



**HAL**  
open science

## Matière et nécessité dans la connaissance scientifique

Michel Paty

► **To cite this version:**

Michel Paty. Matière et nécessité dans la connaissance scientifique. ubessy, Jean ; Lecointre, Guillaume & Silberstein, Marc. Les matérialistes et leurs contradicteurs, Syllepses, p. 155-180., 2004. halshs-00167285

**HAL Id: halshs-00167285**

**<https://shs.hal.science/halshs-00167285>**

Submitted on 17 Aug 2007

**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.

# Matière et nécessité dans la connaissance scientifique

Michel PATY

RESUME.- On examine le rôle de l'idée de *nécessité* dans la connaissance scientifique, notamment contemporaine, en tenant compte de la difficulté de l'invoquer comme principe pour une connaissance, de nature symbolique et construite, qui ne dispose que d'un accès indirect à la réalité du monde. Après un rappel de la présence de cette idée dans la science classique, et de sa situation dans la philosophie critique et post-critique, on tente de caractériser le rapport de la connaissance à l'immanence de la matière-monde, en faisant toute sa place au sujet de la connaissance, ou sujet transcendantal, tout en montrant l'insuffisance de celui-ci au regard de ce que signifient la connaissance et la science. Le choix de l'immanence comme perspective pour les contenus de savoir permet d'éclairer le mouvement des changements qui s'opèrent dans les connaissances, et le rapport à chaque étape de celles-ci à l'intelligibilité rationnelle : on peut proposer que le mouvement de la science ne prend son sens que de l'immanence, et que son moteur est la nécessité. Les sciences contemporaines, en particulier la physique, offrent un certain nombre d'arguments qui renforcent cette vue en ré-évaluant les limitations inhérentes aux systèmes théoriques de concepts considérés, et les réorganisations obtenues par leurs dépassements. On souligne l'importance à ce propos des principes d'invariance et de symétrie, et l'intérêt d'un critère comme celui de « complétude théorique relative », qui expriment des exigences bien accordées à celles qui s'attachent aux idées d'immanence et de nécessité. On indique à cet égard comment la part contingente des connaissances comme formes symboliques apparaît dirigée souterrainement par la nécessité de la matière-monde. Une autre donnée des sciences contemporaines est la genèse et l'évolution des formes et du monde, prolongées dans la dimension temporelle et évolutive des savoirs scientifiques eux-mêmes. On peut montrer que leur "épreuve du monde", qui s'effectue dans le temps de l'histoire, s'accompagne d'une modification corrélative des structures de l'intelligibilité, dans le sens d'une adaptation des conditions de possibilité de la connaissance au monde immanent. Au bout du compte, nous saisissons les éléments symboliques de la connaissance selon leurs contenus de sens, reflets de la nécessité de la matière-monde et chargés, dans leur forme, des efforts de la pensée au long de la durée temporelle.

(Version courte pour la trad. en portugais) :

On examine le rôle de l'idée de *nécessité* dans la connaissance scientifique, notamment contemporaine, en tenant compte de la difficulté de l'invoquer comme principe pour une connaissance, de nature symbolique et construite, qui ne dispose que d'un accès indirect à la réalité du monde. La thèse ici défendue est que, même en accordant toute sa place au sujet, le mouvement de la science ne prend son sens que de l'immanence, et que son moteur est la nécessité. Les sciences contemporaines, en particulier la physique, paraissent bien conforter cette vue, avec leurs évaluations des limitations inhérentes aux systèmes théoriques de concepts, avec le dépassement et la réorganisation de ces derniers (voir notamment le rôle des principes d'invariance et de symétrie, ou encore la signification du critère de « complétude théorique relative »). Les savoirs scientifiques ont eux-mêmes une dimension temporelle et

évolutive : ils s'éprouvent dans le temps de l'histoire en s'accompagnant d'une modification corrélative des structures de l'intelligibilité, dans le sens d'une adaptation des conditions de possibilité de la connaissance au monde immanent. La part contingente des connaissances scientifiques comme formes symboliques apparaît en fin de compte dirigée souterrainement par la nécessité de la matière-monde.

**ABSTRACT. *Matter and necessity in scientific knowledge.***

We examine the paper of the idea of *necessity in scientific knowledge*, in particular in contemporary sciences, taking into account the difficulty to invoke it as a principle for a knowledge considered as symbolic and built-up, with only an indirect access to the reality of the world. We propose here the thesis that, while keeping full consideration of the subject (of knowledge), the movement of science receives its meaning from immanence alone, and that its dynamics is given from necessity. Contemporary science, and particularly physics, support this view, considering how they evaluate the inherent limitations of theoretical systems of concepts, how they overcome and reorganize the latter (see for instance the role of invariance and symmetry principles, or again the meaning of the criterium of « relative theoretical completeness »). Scientific knowledges are symbolic forms in the world that are themselves endowed with a temporal and evolutive dimension : they are submitted to proof in the time of history while being accompanied by a correlative modification of the structures of intelligibility, i.e. an adaptation of the conditions of possibility of knowledge to the immanent world. The contingent part of scientific knowledges as symbolic forms appears finally underground-oriented by the necessity of the world-matter.

MOTS-CLES : Complétude, Connaissance, Concepts (Systèmes de), Histoire, Immanence, Intelligibilité, Invariance, Matière, Nécessité, Rationalité, Réalité, Sciences contemporaines, Sujet, Symbolique, Symétrie, Transcendantal.

**PLAN DU TEXTE.**

1. Esquisse de l'argument.- 2. L'idée de nécessité, la science classique et le criticisme. – 3. Connaissance et immanence.- 4. L'intelligibilité des changements de connaissance.- 5. Figures de la nécessité d'après les sciences contemporaines.- 6. Unité, cohérence, invariance - 7. La durée temporelle et le contingent dans le nécessaire. - Références bibliographiques.

## 1. ESQUISSE DE L'ARGUMENT

Nous nous proposons d'examiner la catégorie de *nécessité*, pour voir quel rôle elle joue, ne joue pas, ou pourrait jouer, dans notre conception de la connaissance scientifique informée des résultats et des leçons de la science contemporaine. On entendra, dans un premier sens, le terme “nécessaire” comme signifiant le caractère inévitable, obligatoire, contraignant, d'une ou de plusieurs propositions prises dans un système de propositions données, dont elles résultent, ou qui, sans elles, serait exposé à des contradictions. On l'entendra, dans un deuxième sens, comme rapporté à l'instance que ces propositions ou ce système de

propositions désignent : le caractère de nécessité porte, par-delà l'expression linguistique ou l'enchaînement de concepts, sur l'objet auquel ces relations prêtent leur forme systémique, dont il exprime dès lors une propriété constituante.

On passe, par la transition du premier au second sens, de la nécessité logique d'un système de propositions, formé dans une pensée, à la nécessité d'une réalité, soit matérielle, soit formelle, que l'on conçoit comme extérieure à la pensée. Dès lors, une inversion gnoséologique se produit et l'on comprend que la nécessité de la proposition tient sa source de la nécessité attribuée à la réalité. C'est, ici, ce second sens qui nous intéresse, la nécessité en question se rapportant au monde, à la matière du monde, et portant ses effets dans notre connaissance intellectuelle, symbolique, de cette matière et de ce monde. Or c'est évidemment ce sens-là qui est le plus problématique, puisque nous n'avons pas directement accès au monde, mais seulement par notre pensée symbolique, qui substitue à cette matière et à ce monde la connaissance qu'elle en a, qu'elle exprime par ses propositions. Quelle garantie pouvons-nous avoir que cette nécessité du réel extérieur à la pensée n'est pas illusoire ? Mais, d'un autre côté, comment l'idée de nécessité en rapport à la connaissance pourrait-elle résider seulement dans un univers de propositions, si elle correspond à une connaissance qui ne soit pas fermée, alors que ces propositions, dans leur état considéré, le sont ?

Nous reviendrons plus loin sur cette différence, qui se rapporte à l'instance à laquelle on réfère le système de propositions de la connaissance dont on dispose présentement : soit à ce système lui-même, soit à la réalité extérieure qu'il désigne<sup>1</sup>. La nécessité dans le premier sens n'implique que la cohérence stricte des propositions qui, rapportée au réel, reflète la cohérence nécessaire de ce dernier, du moins selon l'état de la connaissance que nous en avons, au moment considéré. Tandis que la nécessité dans le second sens se rapporte à un trait du réel que la connaissance doit intégrer et que, en conséquence, le système de propositions doit prendre en compte, c'est-à-dire transcrire selon ses propres termes (symboliques, conceptuels) en se modifiant ; la nécessité du système de propositions doit donc se soumettre à l'exigence de la nécessité du réel pour se présenter, dans son stade ultérieur, comme une connaissance adéquate de celui-ci. La différence entre la nécessité au premier et au second sens implique la considération du temps entre deux états de la connaissance. Ce temps est celui de la mise à l'épreuve, qui s'inscrit dans une histoire. Nous verrons qu'il joue un rôle dans la signification de nos représentations du réel et du contenu de la connaissance dans sa forme symbolique.

Nous examinerons tout d'abord le rapport que l'idée de nécessité entretient avec la philosophie critique et post-critique qui met en avant l'importance de la prise en compte du sujet de la connaissance et des circonstances effectives de la constitution de cette connaissance. Nous évoquerons ensuite la situation de la connaissance entre les deux instances limites que sont le moi et le monde, et les implications de la tension qui en résulte, en tentant d'éclairer ainsi le rapport de la connaissance à l'immanence. Puis nous détaillerons quelques unes des "figures de la nécessité", c'est-à-dire des modalités du travail de la connaissance par lesquelles la nécessité du réel se rend manifeste. Nous

---

<sup>1</sup> Voir, à ce sujet, notre étude sur "L'endoréférence d'une théorie formalisée de la nature" (Paty [1992]).

concluerons en revenant à la question du temps de la connaissance et, par là, à celle de la contingence dans les formes de la nécessité.

## 2. L'IDEE DE NECESSITE, LA SCIENCE CLASSIQUE ET LE CRITICISME

Faire, ou continuer, la “révolution copernicienne” de notre conception de la connaissance scientifique, c'est poursuivre le programme de décentration qui s'efforce de comprendre le monde en libérant ce dernier des aspects anthropocentriques ou subjectifs dont les conditions contingentes de notre connaissance affectent encore l'image. C'est un tel programme que s'était proposé Kant en analysant ce qui, de la connaissance, se rapporte aux conditions imposées par la nature du sujet (le “sujet transcendantal”), mettant ainsi au jour les structures de la sensibilité et celles de l'entendement telles qu'il les concevait. Le résultat auquel il parvint, tout précaire fût-il à certains égards, en raison des limitations inhérentes à son projet (en particulier, admettant comme donné acquis, et peu susceptible de modifications fondamentales, la science de son temps), permettait d'admettre que la connaissance (et notamment la connaissance de la nature matérielle) soit possible, à travers ces structures mêmes, et singulièrement celles, rationnelles, de l'entendement. La conception de ces structures peut être modifiée, par l'effet des nouvelles connaissances (qui comprennent celles sur le monde aussi bien que celles sur le sujet et les conditions de sa situation, internes et sociales), mais également par les rectifications indispensables de l'approche critique, il n'en reste pas moins que l'on peut considérer comme un acquis indépassable du kantisme d'avoir libéré la connaissance d'autres instances qu'elle, inassignables, implicites ou non<sup>2</sup>.

Si la connaissance est humaine, on doit considérer en même temps qu'elle s'exprime sur le mode du rationnel qui transcende les données immédiates de l'expérience singulière, et qu'elle porte ainsi en elle les exigences de l'objectif et de l'universel<sup>3</sup>. Cette connaissance porte, dans les termes que permettent les possibilités du sujet, sur le monde, le monde matériel, dans ses dimensions physiques, biologiques et sociales. Elle porte également sur des formes idéales comme celles qui font l'objet des mathématiques : indiquons, à cet égard, que la connaissance purement mathématique représente une sorte de cas limite où les formes idéales, souvent suscitées par celles du monde (ou celles que nous lui attribuons), sont considérées pour elles-mêmes, constituant leur propre référence, sans plus de relation avec le monde naturel. Ces formes opèrent cependant sur une “matière” (formelle ou toute intellectuelle) qui résiste à l'investigation par la pensée, à tel point que les mathématiciens eux-mêmes parlent volontiers de “réalité mathématique”, dans un sens spécifique (ce n'est pas une réalité

---

<sup>2</sup> Dans ce sens, il faut citer Jules Vuillemin, dans *Physique et métaphysique kantienne* (à propos de la “révolution copernicienne de Kant”) : “A cet égard, la théorie kantienne de la connaissance est la première théorie conséquente et vraiment philosophique d'une connaissance sans Dieu” (Vuillemin [1955], p. 358).

<sup>3</sup> Quelles que soient, par ailleurs, les critiques que l'on peut effectuer de ces notions telles qu'elles sont généralement admises. Voir, p. ex., Paty [1999].

matérielle). Par cette aséité<sup>4</sup>, les mathématiques n'échappent pas aux considérations qui suivent sur la nécessité. Dans les conditionnements qui sont ceux du sujet qui l'exprime, la connaissance scientifique se propose de décrire (et comprendre) le monde matériel extérieur, ou ces formes idéales. Le programme kantien ouvre la voie d'une conception lucide ("*critique*") de la connaissance, capable de formuler elle-même, outre ses contenus, ses conditions et ses limites. On peut estimer qu'il est possible de pousser plus avant ce projet, dans la direction d'une connaissance plus complète, plus avancée, de ce monde, moins restreinte par les conditions contingentes de sa production.

C'est ainsi que, pour Kant, les conditions de la pensée rationnelle impliquaient un "principe de causalité", dont l'énoncé était issu de considérations tant philosophiques que scientifiques (et, au premier chef, physiques)<sup>5</sup>, et qui se trouvait parfaitement adéquat aux développements de la physique de son temps. Mais, depuis lors, les sciences, et tout particulièrement la physique, ont montré que la causalité au sens strict (pour les grandeurs considérées de la physique classique) et son hypostase le déterminisme (au sens laplacien) sont en-deçà des possibilités de la connaissance, qu'elles ne suffisent plus à recouvrir, ou même, dans certains cas, que celle-ci les infirme. Cette connaissance objective ultérieure dépassant les limitations du déterminisme et les conditions étroites imposées à une causalité locale spatio-temporelle (par exemple, avec la physique quantique), il apparaît qu'il faut évidemment chercher un autre principe ou méta-principe (de l'entendement, ou attribué à la nature en tant qu'elle est objet de ce dernier) qui soit plus à même d'exprimer ce à quoi la connaissance peut parvenir, voire, plus exactement, ce à quoi elle doit viser. Nous voudrions montrer que ce dépassement correspond à une intériorisation opératoire de l'idée de *nécessité*.

En effet, après avoir étudié, dans des recherches précédentes, la genèse de l'idée de *causalité physique*, puis la notion subséquente de *déterminisme* et ses limitations, et enfin celle de "*complétude théorique*" conçue comme un critère de perfectionnement des théories en vue de l'adéquation à un domaine de plus en plus large de phénomènes du monde empirique<sup>6</sup>, ce qu'il nous reste de plus concluant et de plus fondé, c'est, semble-t-il, l'idée de *nécessité*. Elle se présente à première vue *en négatif*, sans qualification précise du côté de la prise de la connaissance sur le monde, au contraire des notions précédentes, qui impliquent des relations entre les concepts scientifiques ou les grandeurs (par exemple les grandeurs physiques) considérés.

La nécessité n'exprime pas un point de vue de la connaissance, lié à une conceptualisation et à une symbolisation particulière, mais elle se rapporte à l'*immanence* de la nature, et elle est aussi difficile à formuler de manière précise que d'autres catégories, plus générales que celles de causalité (physique) ou de déterminisme, comme celle de *réalité* ou de *matière*, ou de *nature* – ou encore d'*entendement* et d'*intelligibilité*. Elle ne se situe pas *dans* la connaissance, mais elle exprime une *exigence* pour celle-ci, et qui porte sur son contenu et sur sa signification : une exigence de la nature, réfléchie dans notre entendement, et

---

<sup>4</sup> Aséité : se dit de quelque chose qui existe par soi-même, qui trouve en soi-même sa raison d'être et ses propriétés, qui fonde ses propres principes.

<sup>5</sup> Paty [2004].

<sup>6</sup> Cf., respectivement, Paty [2004] ; Paty [2003] ; Paty [1988] et [1993], chapitre 9.

donc portant ses effets dans les représentations, avec la possibilité de transformer et de remplacer ces dernières par d'autres. Dans ce sens, la *nécessité* est, comme le *réel*, une catégorie hypothétique et programmatique, celle d'un ordre des phénomènes et de la nature qui produit des *contraintes* sur nos manières d'appréhender ces derniers par nos concepts et relations de concepts (en physique, ou en mathématiques, par des grandeurs et des équations). Nous verrons que c'est, de fait, en définitive, l'attention à la nécessité de la nature qui a produit le mouvement de la science et, par exemple, qui a imposé la causalité physique et ses transformations subséquentes. On a pu la confondre avec le déterminisme, comme Laplace, et comme bien d'autres après lui ; mais déjà chez Claude Bernard ou Henri Poincaré, à travers leurs vigoureuses défenses et illustrations du "déterminisme", dont ils se donnaient une acception moins étroite que celle de Laplace, c'était, en fait, l'idée de nécessité comme constitutive de la science qui se trouvait désignée ; cette idée, d'autres savants l'ont expressément revendiquée, d'Albert Einstein à Jacques Monod<sup>7</sup>. D'autres ont pu la refuser, au contraire, au nom d'une impossibilité de parler en s'affranchissant d'un point de vue particulier ou en prétendant tenir l'ensemble de tous les points de vue possibles : mais cette position ramène dans les limitations étroites du nominalisme, du pragmatisme ou de l'empirisme, voire du relativisme généralisé.

Si la nécessité ne nous apparaît encore qu'en négatif, par ce caractère même de n'être pas directement liée à nos représentations, nous pouvons tenter d'en faire ressortir, comme sous un révélateur photographique, des traits qui la rendent manifeste par ses implications. Si nous y parvenons, nous serons alors en droit de parler d'une "principe de nécessité", qui serait, en fait, un méta-principe, ou principe philosophique, effectivement à l'œuvre dans les processus de connaissance du monde matériel et de ses formes (et des autres formes associées, comme les théories mathématiques). Comme elle n'est pas enfermée dans les limites de notre construction, l'idée de nécessité peut éventuellement nous permettre de comprendre comment il est possible d'aller au-delà, dans nos élaborations sur le monde, de l'état passé ou présent des connaissances, en informant les catégories ou les critères que nous nous forgeons à chaque étape. Cette capacité est au prix même de sa faiblesse apparente d'un point de vue directement positif quant à nos moyens de pensée.

L'idée de nécessité est ancienne<sup>8</sup>, déjà présente dans la notion de cause au sens général de *raison*, et sous-jacente à celle de *loi de la nature*. Concernant la physique, les lois du mouvement, les lois des chocs, la loi d'attraction newtonienne, les lois de conservation, etc., sont rapportées par leurs inventeurs, et par ceux qui les ont utilisées après eux, à la nature considérée en elle-même, et donc à ses propriétés nécessaires. L'idée d'*antériorité logique*, qui est contenue dans la notion de cause telle que la conçoivent des philosophes comme Descartes, Spinoza et Leibniz, traduit l'idée d'une raison des choses rapportée à leur nécessité même, ce que Leibniz formule, pour la pensée, par le principe de raison suffisante.

---

<sup>7</sup> Par exemple, Einstein [1935], [1946], [1949] ; voir Paty [1993], chapitre 9 ; Monod [1970].

<sup>8</sup> Nous laissons ici de côté toute la question, riche et complexe, de la nécessité et des possibles, de l'Antiquité à la Renaissance, avec ses prolongements dans la philosophie contemporaine. Voir en particulier Jules Vuillemin, *Nécessité ou contingence. L'aporie de Diodore et les systèmes philosophiques* (Vuillemin [1984]).

Mais cette nécessité concerne encore de manière indistincte la nature et la pensée, la seconde exprimant la première par fondation métaphysique (voire théologique, par le recours au divin, pour Descartes, Leibniz, Malebranche et d'autres) ou par décision philosophique et ontologique, dans le cas de Spinoza invoquant le parallélisme de la liaison entre les idées et de celle entre les choses. La *raison*, dans la philosophie rationnelle pré-critique, est ainsi garante, pour la pensée, de l'ordre qui se tient dans la nature, c'est-à-dire de sa *nécessité*.

La philosophie critique introduit à cet égard une rupture, en situant en dehors des perspectives de la connaissance rationnelle le monde des *noumènes* ou choses *en soi*, et en obligeant la science à s'en tenir aux connaissances phénoménales, c'est-à-dire portant sur ce qui se manifeste par les phénomènes, et remonte à la sensibilité et à l'entendement du sujet transcendantal qui s'en saisit. S'il y a une nécessité de la nature, nous n'y avons accès que par l'ordre du rationnel. Pour Kant, c'est la rationalité qui garantit la science, et la rationalité est constituée de telle façon qu'elle le puisse : elle est telle, par ses caractères ou ses propriétés, que les connaissances soient rendues possibles. Kant ne parle pas tant de la nécessité (elle est "conditionnelle et relative à l'expérience possible"<sup>9</sup>), que des propriétés de la raison qui nous la fait connaître (de l'entendement, qui donne l'intelligibilité rationnelle)<sup>10</sup>. Mais la seconde, la raison, est en réalité conçue de manière à tenir compte de la première, la nécessité, à titre d'exigence, comme on le voit dans la constitution des catégories de l'entendement. La *Critique de la raison pure* propose les "analogies de l'expérience" (parmi lesquelles figure la causalité) comme principes de l'entendement assurant la connexion de la pensée avec l'expérience du réel<sup>11</sup>. Or précisément, l'un des deux éléments essentiels de la définition kantienne de la causalité, comme condition posée par l'entendement, n'est autre que l'idée d'*antériorité logique*, à savoir, l'union des choses qui se suivent ou qui sont reliées, que Kant appelle encore "causalité suivant l'*ordre du temps*", l'autre élément étant la "causalité suivant le *cours du temps*", qui se rapporte, quant à elle, à la sensibilité ou, du moins, à l'expérience du monde sensible<sup>12</sup>. C'est ainsi que l'idée de nécessité, reçue des métaphysiques rationalistes antérieures, reste malgré tout sous-jacente à l'établissement des catégories qui caractérisent le sujet transcendantal kantien, tout en étant subsumée sous l'appareil de la philosophie critique. De fait, Kant inclut la nécessité parmi les postulats de la pensée empirique en général, avec le possible et le réel (il la considère dans son opposition à la contingence)<sup>13</sup>.

Avec les développements de la science moderne, et en premier lieu de la physique, mais aussi bien avec les leçons de la philosophie critique, l'idée de nécessité seule, sans médiations, ne pouvait pas s'affirmer directement de manière utile dans une connaissance marquée par les exigences de l'exactitude et du quantitatif. Elle ne pouvait rester, au mieux, qu'un méta-principe programmatique. Sans rattachement à un système de concepts, comme, en physique, des grandeurs

---

<sup>9</sup> Vuillemin [1955], p. 353.

<sup>10</sup> "La nécessité ne concerne que des rapports de phénomènes, suivant la loi dynamique de la causalité..." (Kant [1781]1786), 193, A 226-227, cité par Vuillemin [1955], p. 353).

<sup>11</sup> Kant [1781]1786), livre 2, chap. 2. Voir Vuillemin [1955].

<sup>12</sup> Debru [2003], Paty [2004].

<sup>13</sup> Vuillemin [1955], p. 29.

liées entre elles par des règles et relations précises, elle restait inopérante. Sa transcription en termes de causalité et, dans une moindre mesure, en déterminisme (pour ce dernier, au prix d'une confusion par identification anthropocentrique, comme chez Laplace<sup>14</sup>), constitua, en un sens, une telle médiation, à certains moments donnés de la connaissance : d'où les succès de ces notions, causalité, déterminisme, au point qu'elles furent souvent assimilées à la science elle-même avec sa nécessité. Mais la nécessité, qui se rapporte à la nature, transcende toute représentation, toute construction par la pensée, qui ne peuvent jamais être identifiées à cette nature qu'elles visent, étant toujours à quelque degré anthropocentriques ou portant les limitations des circonstances de leurs élaborations.

En quelque sorte, la connaissance critique des conditions de la connaissance scientifique ne suffit pas à rendre compte du mouvement de cette dernière, et de l'orientation de ce mouvement. Il semble, à cet égard, que l'idée de nécessité, toute générale et métaphysique soit-elle à première vue, puisse servir à guider la pensée, parmi d'autres indicateurs plus précis que nous pouvons reconnaître dans le mouvement des connaissances scientifiques, à travers les contenus mêmes de ces dernières, pour en mieux comprendre les significations. Nous voudrions montrer, tout en nous situant dans l'univers de la pensée post-critique, c'est-à-dire en prenant pleinement en compte le caractère symbolique et construit de la connaissance, en quoi *l'idée de nécessité* s'impose à nous si nous voulons tirer les leçons des connaissances présentes de la nature, et notamment de la nature physique, et ce que cette idée nous enseigne, sur la pensée et sur le monde.

### 3. CONNAISSANCE ET IMMANENCE

Nous prendrons, dans ce qui suit, nos exemples dans la physique, mais les considérations que nous pourrions proposer paraissent également pertinentes pour d'autres domaines de la connaissance scientifique, notamment dans les sciences de la nature (et dans les mathématiques) et, sans doute, sous bénéfice d'inventaire, pour les sciences humaines et sociales, y compris l'histoire. Le fil directeur de ces réflexions porte sur la nature des connaissances scientifiques et la signification de leurs énoncés (c'est-à-dire sur les contenus de ces derniers), ces connaissances étant prises entre les deux instances de leur invention-énonciation (à savoir, la pensée du sujet connaissant) et de leur référence par-delà les phénomènes donnés dans l'expérience (à savoir, la nature, le monde matériel, envisagé en lui-même, dans son extériorité par rapport à la pensée et dans son aséité, si l'on peut en dire quelque chose, ce qui nous renverra à l'idée de nécessité).

Une science, ou, à l'intérieur d'une science donnée, une représentation théorique, se présente comme un système de concepts régis par des propositions rapportées à des propriétés générales de la nature (ou du domaine d'objets considéré), telles que les principes physiques, qui agissent comme des contraintes

---

<sup>14</sup> Paty [2003].

régulatrices. Ainsi, le principe de relativité, ou le principe de moindre action, ou les principes de la thermodynamique (premier principe, de la conservation de l'énergie ; second principe, de l'augmentation de l'entropie dans les systèmes fermés). Ces propriétés, ainsi que celles plus spécifiques que décrivent les diverses théories dynamiques, sont référées, en définitive, au monde physique et à ses objets. Elles nous sont connues par les phénomènes physiques, éprouvés dans l'expérience, et cette circonstance, inhérente à la condition de toute connaissance humaine, suffit à elle seule à entâcher tout caractère absolu qui serait affecté à ces représentations théoriques, propriétés et principes.

Aucune connaissance scientifique (ou autre), considérée dans son contenu comme dans son processus, n'échappe à cette condition d'être construite par la pensée, selon les modalités du symbolique, et dans la contingence de circonstances particulières, tenant au sujet, à ses communications intersubjectives, au contexte culturel et social de l'élaboration et de la transmission des savoirs. Mais il est admis également, à moins de tomber dans le solipsisme, que cette formation symbolique entretient un rapport avec le monde indépendant de la pensée que l'on suppose exister, et dont elle prétend donner une description avec ses moyens propres (ceux de la pensée symbolique). De la mise en rapport des deux instances (par exemple, par l'expérience), résulte l'idée d'une adéquation entre la pensée et le monde, adéquation qui peut d'ailleurs être régulièrement améliorée, à travers l'invention de nouveaux éléments de connaissance symbolique, ainsi que des réorganisations de la structure de l'ensemble. La nature de la confrontation est telle que cette pensée du monde, en même temps qu'elle s'assure de certains caractères ou propriétés de ce monde (exprimés par les contenus de connaissance), conforte sa conviction de l'existence de ce monde, dans le sens où il ne peut pas être que notre représentation, ou un simple songe, parce qu'il "résiste". Cette résistance, qui s'éprouve dans la logique et la cohérence du système des propositions, ou dans leur mise en défaut, est l'effet de la *nécessité* même que l'on suppose à ce monde. A savoir, qu'il se tient (pour ce qui est du monde physique, ou de la nature en général, et même des mathématiques) avant et en dehors de la pensée, dans son aséité propre, et qu'on le posera dès lors, ou continuera de le poser, comme un point fixe de nos réflexions sur la connaissance.

Cette idée n'est, bien entendu, pas nouvelle, et elle sous-tend toute entreprise de connaissance scientifique à travers les siècles : la nouveauté, aujourd'hui, pour ce qui est des conceptions rationalistes, est qu'elle ne s'accompagne plus de la conviction d'un fondement absolu. Déjà, après Descartes et un peu avant Kant, d'Alembert désignait les deux points limites, à ses yeux, de la connaissance "certaine" : la conscience du *moi* (reprise du "*cogito ergo sum*"), et celle du *monde*. Il les concevait et les dénommait dans une veine cartésienne, mais en les considérant sans dualisme ontologique, indépendamment de toute croyance particulière (de type religieux, par exemple) et, en somme, comme constituant le minimum à demander de la *métaphysique*. Pour cet auteur, en quelque sorte, notre connaissance s'établit entre notre conscience du moi et notre conscience du monde, le second pôle nous étant tout autant évident que le premier.

Nous dirions, en des termes plus actuels, que si le sujet transcendantal constitue le centre de l'expérience vécue, en particulier celle de la pensée, la

connaissance qui s'y forme ne s'y renferme pas : au contraire, par elle le sujet *visé*, en mobilisant tous ses moyens, sous l'égide de l'exigence d'intelligibilité rationnelle (d'intelligibilité à la mesure de la rationalité), *ce monde* même qu'il éprouve comme extérieur à lui (non centré sur lui), dont il sait qu'il (ce monde) le déborde, lui et la connaissance qu'il s'en fait, mais dont il sait aussi qu'il (le sujet) en est lui-même partie prenante, et que c'est sans doute cette commune mesure qui lui permet de former cette connaissance. La connaissance se forme ainsi, par sa situation même, sur le mode de l'immanence, c'est-à-dire sans sortir de ce monde (c'était aussi, soit dit en passant, le propos de d'Alembert, de constituer ainsi sa mécanique rationnelle)<sup>15</sup>. Elle se transforme notamment à la faveur de la communication intersubjective, qui accentue le caractère immanent, échappant aux subjectivités particulières.

Cette immanence correspond ontologiquement au présupposé d'une connaissance objective. Il est tentant de détourner à ce propos la fameuse formule biblique de l'affirmation divine ("Je suis Celui qui est") en une affirmation équivalente sur le monde réel et matériel dans une inspiration spinozienne du monisme absolu : "Le monde est cela qui est". Tout ce qui est, et qui est pensé, n'a de sens que rapporté à lui. Formuler une telle proposition n'est aucunement revenir à la pensée pré-critique, puisqu'il est parfaitement possible de faire droit en même temps au caractère construit, par le sujet transcendantal, de ses représentations, dans ses conditionnements contextuels - dont la prise en compte est plus récente. Nous ne ferons ici qu'évoquer la position affirmée par Jean Cavaillès pour la philosophie des mathématiques et de la physique, diagnostiquant l'impasse à laquelle conduit, pour la connaissance, la référence exclusive au sujet transcendantal à la façon de Husserl, et optant délibérément, pour sa part, pour une "philosophie du concept", où la connaissance vise le monde conçu comme ce qui est. Elle le réalise par construction de concepts qui échappent au sujet qui les a produits et vont vers d'autres, qui les transforment dans une perspective objectivante, selon un schème dialectique qui ordonne cette construction à la représentation d'une immanence (c'est, chez Cavaillès, aussi bien l'univers mathématique que le monde physique réel)<sup>16</sup>.

La philosophie critique et les exigences de l'analyse du sujet transcendantal ne constituent pas une fin de non recevoir au problème philosophique de l'*existence* de ce monde. De surcroît, la science elle-même, dans ses développements, ne manque pas de nous y conduire. Elle le fait en premier lieu par l'itinéraire des savants eux-mêmes, qui se donnent, dans leur immense majorité, le monde matériel comme le but ultime de leurs recherches, même s'ils commencent par s'en fixer des réalisations partielles, portant sur des propriétés ou des explications particulières et localisées. C'est bien ce monde matériel qui se révèle, fût-ce par pans et morceaux, puisque c'est lui que l'on cherche, posé comme tel dès le départ de la connaissance consciente. Et l'on peut détourner, ici encore, dans un sens philosophiquement matérialiste, cette autre parole du Dieu biblique et chrétien : "Tu ne me chercherais pas si tu ne m'avais déjà trouvé." (On peut penser que de telles déclarations fortes ont une signification universelle,

---

<sup>15</sup> Paty [2004b].

<sup>16</sup> Cavaillès [1947] ; cf. Paty [2004c]

dictée par une réflexion immémoriale sur l'expérience humaine et le sens profond de la connaissance, de sorte que le “détournement” s'en trouve ainsi légitimé). Pourquoi l'homme chercherait-il à connaître le monde s'il ne savait pas, d'abord, ou, si l'on veut, s'il n'avait pas posé d'abord, que ce monde existe ? “Ce monde extérieur posé devant nous comme une énigme”, comme l'écrivait Einstein, évoquant les premières attirances de sa jeunesse pour la recherche : c'était, précisait-il aussitôt, une énigme présentée à la rationalité, à la connaissance rationnelle. Le même Einstein notait, en invoquant Kant, que poser la réalité du monde n'a de sens que si l'on pose en même temps l'intelligibilité du monde<sup>17</sup>.

C'est dans cette perspective même que nous nous plaçons ici : il existe un monde, matériel, dans toute sa diversité, sa complexité et sa richesse, qui va jusqu'à la vie de l'esprit avec ses valeurs, mais aussi dans son unité ontologique, que doit garantir la cohérence de ses représentations sous ces diverses formes ; il est possible pour la pensée humaine de le connaître, sans limitation *a priori* (les seules limitations à la connaissance présente étant nos ignorances, que nous espérons voir diminuer sans cesse).

Autrement dit, nous nous situons d'emblée, par principe (par choix de position philosophique), dans l'immanence. Quand nous parlerons du monde, nous ne supposerons rien d'autre que ce monde, et nous concevrons la connaissance que nous nous en formons comme donnée de son sein même et dans son sein, même si c'est avec la prise d'une distance, qu'implique la connaissance rationnelle et objective dans son “geste” et dans son mouvement. Ni dualisme, ni naturalisme : contre le dualisme, nous n'admettons qu'un seul principe ontologique du monde (sa nature matérielle), et contre le naturalisme, nous considérons que la pensée, qui est du monde, s'en distancie et s'en sépare dans sa volonté de connaissance et par les moyens mêmes de son approche, qu'elle peut caractériser dans les termes qui lui sont propres, alors que le monde, dans son extériorité, lui échappe, et qu'elle ne peut en préjuger ni croire qu'elle s'y confond.

#### 4. L'INTELLIGIBILITE DES CHANGEMENTS DE CONNAISSANCE

Arrivés à ce point, nous pouvons proposer que nous accédons à l'immanence par la représentation symbolique, celle de la connaissance que nous nous formons, ordonnée à l'idée d'objectivité, par-delà le sujet transcendantal et par-delà l'intersubjectivité : cette connaissance est rapportée (ou référée) à une réalité extérieure, que nous appelons *matière*, *nature* ou *monde*.

Il s'agit, dans cette affirmation de l'existence du monde (ou de la matière), non pas d'une connaissance de départ qui serait démontrée (scientifiquement), mais d'un choix de perspective, d'un choix, à vrai dire, de définition de ce que l'on entend par *intelligibilité* du monde. D'autres choix seraient possibles, mais ils ne conduiraient pas aux mêmes significations. Par exemple, celui d'une connaissance simplement empirique ; ou pragmatique, qui se contenterait de résoudre pas à pas des problèmes de nature essentiellement pratique, même s'agissant de connaissance.

---

<sup>17</sup> Einstein [1949]. Voir Paty [1993], chapitre 9.

En réalité, bien que cette proposition de départ ne soit pas démontrée, ni démontrable, elle se trouve confortée par les contenus de la connaissance scientifique, par le mouvement même de sa constitution, qui se fait par phases, chaque phase prenant son essor sur des connaissances antérieures, soit pour les prolonger et les développer, soit, bien souvent, pour les défaire au moins partiellement et les remanier. La connaissance scientifique ne part jamais de rien, même si le secret de ses innovations les plus remarquables réside dans une décision volontaire d'un sujet de penser avant tout par soi-même, de reprendre à la base la compréhension d'un problème ou la représentation d'un domaine. La "table rase" n'est alors que pour soi, car les nouvelles élaborations qui s'établissent sur elle ne sont possibles et effectives que par le terrain nourricier qui forme les structures mêmes de l'intelligibilité et de ses exigences neuves mises à nu. Ce terrain est fait des capacités du moi et de sa pensée, forgées sur des strates de culture.

On ne saurait sous-estimer, dans ces considérations, l'importance de la notion de *représentation symbolique* qui est la forme de notre connaissance, qui ne s'identifie pas à ce qu'elle représente, la nature ou la matière, conçues comme indépendantes de nous. Les représentations que nous nous en faisons sont évidemment imparfaites et sujettes à transformations, et sans doute s'améliorent-elles au fil de l'avancée des connaissances : ces améliorations se mesurent au degré de certitude (toujours relative) qu'on leur accorde et à la comparaison de leurs états successifs. Le fait que la science soit en élaboration, en transformation, est à cet égard chargé de signification. Car, si elle se modifie, elle ne nous échappe pas pour autant : les connaissances futures seraient impensables si elles ne se nourrissaient pas des présentes, fût-ce pour les transformer de manière radicale. Et ces transformations mêmes ne sont pas autre chose que le fruit du travail de la pensée. D'une manière générale, les connaissances acquises n'étaient pas données au départ, ni même prévisibles, du moins en grande part : elles ont été objet de découvertes, ou plus exactement d'"invention", d'"invention créatrice", par élaboration et construction sur le matériau symbolique de la pensée rationnelle.

Les connaissances de demain se présentent en partie comme la suite et le développement de celles d'hier, sur lesquelles elles s'appuient, tant de manière positive par continuité qu'à travers des oppositions et des ruptures : les connaissances établies ou critiquées donnent une prise sur une partie de la réalité ; elles font aussi prendre, par leurs manques, une mesure – certes, toute relative - de l'ignorance. Ce que nous connaissons tient à la totalité de ce qui est et dont nous ignorons la plus grande partie : les prises fermes permettent de progresser vers une plus grande connaissance. Nous savons, jusqu'à un certain point, ce qui manque à notre connaissance présente pour qu'elle soit plus complète à nos yeux. Il reste vrai également que ce que nous ne connaissons pas peut être tout autre que ce que nous imaginons aujourd'hui, et nous pouvons concevoir que la connaissance future se fera souvent au prix de changements profonds dans la manière même de penser, comme cela s'est produit dans le passé.

Le mouvement de la connaissance - celui que nous révèle l'histoire des sciences, et celui que nous envisageons pour le futur tout en sachant qu'il est surtout fait, pour nous, aujourd'hui, d'inconnu - nous invite à une réflexion sur la signification de la nouveauté en science. Par définition, le *nouveau* (dans

l'acception forte du terme) n'était pas prévisible (l'on n'en avait, au mieux, que de faibles indices). En survenant et en s'imposant, il change toute la perspective et, vu d'avant (d'aujourd'hui), l'on peut concevoir que c'est, en quelque sorte, la connaissance future qui entraîne la connaissance passée et présente, et qui détermine le mouvement de la connaissance, même si c'est aujourd'hui que nous considérons ce dernier, que nous nous y inscrivons et que nous le projetons. (Et nous ne pouvons pas tant prévoir le nouveau que nous préparer à le reconnaître, le moment venu). Le mouvement de la connaissance nous apparaît, en quelque sorte, dirigé par le futur<sup>18</sup>. Ce paradoxe apparent ne fait que traduire, à l'usage de notre point de vue anthropocentré, la constatation que le mouvement de la connaissance n'est pas décidé dans notre pensée, mais qu'il provient fondamentalement d'une instance extérieure à elle, qui n'est autre que le monde.

Il paraît donc raisonnable de penser que le mouvement de la science ne prend son sens que par l'*immanence*, et que son moteur est la *nécessité*. (Nous reviendrons plus loin sur des objections ou restrictions possibles à une telle assertion, en particulier sur la part que l'on doit faire au contingent, que l'on oppose *a priori* au nécessaire).

Il nous faut voir maintenant quelles indications, dans la connaissance même, dans ses contenus proprement dits et dans ses processus d'élaboration, renvoient à cette immanence, c'est-à-dire à l'idée du *monde* par-delà sa représentation, et à un principe de nécessité qui se rapporte à ce dernier.

## 5. FIGURES DE LA NECESSITE D'APRES LES SCIENCES CONTEMPORAINES

Nous avons vu comment la détermination des phénomènes selon les modes de la causalité ou du déterminisme, tout en étant exprimée dans l'ordre du symbolique, interne à la pensée, renvoyait de fait à l'idée de nécessité. Causalité et déterminisme étaient des formes du nécessaire *pour les systèmes de concepts considérés*. Loin que ces formes s'identifient au nécessaire, elles participaient de ces systèmes dont elles répercutaient les insuffisances, et restaient donc, par ces limitations mêmes, très en-deçà des exigences de la nécessité des choses.

La causalité physique classique, exprimée par des équations différentielles, devait être modifiée conformément aux exigences de la théorie de la relativité restreinte : les actions physiques et la propagation des champs sont retardées, et non pas instantanées, et se produisent à l'intérieur du "cône de lumière" de l'espace-temps<sup>19</sup>. Cette modification relativiste de la causalité apparaissait, après coup, comme une conséquence "logique" de l'introduction du concept de champ en physique. Pour Einstein, la théorie de la relativité restreinte n'était pas autre chose que l'ajustement des concepts fondamentaux de la physique pour les accorder au concept de champ saisi dans toutes ses implications<sup>20</sup>. Le concept de champ à propagation de proche en proche avait été introduit par

<sup>18</sup> Paty [2004c] ; [2003], chap. 12.

<sup>19</sup> Selon la relation de possibilité causale relativiste  $x^2 \leq c^2 t^2$ . Voir M. Paty, *La physique du XX<sup>e</sup> siècle* (Paty [2003]), chap. 2.

<sup>20</sup> Par ex., Einstein [1946]. Voir Paty [1993], chapitre 3.

Faraday<sup>21</sup> pour rendre compte des propriétés électriques et magnétiques de la matière ; bien qu'il fût, en fait, fondamentalement étranger à la mécanique, à ses notions absolues et à ses actions instantanées, le champ fut conçu au début dans le cadre de pensée de cette dernière, en termes d'ébranlements d'un support matériel, l'éther, qui se propagent dans l'espace. Les élaborations théoriques ultérieures (en liaison avec des études expérimentales) de Maxwell, de Lorentz et de Poincaré, le dépouillèrent progressivement de ces attributs mécaniques.

Ce fut la théorie de la relativité restreinte d'Einstein qui, en remaniant le cadre spatio-temporel de la physique, établit la possibilité de concevoir le champ comme une entité physique propre, pouvant être représentée en elle-même (sans recourir à des notions mécaniques), par une grandeur (une fonction) donnée dans l'espace et dans le temps, et dont les relations à d'autres sont exprimées par des équations différentielles. Tel était le sens de la déclaration d'Einstein soulignant, en 1905, comme un des résultats de son travail, l'inutilité de l'éther<sup>22</sup>. La nécessité conceptuelle et théorique qui s'attachait ainsi au concept de champ, introduit pour rendre compte de phénomènes de la nature (donnés dans l'expérience), d'abord simplement ajouté aux autres concepts de la mécanique et pensé en conformité à ces derniers, mais qui apparut gros d'implications sur la pensée physique, reflétait la nécessité de la nature elle-même. L'effet net de cette nécessité de la matière sur la pensée scientifique fut une unification plus grande de la physique et un élargissement de ses perspectives, une réorganisation théorique et conceptuelle qui, à son tour, entraînait d'autres implications sur la pensée de la matière-monde, comme la théorie de la relativité générale et l'ouverture de la cosmologie scientifique.

Dans le domaine quantique, les relations de causalité portent sur les "fonctions d'état", et non plus sur les variables d'espace classiques, ces dernières étant impropres à la description des systèmes quantiques : la causalité (différentielle) demeure, mais elle est exprimée autrement que pour le domaine classique. La "rupture de causalité" attribuée au processus de mesure revient, en dernière analyse, à la considération du rôle des variables classiques, en jeu dans les appareils de mesure macroscopiques : mais le processus de mesure peut être vu comme une étape intermédiaire entre deux moments théoriques qui considèrent le système quantique dans sa description propre<sup>23</sup>. Sous les limitations des conceptions de causalité antérieures apparaissent celles-là même des concepts que ces relations de causalité reliaient. Le fait que l'on soit réduit, dans ce domaine, à employer des probabilités fut longtemps interprété comme une restriction du champ des phénomènes possibles par une détermination seulement statistique ne faisant pas de place à des phénomènes ou systèmes individuels. Or, ces probabilités, dont la présence était irréductible, désignaient les grandeurs théoriques permettant de les exprimer, telles la fonction d'état (ou "amplitude de

---

<sup>21</sup> La dénomination de "champ" ne fut en fait donnée que bien après Faraday à cette "entité" (l'influences électrique et magnétique) définie dans l'espace, de façon autonome par rapport à la source qui l'a émise et à partir de laquelle elle se propage.

<sup>22</sup> Einstein [1905].

<sup>23</sup> M. Paty, *L'intelligibilité du domaine quantique* (Paty [à paraître, b]).

probabilité<sup>24</sup>). Celle-ci se révéla être l'instrument conceptuel et théorique apte à rendre compte des phénomènes spécifiquement quantiques (en particulier par sa propriété mathématique de superposition linéaire), et de les rapporter à des systèmes physiques individuels<sup>25</sup>. Ces derniers, en quelque sorte, se voyaient établis dans leur existence nécessaire, par une conjonction de l'explicitation de propriétés du "formalisme théorique" (c'est-à-dire, en fait, de la théorie elle-même) et de la réponse (positive) de l'expérience à leur sujet : les expériences effectuées sur cette question étaient directement guidées par la représentation théorique, dont elles étaient, en quelque sorte, la matérialisation. C'étaient, pour ainsi dire, des "expériences de pensée" réalisées. Ajoutons que les relations causales portent sur de tels systèmes individuels considérés selon leur description propre.

Le caractère irréductible, en physique quantique, de la détermination seulement probabiliste des grandeurs classiques attachées aux systèmes quantiques implique, par-delà la mise en question de la causalité, celle du déterminisme, battu en brèche dans ce domaine. Les relations (ou inégalités) dites "d'indétermination" (ou "de Heisenberg"<sup>26</sup>) correspondent à l'impossibilité de décrire avec une précision absolue (même idéalement) deux variables classiques conjuguées d'un même système quantique (comme la position et l'impulsion, ou les différentes composantes d'un moment angulaire, etc), ce qui implique la négation du déterminisme laplacien (qui suppose précisément la détermination exacte simultanée de la position et de la vitesse). Mais ces relations, qui portent sur des variables classiques, découlent de relations plus fondamentales entre les grandeurs qui, dans la théorie quantique, servent à décrire les propriétés du système physique. Ces grandeurs ont la forme d'opérateurs (mathématiques) agissant sur la fonction d'état (les variables classiques correspondantes en sont les "valeurs propres", solutions de l'équation d'état). Deux grandeurs "conjuguées" (dites encore "incompatibles") ne commutent pas<sup>27</sup>, ce qui a pour conséquence sur leurs valeurs propres que celles-ci sont soumises aux inégalités ou "indéterminations" en question.

Rapportée à sa raison théorique, l'"indétermination" des variables classiques (données par la mesure dans l'expérience) n'apparaît plus comme un

---

<sup>24</sup> La probabilité pour un système quantique d'être dans un certain état est donnée par le carré du module (ou valeur absolue) de la fonction d'état correspondante du système. Cette "interprétation probabiliste de la fonction d'état", proposée par Max Born, est l'une des bases les plus fermes de la théorie quantique.

<sup>25</sup> L'interprétation dominante de la mécanique quantique entretint longtemps une ambiguïté sur la question de la description de systèmes individuels, qui était le principal motif des objections d'Einstein à cette interprétation. Une fois admise la propriété spécifiquement quantique d'"enchevêtrement" (en anglais, "entanglement") d'états corrélés (ou "non séparabilité" quantique), et la possibilité effective d'étudier des systèmes quantiques individuels sans les détruire (expériences répétées d'interférence d'une particule quantique unique avec elle-même), il est clair que la théorie quantique est apte à décrire des systèmes physiques individuels.

<sup>26</sup> Par exemple :  $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$  ( $\Delta x$ ,  $\Delta p$  : largeurs spectrales des distributions des variables  $x$ , position, et  $p$ , impulsion ;  $\hbar = h/2\pi$ ;  $h$ , constante de Planck).

<sup>27</sup> Soient  $A$  et  $B$  ces opérateurs (opérateurs différentiels, matrices, etc.). Ils sont dits incompatibles si leur produit n'est pas commutatif :  $AB - BA \neq 0$ . Au contraire, les nombres ordinaires commutent (par ex., les valeurs prises par deux variables classiques,  $a$  et  $b$  : on a toujours  $ab - ba = 0$ ).

signe d'une indétermination fondamentale dans la nature ou dans nos moyens de l'approcher. D'une part, en effet, les variables classiques sont impuissantes, à elles seules, à fournir une description du système physique, et donc peu nous chaut, du point de vue fondamental, qu'elles restent relativement indéterminées. D'autre part, elles sont la conséquence d'une caractéristique plus profonde du système physique, rendu dans la description théorique par la "non-commutativité" des grandeurs-opérateurs servant à décrire (représentant) les propriétés de ce système. La détermination du système est acquise, au contraire, par la "connaissance complète" d'un ensemble de grandeurs-opérateurs (encore appelés "observables") "qui commutent entre eux". Elle peut être obtenue, de manière équivalente (avec une même fonction d'état) par un autre ensemble de cette sorte, ne commutant pas avec le premier. (Chacun de ces ensembles correspond à des propriétés contextuelles, répondant à un choix de grandeurs pour décrire le système ; le passage de l'un à l'autre correspond à une sorte de changement de référentiel, pour des superpositions linéaires). Certains traits spécifiquement quantiques de ces systèmes peuvent être directement retrouvés ou décrits à partir de ces propriétés ("formelles") de leur représentation théorique.

Les systèmes quantiques ne pouvaient être décrits de manière exacte, ni satisfaisante, par les concepts classiques : ce seul constat serait resté très en-deçà des possibilités et des perspectives théoriques. Les caractères spécifiques de la théorie quantique, comme ceux que nous venons de rappeler, qui apparurent au début déconcertants, loin d'exprimer une faiblesse de la nouvelle théorie et son incapacité à tout prévoir ce qu'il faudrait, ou encore un "renoncement" de la connaissance qui resterait inéluctablement tributaire des conditions de l'observation (toujours classique)<sup>28</sup>, se révélèrent comme devant être rapportés à la nature même des systèmes physiques considérés, dont ils servirent très souvent à anticiper les propriétés. La théorie quantique s'avéra, en fait, très fortement prédictive, mais sur les grandeurs et propriétés qui caractérisent les systèmes quantiques, différemment des classiques. Mentionnons, comme exemples de phénomènes spécifiquement quantiques ainsi prédits, les auto-interférences, les oscillations (de mésons  $K$ , de neutrinos), les corrélations quantiques à distance (ou non séparabilité locale), les propriétés de symétrie de spin-statistique, qui impliquent le principe d'exclusion de Pauli, d'où la structure des atomes et des noyaux, mais aussi la condensation de Bose-Einstein et l'effet laser, les symétries de nombres quantiques internes des particules élémentaires, etc.<sup>29</sup>. C'était le résultat de la "force contraignante des phénomènes"<sup>30</sup>, autrement dit de la *nécessité* de la *matière-monde*, et celle-ci s'avérait une fois encore comme la régulatrice souterraine des choix de systèmes de concepts et de catégories de la pensée rationnelle.

Prenons encore un autre exemple de limitations du déterminisme, de nature très différente, rencontrées dans l'étude des systèmes dynamiques<sup>31</sup>. Tout en répondant à la définition du déterminisme physique la plus classique

---

<sup>28</sup> La première position était celle d'Einstein, la seconde celle de Bohr.

<sup>29</sup> Voir Paty [à paraître, b].

<sup>30</sup> L'expression, qui est d'Einstein, est reprise par nombre de physiciens, notamment du domaine quantique.

<sup>31</sup> Paty [à paraître, c] ; Paty [2003].

(connaissance des lois de causalité par des équations différentielles, et donnée d'un état initial), les systèmes décrits par des systèmes d'équations non linéaires ne peuvent pas faire l'objet de prévisions strictes sur les trajectoires suivies, en raison de l'amplification, arbitraire à terme, des variations, même très petites, des conditions initiales. Les situations de "chaos déterministe" constatées dans la nature (en physique, en météorologie, dans d'autres sciences encore), et en particulier la possibilité de les contrôler en laboratoire, ont permis de dégager des propriétés inédites et très précises de tels systèmes, en dépassant le simple constat de l'imprévisibilité à terme des trajectoires individuelles, à partir des mêmes systèmes d'équations différentielles qui les décrivent. Il fallait abandonner le point de vue exclusif des trajectoires individuelles, et porter son attention sur l'aspect systémique et les propriétés qualitatives (allures des courbes, comportements asymptotiques) de familles de trajectoires soumises à une même relation de causalité (les différences concernant la variabilité des conditions initiales). Ce nouveau point de vue, cette "manière nouvelle de penser" (en fait, inaugurée par Henri Poincaré vers la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, réactivé relativement récemment), ont permis de mettre au jour des propriétés fondamentales de ces systèmes. C'est ainsi que les comportements des systèmes dissipatifs, où les trajectoires suivies deviennent vite chaotiques, apparaissent en fait réglés par un "attracteur étrange", figure dynamique parcourue par un point représentatif du système dans l'espace de ses paramètres. L'attracteur se présente comme une structure d'ordre cachée sous le chaos apparent des trajectoires, liée à la forme des équations. Cette approche permet de formuler en des termes inédits (et grandement prédictifs) les problèmes de stabilité de tels systèmes (par exemple, pour le système solaire). Les limitations du déterminisme qui, dans ce cas, étaient essentiellement son caractère inopérant, indiquaient par défaut une forme de nécessité différente, conçue de manière moins étroite, et donc moins marquée de contingence : la contingence (jusqu'au "chaos") est dominante quand on considère les trajectoires individuelles, et la nécessité se manifeste dans l'ordre sous-jacent, qui tient à la structure même du système d'équations, et qui porte ses effets sur une causalité conçue globalement (pour l'ensemble des trajectoires).

Bien que ce soit sous des espèces différentes pour chacun des domaines de la physique que nous venons d'évoquer, les limitations de la causalité ou du déterminisme, et des systèmes conceptuels classiques associés, qui avaient pu être vues initialement comme des déficits de la connaissance, se sont avérées ultérieurement correspondre à des caractérisations positives (et inédites) des phénomènes considérés. Ces modifications ont été imposées par les développements de la physique, pour rendre cette dernière conforme aux nouvelles propriétés connues des phénomènes et des objets physiques. On doit remarquer que ces propriétés sont apparues, bien souvent, comme découlant d'une logique de la représentation théorique, avant d'être reconnues dans les phénomènes. Cela signifie que les concepts et les théories formés comme représentations symboliques portaient, dans leurs agencements et leurs implications, quelque chose de plus que ce qu'ils semblaient initialement signifier. En se proposant pour représenter des rapports réels mais partiels de la matière et du monde, ils incluaient en fait, de manière implicite et potentiellement, d'autres aspects de ces rapports, qui tenaient structurellement aux premiers. C'est de cette

manière, bien souvent, que la nécessité du réel se rend manifeste, en transportant ses effets dans nos représentations. D'une manière générale, on peut voir les modifications de causalité et de concepts comme des ajustements *obligés* de nos représentations théoriques, par l'effet de la *nécessité* même de la nature se marquant par la "force contraignante des phénomènes" ; celle-ci nous fait saisir des relations et des rapports plus riches que ce que nos limitations mêmes nous permettraient de concevoir. Ainsi la nécessité du réel se transcrit-elle, souvent à notre insu, dans une nécessité correspondante de nos représentations théoriques.

On comprend de la même manière que les propriétés du vivant aient suscité l'invention de la biologie moléculaire avec une nouvelle acception de la notion d'organisme "vivant". Et, semblablement, toutes les grandes élaborations théoriques des sciences, ainsi que les transformations des conceptions méta-théoriques et épistémologiques qui les accompagnent. Que ces connaissances soient "construites" dans l'ordre du symbolique ne change rien à cette contrainte sur elles qui vient de la nature même du monde : leur contingence, marquée par l'héritage et le contexte, est celle d'un point de vue, mais ce dernier se voit tenu de suivre le mouvement dicté par ce qu'il considère et vise. Autrement dit, le nécessaire oblige le contingent, la matière-monde mène le jeu qui fait se transformer les représentations.

## 6. UNITE, COHERENCE, INVARIANCE

"L'Univers, pour qui saurait l'embrasser d'un seul point de vue, ne serait, s'il est permis de le dire", écrivait au XVIII<sup>e</sup> siècle d'Alembert, "qu'un fait unique et une grande vérité"<sup>32</sup>. Cette considération exprime l'idée d'une unité du monde, unité cosmologique qui est présente à l'horizon de la pensée humaine, et notamment de la pensée scientifique, sans doute plus fortement encore aujourd'hui que naguère, malgré le morcellement des connaissances spécialisées. La pensée scientifique s'oriente ainsi naturellement vers la saisie d'une plus grande unité, d'où résulte un mouvement général des sciences vers l'élargissement et l'unification. Cette perspective d'approfondissement de la connaissance sous le signe de l'unité du monde ne se restreint pas à l'intérieur d'une théorie donnée, ou d'une science, et laisse envisager des fécondations mutuelles entre des domaines et des objets de science différents, dans le respect de leurs spécificités. C'est ce qu'entendait Claude Bernard lorsqu'il demandait que l'on traite "les phénomènes des corps vivants (...) comme ceux des corps bruts" (ils les voulait soumis "à un déterminisme absolu et *nécessaire*", confondant cependant ici déterminisme et nécessité)<sup>33</sup>.

La prise en compte de l'exigence de nécessité pour chaque domaine, et pour l'ensemble des domaines de la connaissance scientifique, nous fait en même temps un devoir de *cohérence* entre des représentations ou descriptions partielles, souvent disjointes, et un impératif de *critique*, puisque nous ne nous situons jamais que dans nos systèmes symboliques, qui sont notre création, et que les

<sup>32</sup> D'Alembert, « Elémens des sciences », article de l'*Encyclopédie* (D'Alembert [1751]).

<sup>33</sup> Claude Bernard, *La science expérimentale* (Bernard [1890]), p. 40.

relations que nous y voyons (la nécessité pour nous de nos systèmes de concepts) ne s'identifieront jamais à la nécessité du monde. Le point de vue de la nécessité ne sera jamais vraiment *notre* point de vue : il ne sera que notre *intention*, car la distance entre la connaissance humaine et la réalité immanente de la matière-monde est vouée à demeurer irréductible. Cela, du moins, devrait nous libérer du dogme.

Les concepts et les théories scientifiques sont notre production, toujours révisables, tout en constituant des réservoirs de contenus de sens, et en étant, à un certain degré, nécessaires, car ils sont le moyen de notre accès au monde. Si nous avons tenté de montrer comment c'est la nécessité du monde qui détermine, souterrainement, le mouvement de la connaissance scientifique, il nous reste à voir s'il est possible, du moins dans certains cas, de mesurer ce mouvement ou de le caractériser par des critères. Cela est bien entendu possible de manière globale et qualitative, comme nous l'avons vu pour la physique relativiste, la physique quantique, la physique des systèmes dynamiques non linéaires. Ces théories restent, pour l'instant, dissociées, quoique nous admettions que la réalité du monde est une. Bien qu'aucune unification ultérieure ne soit garantie et que seule la cohérence entre les représentations de différents domaines soit, à strictement parler, requise, on peut estimer que le mouvement vers l'unification (globalement ou localement) correspond pour la pensée à une sorte d'appel du nécessaire, par l'idée de l'unité de la matière.

Je n'en évoquerai ici comme exemple que la physique subatomique contemporaine, avec ses développements théoriques concernant les symétries des particules élémentaires et des champs de jauge, et leurs implications dans le domaine, à première vue fort lointain, mais en réalité connexe, de la cosmologie (et notamment la cosmologie primordiale, des "premiers instants")<sup>34</sup>. La leçon principale que nous voulons en retenir est celle qui ressort de la conception qui place la dynamique sous la juridiction de principes de symétrie, en utilisant toutes les ressources des groupes de transformation : c'est l'idée que la forme d'une théorie dynamique peut être obtenue directement comme conséquence des contraintes théoriques imposées aux grandeurs conceptuelles par les principes de symétrie ou d'invariance, eux-mêmes formés et choisis pour des raisons physiques. Remarquons qu'il y a, dans l'idée d'invariance, la recherche du plus grand décentrement, par le dépassement de tous les points de vue particuliers. Considérant un système de concepts, l'invariance des relations dynamiques correspond au choix du point de vue de tous les points de vue possibles relatifs à ce système, ce qui est se placer, sous ce rapport, dans l'exigence de l'immanence et de la nécessité.

Les théories ainsi construites (voir les *théories de jauge* récentes, *électrofaible*, *chromodynamique quantique*, *de grande unification*) peuvent faire l'objet de comparaisons suivant leur plus ou moins grande "complétude", c'est-à-dire suivant le nombre de variables ou paramètres indépendants qu'elles mettent en jeu : plus grande est la contrainte, moindre le nombre de degrés de liberté et de constantes arbitraires, meilleure la perspective d'unification, et meilleure la théorie, à adéquation empirique équivalente. A la limite de contraintes totales

---

<sup>34</sup> Voir Paty [2003b].

(évidemment hors de portée), seules des constantes totalement déterminées de façon rationnelle dans la théorie même interviendraient. La complétude théorique entendue dans ce sens (einsteinien)<sup>35</sup> correspond à un critère d'intelligibilité rationnelle (l'enserrement étroit des grandeurs variables dynamiques et des constantes dans un système, de telle sorte que la moindre modification des unes changerait les autres avec le système théorique dans son ensemble), ce critère paraissant le mieux adapté à exprimer la *nécessité du réel*. Les contraintes sont ainsi vues comme si l'on se rapprochait d'une représentation intrinsèque, ou du moins de ses relations : comme si, selon le mot d'Eddington, l'on parvenait à "mesurer la nature à sa propre jauge"<sup>36</sup>. Cette considération fournit du moins un critère de comparaison des théories : entre plusieurs théories équivalentes pour un domaine, on choisira de préférence la plus "complète", comme se rapprochant le plus de l'objet qu'elle vise : car elle l'exprime davantage que les autres dans sa *nécessité*.

Il va de soi, dans cette perspective comme dans toutes les considérations qui précèdent, que les grandeurs mathématiques et les formes mathématiques des grandeurs physiques sont particulièrement aptes à exprimer la nécessité qui se donne dans la relation.

Pour en terminer sur les perspectives ouvertes par les sciences récentes, nous ajouterons une dernière considération qui contribue, d'une autre manière, à éclairer notre conception du monde et de sa nécessité. La connaissance scientifique contemporaine présente de nouveaux indices, voire de nouvelles évidences, extrêmement frappantes, qui rendent difficilement récusable la proposition qu'il existe un monde hors de nous, qui dépasse ou transcende notre représentation et qui se manifeste à nous par sa nécessité : ce que nous appelons le monde matériel. Le fait général d'une évolution temporelle des formes de la matière et du monde, récusant tout fixisme, nous assure qu'il y a eu des états du monde matériel, naturel, physique et biologique (et sans doute même social, si l'on songe aux sociétés animales et proto-humaines), avant l'émergence de la pensée pour les dire. Dans ce sens, la connaissance cosmologique et celle de l'évolution biologique présentent une série d'arguments objectifs en faveur de la préexistence du monde à l'homme et de son extériorité par rapport à la pensée et à ses conditionnements. Ce n'est pas là tomber dans le naturalisme, mais simplement tenir compte d'une donnée aux limites, dans les contenus de connaissances, qui pose à notre pensée une condition supplémentaire de cohérence, en impliquant une contrainte sur la possibilité même de concevoir la connaissance : elle est inscrite dans le temps du monde. Cette considération se joint aux autres impératifs du nécessaire.

## 7. LA DUREE TEMPORELLE ET LE CONTINGENT DANS LE NECESSAIRE

La conscience prise du temps de l'évolution cosmique, biologique, et aussi historique, nous invite à prolonger la remarque qui précède en une autre, à

---

<sup>35</sup> Albert Einstein, « Autobiographical notes » (Einstein [1946], p. 62-63.

<sup>36</sup> Arthur Eddington, *The philosophy of physical science* (Eddington [1939]).

savoir que la connaissance scientifique est, elle aussi, le fruit d'une genèse au long du temps, cette fois dans l'ordre des cultures. Le temps, qui donne, pour ainsi dire, forme aux objets et aux êtres de l'Univers, en a façonné aussi les éléments de connaissance et de représentation depuis les premiers balbutiements de la pensée connaissante et réflexive de l'espèce humaine. C'est par une longue série d'efforts d'élaboration, chaque état prenant appui sur les précédents, que la pensée humaine, dans les diverses cultures, et à leurs points de rencontre et de jonction, s'est partiellement approprié ce monde, sous diverses formes : elle s'en est, en quelque sorte nourrie, le transformant pour son propre usage, dans l'ordre du symbolique, tel qu'il se donnait selon sa nécessité, mais dans la contingence de ses manifestations et des capacités de la pensée. On peut ainsi diagnostiquer, à chaque étape, un accord entre, d'une part le rationnel et ses aptitudes représentatives, et d'autre part une manifestation de la nécessité du monde matériel. La recherche scientifique systématise ce mouvement (propre à l'humanité, motivé par la conscience des limites du savoir présent), d'approfondissement et d'amplification de la connaissance, selon les exigences de l'intelligibilité rationnelle, pour tenter de s'égaliser au nécessaire, qui est pour nous comme l'étoffe dynamique de la matière-monde. A chaque pas, cette connaissance en mouvement s'éprouve à la résistance du réel, et se charge ainsi de contenus de sens qui s'orientent du contingent (inhérent à sa situation de partie de l'Univers) vers le nécessaire, dans la durée temporelle qui est celle de l'histoire.

La transparence des purs symboles en quoi s'expriment, à un stade donné de connaissance (comme, exemplairement, en physique), les idées et les concepts, n'est à cet égard qu'apparente. Ces derniers acquièrent, certes, la simplicité et l'univocité du maniement des symboles, mais ils n'en portent pas moins des contenus de sens qui les font intelligibles en référence à davantage que des signes. A première vue, cette référence n'est autre que le système relationnel auquel ils appartiennent, qui transcrit la signification des concepts représentés par ces symboles. Comme éléments d'une structure relationnelle, ils tiennent leur sens, et les contenus qu'ils portent, de la totalité de cette structure, ce qui suffirait déjà à leur ôter la transparence de simples signes. Pour la physique, cette structure est la théorie, qui donne la signification des grandeurs conceptuelles, c'est-à-dire leur contenu physique, qui se rapporte à des phénomènes effectifs ou possibles. Il est clair que le champ électromagnétique ne se ramène pas aux simples symboles qui le désignent, et pas davantage la fonction d'état d'un système quantique : d'ailleurs ils servent à penser et à créer, par l'entremise d'appareillages expérimentaux conçus et fabriqués en relation à eux, des phénomènes physiques. Si c'est bien à la structure théorique que le contenu de sens est confié, celui-ci n'est tel (ne signifie) que par l'intelligibilité que nous pouvons en avoir. Cette intelligibilité nous renvoie aux caractères du rationnel et à la possibilité de l'intériorisation des connaissances acquises dans son ordre. C'est ici que le lent travail historique d'élaboration, de rectification, de familiarisation, d'assimilation, que représente tout processus de connaissance, se rappelle à nous pour nous permettre de concevoir comment il est, et a été, possible à la pensée humaine de comprendre quelque chose du monde.

On pressent que les propriétés et les structures mêmes de l'intelligibilité rationnelle sont le premier fruit de cette élaboration, conditionnant

les autres<sup>37</sup>. On conçoit également que l'intériorisation, dans chacune des pensées individuelles concernées, renvoie à ce que nous pourrions appeler *l'incarnation de la raison*, qui non seulement pénètre l'intelligence abstraite, mais active les ramifications que celle-ci entretient avec les autres dimensions du sujet individuel, et qui comprennent aussi bien les émotions et les sensations, qui du cerveau informent tout le corps lui-même<sup>38</sup>. En un sens, l'intellect agit en retour sur les fonctions de perception, de telle sorte que la compréhension se traduit en un véritable *acte*, qui implique la personne et la fait acquiescer. (C'est ici aussi que se situe, dans le prolongement du corps par l'instrument, le raccord à l'expérience, qui agit directement dans le monde). De cette action en retour de l'intellect sur le sujet pris dans son unité résulte sans doute cette capacité de "perception intellectuelle" synthétique immédiate que l'on nomme "*intuition*", qui semble déborder le symbolique pur en tant qu'extériorité de la pensée, comme en le reliant au corps et au monde dans une expérience vécue de ce dernier<sup>39</sup>. On peut concevoir que l'intelligibilité, rendue ainsi quasiment "charnelle", contribue par là à charger les relations symboliques des éléments de connaissance d'un concret tiré du monde. Ceci concernerait la compréhension individuelle, qui diffère pour chacun. Quant aux contenus de signification objectifs, s'ils transcendent ces appropriations singulières, ils en comprennent la capacité, considérée en général aussi bien que selon les transmissions, le témoignage, l'enseignement, l'apprentissage. Au bout du compte, les contenus de connaissance, et singulièrement de la connaissance scientifique la plus épurée, la plus exacte, ne nous ont jamais été donnés que dans une étroite relation entre le monde et nous, qui ne se comprend que selon la durée et le poids de l'histoire.

C'est ce qui fait que malgré la contingence des circonstances de la construction de connaissances, celles-ci désignent fondamentalement la nécessité de la matière-monde et de ses formes, en raison des résistances dont nous avons parlé, dont l'effet s'est porté sur les contenus de connaissances, et sur l'intelligibilité par laquelle ces connaissances peuvent être constituées et prendre sens. Et cela, dans leur historicité même, qui confère à ces contenus de connaissances la consistance et la densité de ce qui se rapporte en dernier ressort à l'immanence et à sa nécessité.

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ALEMBERT, Jean le Rond D' [1751a]. *Discours préliminaire de l'Encyclopédie*, 1751, in d'Alembert et Diderot [1751-1780], vol. 1, 1751 ; nlle éd., introduite et annoté par Michel Malherbe, Vrin, Paris, 2000.

ALEMBERT, Jean le Rond D' [1755]. « Elémens des Sciences », in d'Alembert et Diderot [1751-1780], vol.5, 1755, p. 491-497.

---

<sup>37</sup> Paty [2001].

<sup>38</sup> On ne peut ici que renvoyer à la *Phénoménologie de la perception* de Maurice Merleau-Ponty (Merleau-Ponty [1945]).

<sup>39</sup> Voir, par exemple, ce que dit Einstein de l'intuition, où entre une certaine empathie (cf. Paty [1993], chap. 9).

ALEMBERT, Jean le Rond D', et DIDEROT, Denis (éd.) [1751-1780]. *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, 17 vols + 11 vol. de planches, Briasson, David, Le Breton et Durant, Paris, 1751-1780.

BERNARD, Claude [1890]. *La science expérimentale*, Baillièrre, Paris, 1890.

BOUTROUX, Emile [1874]. *De la contingence des lois de la nature*, Alcan, Paris, 1874 ; ré-éd., 1908.

CAVAILLES, Jean [1947]. *Sur la logique et la théorie de la science* (rédigé en 1942, 1<sup>e</sup> éd., 1947), 3<sup>e</sup> éd., Vrin, Paris, 1976.

DEBRU, Claude [2003]. Causalité, temporalité, fonction. Kant, Helmholtz, Mach, in Viennot, Laurence et Debru, Claude (éds.), *Enquête sur le concept de causalité*, Collection « Sciences, histoire et société », Presses Universitaires de France, Paris, 2003, p. 57-75.

DESCARTES, René [1641]. *Meditationes de Prima philosophia*, 1<sup>ère</sup> éd., Michel Soly, 1641 ; 2<sup>ème</sup> éd. augm., Louis Elzevier, Amsterdam, 1642 ; in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 7, p. 1-612. Trad. en français (1647), *Méditations*, in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 9, p. 1-254.

DESCARTES, René [1644]. [1644]. *Principia philosophiæ*, 1<sup>ère</sup> éd. princeps, Louis Elzevier, Amsterdam, 1644 ; in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 8, p. 1-353. Trad. en français (1647), *Principes de la philosophie*, in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 9, p. 1-362.

DESCARTES, René [1964-1974]. *Oeuvres de Descartes*, publiées par Charles Adam et Paul Tannery, 11 volumes (1<sup>ère</sup> éd., 1896-1913) ; nouvelle édition révisée, 1964-1974; ré-éd., 1996. (Edition indiquée AT).

DUHEM, Pierre [1906]. *La théorie physique. Son objet, sa structure*, Paris, 1906 ; Ré-éd., Vrin, Paris, 1981.

EDDINGTON, Arthur [1939]. *The philosophy of physical science*, Cambridge University Press, Cambridge 1939.

EINSTEIN, Albert [1905]. “Elektrodynamik bewegter Körper”, *Annalen der Physik*, ser. 4, XVII, 1905, 891-921. Trad. fr. , “L'électrodynamique des corps en mouvement”, in A. E., *Oeuvres choisies*, Seuil, Paris, 1989-1993, Vol. 2.

EINSTEIN, Albert [1935]. “Physik und Realität”, *Franklin Institute Journal*, CCXXI, 1936, 313-347. Trad. fr., “Physique et réalité”, in A. E., *Oeuvres choisies*, Seuil, Paris, 1989-1993, Vol. 5, p. 125-151.

EINSTEIN, Albert [1946]. Autobiographisches. Autobiographical notes, in Schilpp, P.A. (ed), *Albert Einstein, philosopher-scientist*, The library of living philosophers, Open Court, La Salle (Ill.), 1949, p. 1- 95.

EINSTEIN, Albert [1949]. Reply to criticism. Remarks concerning the essays brought together in this cooperative volume, in Schilpp, P.A. (ed), *Albert Einstein, philosopher-scientist*, The library of living philosophers, Open Court, La Salle (Ill.), 1949, p. 663-693.

KANT, Emmanuel [1781] 1787. *Critik der reinen Vernunft*, J.F. Hartknoch, Riga, 1781; 2<sup>e</sup> éd., 1787. Trad. fr. par Alexandre J.L. Delamarre et François Marty, *Critique de la raison pure*, in Kant, Emmanuel, *Oeuvres philosophiques*, vol. 1, Gallimard, Paris, 1980, p. 705-1470.

MERLEAU-PONTY, Maurice [1945]. *Phénoménologie de la perception*, Coll. "Bibliothèque des idées", Gallimard, Paris, 1945 ; ré-éd., Coll. "Tel", 1999.

MONOD, Jacques [1970]. *Le hasard et la nécessité*, Seuil, Paris, 1970.

PATY, Michel [1988]. Sur la notion de complétude d'une théorie physique, in Fleury, Norbert; Joffily; Sergio; Martins Simões, J.A. and Troper, A. (eds), *Leite Lopes Festschrift. A pioneer physicist in the third world* (dedicated to J. Leite Lopes on the occasion of his seventieth birthday), World scientific publishers, Singapore, 1988, p. 143-164.

PATY, Michel [1992]. L'endoréférence d'une science formalisée de la nature, in Dilworth, Craig (ed.), *Intelligibility in science*, Rodopi, Amsterdam, 1992, p. 73-110.

PATY, Michel [1993]. *Einstein philosophe. La physique comme pratique philosophique*, Presses Universitaires de France, Paris, 1993.

PATY, Michel [1999]. L'universalité de la science. Une idée philosophique à l'épreuve de l'histoire, *Mâat. Revue Africaine de Philosophie*, 1ère année, n° 1, avril 1999, 1-26.

PATY, Michel [2001]. Intelligibilité et historicité (Science, rationalité, histoire), in Saldaña, Juan José (ed.), *Science and Cultural Diversity. Filling a Gap in the History of Science*, Cadernos de Quipu 5, México, 2001, p. 59-95.

PATY, Michel [2003a]. La notion de déterminisme en physique et ses limites, in Viennot, Laurence et Debru, Claude (éds.), *Enquête sur le concept de causalité*, Collection « Sciences, histoire et société », Presses Universitaires de France, Paris, 2003, p. 85-114.

PATY, Michel [2003b]. *La physique du XX<sup>e</sup> siècle*, Collection « Sciences et histoires », EDP-Sciences, Paris, 2003.

PATY, Michel [2004a]. Genèse de la causalité physique, *Revue philosophique de Louvain*, 2004.

PATY, Michel [2004b]. L'élément différentiel de temps et la causalité physique dans la dynamique de Alembert, in Allard, André & Morelon, Régis, *et al.* (eds.), *Mélanges en hommage à Roshdi Rashed*, Peters, Løwen (Be).

PATY, Michel [2004c]. Des fondements vers l'avant. Sur la rationalité des mathématiques et des sciences formalisées, *Philosophia Scientiae* (Nancy).

PATY, Michel [à paraître, a]. *Einstein, les quanta et le réel*, à paraître.

PATY, Michel [à paraître, b]. *L'Intelligibilité du monde quantique*, à paraître.

PATY, Michel [à paraître, c]. Grandeurs physiques et systèmes dynamiques, in Franceschelli, Sara; Paty, Michel et Roque, Tatiana (éds.), *Epistémologie des systèmes dynamiques*, Editions du CNRS, Paris, à paraître.

SPINOZA, Baruch [1675]. *L'Ethique*, trad. Charles Appuhn, in B.S., *Œuvres*, Garnier-Flammarion, vol. 3, Paris, 1955. (Original en latin, rédigé entre 1661 et 1675, *Ethica ordine geometrico demonstrata*, in Spinoza, *Opera*, ed. Carl Gebhardt, Carl Winter, Heidelberg, 4 vols., 1925).

VUILLEMIN, Jules [1954]. *Physique et métaphysiques kantienne*s, Presses Universitaires de France, Paris, 1955.

VUILLEMIN, Jules [1984]. *Nécessité ou contingence. L'aporie de Diodore et les systèmes philosophique*, Minuit, Paris, 1984.

Equipe REHSEIS, CNRS et Université Paris 7-D. Diderot  
Centre Javelot, 2 Place Jussieu  
F-75251 Paris-Cedex 05  
France  
paty@paris7.jussieu.fr