1796-1803, Kant, Opus Postumum*, direction I Schüssler, Paris, Vrin, 2001.
- Seidengart Jean, *Gassendi et la question de l'infinité cosmique, Gassendi et la modernité*, Turnhout, Brepols, 2008
- Shapin Steven et Schaffer Simon, *Léviathan et la pompe à air, Hobbes et Boyle entre science et politique*, Traduction Piélat, Paris, La Découverte, 1993
- Suppe Frederick and others, *The Structure of Scientific Theories*, Urbana, University of Illinois Press, 1977
- Tiercelin Claudine, *La métaphysique et les sciences*, Paris, Lato sensu, revue de la société de philosophie des sciences, vol 3 n° 1 2016,
<http://dx.doi.org/10.20416/lrsrps.v3i1.583>
- Vannucci François, *L'astronomie de l'extrême univers*, Paris, Odile Jacob, 2007
- Viano Christina, *L'alchimie et ses racines philosophiques*, Dir C. Viano, Paris, Vrin, Librairie philosophique, 2005

Sources internet

Vioulac Jean, *Approche de la criticité*, Paris, Puf, 2017

Weinberg Stephen, *Le rêve d'une théorie ultime*, Paris, Odile Jacob, 1997

Wolf Francis, direction de, *Pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien ?*
Paris, Puf métaphysique, 2007.

Sources internet

Bacon Francis, *Novum organum*, traduit par Lorquet, Hachette, Paris, 1857,
<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k201287p>

Bacon Francis, *De dignitate et augmentis scientiarum*, <https://books.google.fr/books?id=WdRBAAAACAAJ>

Bernhardt Jean, *La question du vide chez Hobbes*, in: *Revue d'histoire des sciences*. 1993, Tome 46 n°2-3.

Bitbol Michel, *Le corps matériel et l'objet de la physique quantique*,
<http://michel.bitbol.pagesperso-orange.fr> extrait de F. Monnoyeur (ed.), *Qu'est-ce que la matière?* Le livre de poche, 2000

Blochowiak Joanna, *Nouveaux cahiers de linguistique française*, 2009
https://clf.unige.ch/files/2914/4102/7480/09_Blochowiak_nclf29.pdf

Boi Luciano, recensement de François Duchesneau, *la dynamique de Leibniz*,
Paris, Vrin, 1994. <http://id.erudit.org/iderudit/027344ar>

Boutroux Emile, *La philosophie de Kant, Cours de Emile Boutroux professé à la Sorbonne*, préface E. Gilson, Paris, Vrin, librairie philosophique, 1926
<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5400951c/f8.image.r=nietzsche.langFR>

Busino Giovanni, *Revue européenne des sciences sociales*, Tome XL,
« Histoire, philosophie et sociologie des sciences », Droz, Genève, 2002, Numérisé
Google <https://books.google.fr/books?isbn=2600008063>

Chevalley Catherine, *Ce que Pascal doit à la physique des principia*, *Revue d'histoire des sciences*, volume 58, https://www.persee.fr/doc/rhs_0151-4105_2005_num_58_1_2233

Devillairs Laurence, *La lecture des Principia philosophae de Descartes*, Paris,
Revue d'histoire des sciences, 2005, Vol 58,
https://www.persee.fr/doc/rhs_0151-4105_2005_num_58_1_2232

Dirac Paul Adrien Maurice, *The principle of quantum mechanics*, Oxford,
Oxford university press, 1958, <https://www.equipes.lps.u-psud.fr/Montambaux/>

histoire-physique/Dirac- Principles%20of%20Quantum%20Mechanics%20.pdf
 Empiricus Sextus, *Les hipotiposes pyrrhoniennes*, traduction Claude Huart
https://fr.wikisource.org/wiki/Les_Hipotiposes_pyrroniennes/Livre_premier

McDermott Michael, *Redundant Causation*. British Journal for the Philosophy of Science, 40:523–4,1995, <https://philpapers.org/rec/MCDRC>

Fair David, *Causation and the flow of energy*, Erkenntnis,
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00174894>

Fichant Michel, *Espace esthétique et espace géométrique chez Kant*, Paris, PUF, Revue de Métaphysique et de Morale, 2004/4 - n° 44.<http:// Cairn.info/revue-de-metaphysique-et-de-morale-2004-4-page-530.html>

Giere, Ronald, *How models are used to represent reality*, Philosophy of Science, 71(5), 2004.
<https://plato.stanford.edu/entries/scientific-representation/>

Hall Ned, *Causation and the Price of Transitivity*, Journal of Philosophy, 97:198–222, 2000, fitelson.org/woodward/hall

Holbach Paul Henri Thiry d', *Système de la nature*, édition électronique, http://classiques.uqac.ca/https://halshs.archives-ouvertes.fr/ijn_00000549/document

Menno Hulswit, *Causality and Causation: The Inadequacy of the Received View*, University of Nijmegen, 2004
<https://www.semanticscholar.org/paper/Causality-and-Causation%3A-The-Inadequacy-of-the-View>

Huygens, *correspondance avec Mersenne*, <http://adcs.home.xs4all.nl/Huygens/02/545-mers2.html>, p 568 http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/rhs_01514105_1993_num_46_2_4272

Jaegwon Kim, *Events and their descriptions : some considerations*, in *Essay in honor of Carl G. Hempel*, Reidel, Nicholas Rescher, 1969
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-017-1466-2>

Jouslin Olivier, *Science et baroque : la polémique sur le vide entre Blaise Pascal et Étienne Noël (8 octobre 1647 - été 1648)*, études Epistémè N° 9, 2006<http://revue.etudes-episteme.org/?science-et-baroque-la-polemique>

Kant Emmanuel Kant, *Essai sur l'introduction en philosophie de la notion des quantités négatives*, traduction Tissot, Ladrangé, 1862,

Sources internet

https://fr.wikisource.org/wiki/Essai_sur_l'introduction_en_philosophie_de_la_notion_de_quantit%C3%A9s_n%C3%A9gatives.

Kistler Maximilian, *La causalité dans la philosophie contemporaine*, intellectica, 2004/1 , 38, pp139 sq ,https://halshs.archives-ouvertes.fr/ijn_00000549/document.

Bo R. Meinertsen, *Events, facts and causation*, Poznan studies in the philosophy of sciences and the humanities 76: 2000

<https://philpapers.org/go.pl?id=MEIEFA-2&aid=MEIEFA-2.1>

Menzies Peter, *a unified account of causal relata*, Australasian journal of philosophy, 1989 67, 59-83

<https://www.mq.edu.au/public/download.jsp?id=63466>

Menzies Peter, *Counterfactual Theories of Causation*, The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter2017Edition), EdwardN.Zalta (ed.)

<https://plato.stanford.edu/archives/win2017/entries/causation-counterfactual/>

Mill John Stuart, *Système de logique déductive et inductive*, traduit par Louis Peisse, Librairie philosophique de Ladrangé, 1865

http://classiques.uqac.ca/classiques/Mill_john_stuart/systeme_logique/livre_3/systeme_logique_3.html

Morel Pierre-Marie, *Matière et philosophie première. À propos du livre H de la Métaphysique d'Aristote*, Philonsorbonne <http://philonsorbonne.revues.org/819>; DOI : 10.4000/philonsorbonne.819

Saint-Ours Alexis de, *La disparition du temps en gravitation quantique*, REHSEIS, Université Paris-Diderot, [philosophiascientiae-692%20\(7\).pdf](http://philosophiascientiae-692%20(7).pdf)

Sagaut Pierre, *Introduction à la pensée scientifique moderne*, UPCM www.imm.jussieu.fr/~sagaut/epistemologie-v14.pdf

Salisbury Jean de, *Metalogicon*, http://www.documentacatholicaomnia.eu/02m/1115-1180,_Joannis_Saresburiensis,_Metalogicus

Schaffer Jonathan, *Contrastive causation*, *The philosophical review*, Duke university press, Durham (U.S.) Vol 114, N°3, juillet 2005.

www.jonathanschaffer.org/cclaw

Simons G, *Le principe de raison suffisante en logique et en Métaphysique*, http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/phlou_0776-5541_1902_num_9_35_1755

Vorms Marion, *Le pendule, la licorne et la figure*. Paris, Philonsorbonne 3, Université Paris 1, 2009,<https://journals.openedition.org/philonsorbonne/237>

Sources internet

Table des matières

Summary	1
Abréviations.....	7
Introduction.....	9
Physique et métaphysique	9
Champs de recherche possibles.....	13
L'ontologie	13
La théologie	15
La logique	16
L'aitiologie	17
Le choix	17
La thèse	18
Son domaine	18
Son contenu	19
Son cheminement.....	21
Partie 1, Métaphysique : vers le renoncement à l'entendement.....	23
Partie 2, Physique : De la lunette astronomique au réel voilé.	23
Partie 3, Philosophie : Les nouveaux débats.....	24
1 - Philosophie- De la cause matérielle à l'inconnaissable de la chose en soi.	27
La quadruple causalité.....	27
Critiques sceptiques.....	29
Solutions mécanistes	32
Définitions provisoires.....	35
Critique fondamentale	35
On ne peut a priori inférer l'effet de la cause.....	36
Les raisonnements démonstratifs sont inefficaces	37

De causes semblables on ne peut déduire des effets semblables.....	38
L'accoutumance et la conjonction constante	40
La nécessité.....	42
Synthèse	43
Défense	48
La critique d'une ontologie épurée	50
La synthèse kantienne.....	51
La preuve du principe	54
Discussion	57
Conclusions.....	62
2.1 - Physique : Vers la recherche de la dernière décimale	65
Les limites de la science.....	65
L'abandon des causes finales et de la métaphysique.....	67
Définition et raisonnement	68
L'expérience nécessaire.....	71
L'expérience non suffisante.....	72
Affirmations péremptoires	73
Déterminisme causal.....	74
Ou déterminisme légal.....	76
La notion complète.....	76
2.2 - Physique : Relativité et quantification.....	79
Les outils de la compréhension	80
L'antériorité de la cause sur l'effet	84
Commentaires	91
Les relata des relations causales.....	92
Commentaires	94
Determinisme absolu ou déterminisme statistique ?.....	94
L'interprétation orthodoxe dite de Copenhague	96
L'interprétation de Böhm :.....	97

La théorie d'Everett :	98
Commentaires	99
Peut-on connaître certainement les causes ?	100
Problèmes de continuité	100
Problèmes d'imprécision.....	101
Commentaires	103
Y a-t-il des effets sans cause ?	103
L'effet tunnel.....	103
La désintégration nucléaire	104
L'effet Aharonov-Bohm.....	105
Commentaires	105
Y a-t-il des relations cause effet à distance instantanées ?.....	105
Le paradoxe EPR.....	105
Le théorème de BELL.....	107
Commentaires	108
Peut-on conserver le déterminisme au niveau macroscopique ?.....	109
La récurrence selon Poincaré	109
L'entropie.....	110
L'irréversibilité	112
Commentaires	117
3.1 - Philosophie : Le déterminisme approché.	119
Synthèse des conclusions précédentes	119
Le déterminisme	123
La probabilité.....	126
Le déterminisme de Kojève :.....	130
Ensuite	134
Conclusion :.....	136
3.2 – Philosophie : La causalité, nouvelles attaques et défenses	139
Nouvelle critique radicale	139
Conséquences philosophiques.....	141

Sources internet

Le remplacement de la causalité	143
Et rétablissement	146
La cause.....	147
Analyse :.....	153
3.3 – Philosophie : Causalité subjective et causalité objective.....	157
La nature des relata causaux :	157
Les états	158
Commentaires	160
Les événements et les situations	161
Commentaires	163
La fragilité des événements	164
Commentaires	165
Les tropes.....	165
Commentaires	166
La causalité des absences	166
Commentaires	167
Analyse	169
Les faits	169
Les événements et les états	171
Les objets	172
Synthèse	173
Les relata de la causalité subjective.....	173
Les relata de la causalité objective	177
La nature de la relation causale	180
La causalité comme relation	181
La causalité comme processus :.....	183
La causalité comme relation contrastive quaternaire	186
L'arité	190
l'extension	191
La transitivité.....	193
La sélection.....	198
La nature de la causalité subjective	201
	272

La nature de la causalité objective.....	201
3.4 – Philosophie : Causalité objective et autres approches	203
La causalité contre factuelle.....	203
Commentaires	207
La causalité comme transfert d'énergie	208
Causalité et lois de la nature.....	211
Les autres approches	214
La cause INUS	215
La théorie néo humienne	215
L'explanans-explanandum.....	216
L'interventionnisme.....	217
Le probabilisme	217
Le transfert.....	218
La quantité conservée	219
Conclusions	220
La causalité objective	220
La causalité subjective	223
Denouement	226
La réponse à Hume	226
Le lien physique métaphysique	228
Annexes	231
A Les constantes fondamentales	232
B. L'interféromètre de Michelson et Morlay.	233
C La relativité générale, quelques contractions.	235
D Mesure en mécanique quantique.	238
E Pourquoi mon crayon ne traverse- t-il pas la table ?.....	240
F L'effet Casimir	242
G Champ scalaire et champ vectoriel, potentiel.	243
H La contingence des lois :	243

Sources internet

I Roi, gouteur poison et mortel antidote.....	246
J Le pendule et le gaz parfait.....	247
Le pendule pesant.....	248
Les gaz parfaits	251
K les inégalités de Bell.....	251
L Un peu de poésie.....	255
Bibliographie	257
Ouvrages imprimés	257
Sources internet	264
Table des matières	269