



HAL
open science

Nouveauté et émergence dans la quête des fondements

Michel Paty

► **To cite this version:**

Michel Paty. Nouveauté et émergence dans la quête des fondements. Principia, Revista de Epistemologia (Florianopolis, SC, Brésil), 2004, p.36-51. halshs-00167278

HAL Id: halshs-00167278

<https://shs.hal.science/halshs-00167278>

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.

Nouveauté et émergence dans la quête des fondements*

Michel PATY[†]

Résumé.- *Nouveauté et émergence dans la quête des fondements.* La recherche de fondements assurés pour une connaissance, notamment quand elle est formalisée, peut être vue comme un cas particulier de la recherche d'une plus grande intelligibilité. Elle aboutit en général à modifier des éléments structurels de la connaissance admise (ce qui touche aux questions de *relativité ontologique* et de *holisme épistémologique*), faisant apparaître des éléments nouveaux de pensée et de « réalité », des structures conceptuelles émergentes sur le terrain des précédentes. On se propose de mettre en évidence le lien entre l'émergence de nouvelles connaissances impensables auparavant, qui élargissent le champ de la connaissance possible, et le mouvement effectif « vers l'avant » de la recherche de fondements.

Abstract.- *Novelty and emergence in the quest for foundations.* The search for firm foundations for a given knowledge, notably in the case of a formalized one, can be seen as a particular case of the search for deeper intelligibility. It generally brings to modifying the structural elements of the received knowledge (this having to do with questions of *ontological relativity* and *epistemological holism*), letting appear new elements of thought and of « reality », emergent conceptual structures on the ground of the preceding ones. We propose to show the link between the emergence of new knowledges, non thinkable previously, which enlarge the field of possible knowledge, and the effective « forward » motion of the search for foundations.

Resumo.- *Novidade e emergência na procura dos fundamentos.* A procura de fundamentos seguros para um conhecimento, particularmente se este é formalizado, pode ser considerada como um caso particular da procura de uma maior inteligibilidade. Ela tem geralmente efeitos em modificando elementos estruturais do conhecimento admitido (o que tem a ver com questões de

* Cet article reprend les éléments d'une conférence donnée au *III International Symposium Principia*, Florianópolis (SC, Brasil), 8-11 Septembre 2003 (Conférence prononcée en portugais, le 9 sept.), et d'un exposé au *Séminaire du CeSef*, Paris, les 18 décembre 2003 et 22 janvier 2004.

[†] Directeur de recherche émérite au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) (EQUIPE REHSEIS, UMR 7596, et Université Paris 7-Denis Diderot), Paris, France ; et Professor Visitante, Departamento de Filosofia, FFLCH, Universidade de São Paulo (SP), Brasil.

relatividade ontológica e de holismo epistemológico), mostrando novos elementos de pensamento e de « realidade », estruturas conceituais émergentes no terreno das anteriores. Queremos mostrar a ligação entre a emergência de novos conhecimentos, antes impensáveis, que alargam o campo do conhecimento possível, e o movimento efectivo « pela frente » da procura dos fundamentos.

MOTS-CLES : Changement, Compréhension, Concept, Connaissance, Conscience, Création, Emergence, Epistémologique, Fondements, Intelligibilité, Intuition, Naturaliste, Pensée, Philosophie, Rationalité, Réalité, Sciences, Structure.

KEY-WORDS : Change, Concept, Knowledge, Consciousness, Creation, Emergence, Epistemologic, Foundations, Intelligibility, Intuition, Naturalist, Philosophy, Rationality, Reality, Sciences, Structure, Thought, Understanding.

PALAVRAS-CHAVES : Ciências, Compreensão, Conceito, Consciência, Conhecimento, Criação, Emergência, Epistemológico, Estrutura, Filosofia, Fundamentos, Inteligibilidade, Intuição, Mudanças, Naturalista, Pensamento, Racionalidade, Realidade.

*

Nous nous proposons de développer ci-dessous l'argument suivant. La recherche de fondements assurés pour une connaissance, notamment quand elle est formalisée, peut être vue comme un cas particulier de la recherche d'une plus grande intelligibilité. Elle aboutit en général à modifier des éléments structurels de la connaissance admise (ce qui touche aux questions de relativité ontologique et de holisme épistémologique), faisant apparaître des éléments nouveaux de pensée et de « réalité », des structures conceptuelles émergentes sur le terrain des précédentes. Il est possible (c'est du moins ce que nous tenterons dans ce travail) de mettre en évidence le lien entre l'émergence de nouvelles connaissances impensables auparavant, qui élargissent le champ de la connaissance possible, et le mouvement effectif « vers l'avant » de la recherche de fondements.

Il nous faut, tout d'abord, préciser ce que nous entendrons ici par « fondements ». Il ne s'agit pas de fondements purement logiques, sur lesquels la réponse quant à leur possibilité a été négative pour l'arithmétique, à plus forte raison pour les autres branches des mathématiques¹, et évidemment pour la physique et les sciences de la nature, qui sont toujours tributaires (aussi formalisées puissent-elles être, comme la physique théorique ou mathématique) d'éléments de nature empirique. On appellera donc « fondements », d'une manière générale, ce qui garantit une connaissance, ce qui est responsable de son caractère assuré, c'est-à-dire étayé par la raison argumentative, ou « ancré dans la raison » (étant supposé que cette connaissance remplit, par son contenu, son office d'adéquation quant à son objet empirique).

¹ Voir Paty [à paraître, a].

Si la question de fondements logiques est désormais hors de propos, du moins pouvons-nous penser à des « fondements rationnels ». Prononcés séparément, ces deux derniers termes ne correspondent pas à des concepts étroitement définis : et pourtant, pris ensemble, ils paraissent faire sens d'une manière plus précise, et répondre à une exigence qui pourrait être un critère de jugement de vérité pour une connaissance donnée. Nous pouvons adopter dans un premier temps ce terme de « fondement » dans le sens intuitif (mais peu précis) qui l'a fait proposer pour caractériser des connaissances assurées, qui est celui d'une analogie architecturale s'appliquant à un « édifice de la connaissance ». Cela ne nous indique pas pour autant *a priori* ce à quoi il devrait correspondre exactement quant au statut de la connaissance, car cela dépend de la conception que l'on se fait d'un tel édifice et de sa structuration. Du moins, son association au qualificatif de « rationnel » nous aide-t-elle à mieux formuler ce à quoi l'on voudrait qu'il réponde, même si ce « *rationnel* » lui-même échappe, comme la *raison* à laquelle il renvoie, à une description totalement cernée, analysable en des termes élémentaires qui seraient eux-mêmes définitivement posés et assurés.

La *raison*, la *rationalité*, le *rationnel*, sont des notions qui se rapportent à une certaine fonction de l'entendement, auquel revient l'organisation et la mise en forme des connaissances ; et cette fonction constitue la référence même de l'entendement. Celui-ci intègre ces connaissances dans la mesure où elles se présentent sous un aspect rationnel, et le cas échéant il les transcrit lui-même sous cette forme pour les recevoir et les rendre intelligibles. Ces notions ne sont pas étrangères à la logique, mais elle ne s'y réduisent pas ; leurs opérations comprennent certes la déduction, mais aussi d'autres modes plus riches de mises en relation de propositions et d'inférences. En prenant une expression telle que « fondement rationnel », on forme un concept philosophique sur la connaissance : on pose une exigence pour le jugement, même si elle est affectée *a priori* d'une certaine plasticité quant à sa signification possible. Cette plasticité même permettra de saisir dans toute son ampleur et sa précision la connaissance en question, comme contenu et comme processus, comme dévoilement et comme invention et création, sans la réduire à une grille trop étroite, et l'on entrevoit que les catégories mêmes du jugement pourront se mettre à la mesure de ce qu'elles ont pour fonction de juger et d'assurer, et qui souvent les dépasse. Ou, en d'autres termes, que les contenus mêmes des connaissances nouvelles ont la capacité de contribuer aux re-définitions, ou réajustements, des catégories de la pensée qui les rendent possibles et pensables, catégories marquées du sceau d'un universel qui ne peut que s'approfondir et s'amplifier dans de telles modifications. C'est dire que le travail de la pensée dans la connaissance scientifique et rationnelle est une dynamique de l'immanence.

Intelligibilité et fondements rationnels

Précisons maintenant ce que nous entendrons ici par « intelligibilité », et il s'agit en fait d'« intelligibilité rationnelle » : c'est l'*appropriation* par l'entendement, à travers l'opération de la raison, dans les pensées subjectives (dans la pensée de chaque sujet individuel, singulier), d'éléments de connaissance, qui « font sens ». Cette appropriation correspond à une disposition qui n'est pas

uniforme dans ses modalités, tout en étant universelle et propre à la pensée humaine (dans le sens où Descartes disait que la raison est la chose du monde la mieux partagée). En effet, la disposition à l'intelligibilité est fonction d'un ensemble complexe de facteurs et d'attitudes intellectuelles. Les enseignants savent bien, par leur expérience, que les élèves ne reçoivent pas de la même façon ce qui leur est enseigné à l'école, même si on se limite à la considération de ceux qui comprennent sans difficulté. On sait aussi que les savants ou les scientifiques, les chercheurs, eux-mêmes, n'ont pas exactement la même lecture d'un fait, d'un problème, d'une proposition théorique, même si ces derniers se présentent sous une formulation rationnelle et aussi objective que possible. Cette considération a à voir avec la question du « style » scientifique, telle que l'a proposée et analysée d'un point de vue philosophique Gilles G. Granger².

Il en résulte que la rationalité, qui fait la science (et les jugements de la science avalisant les connaissances), qui caractérise les contenus de connaissance de la science, même si l'on considère les données observationnelles ou expérimentales, la rationalité, donc, ne se présente pas d'une manière uniforme et univoque pour tous, bien que tous aient également en partage, au départ, la capacité de raison. Elle ne se présente pas non plus de la même façon pour tous les domaines de la connaissance envisagés. Il est assez courant, d'ailleurs, de parler à ce propos de « formes de rationalité » (mathématique, physique, biologique, technique, etc) : Gaston Bachelard, l'un des auteurs les plus explicites sur cette question, parle de « rationalismes régionaux »³. On doit considérer également que la rationalité dans la pensée d'un sujet n'est pas isolée, et qu'elle s'accompagne d'autres instances telles que les émotions, la volonté, le sentiment esthétique, des préoccupations métaphysiques, le choix de valeurs, etc., qui ont un rôle dans la formation d'une pensée, fût-ce simplement pour faciliter ou non l'intégration d'un élément de connaissance. On tiendra compte encore de ce qui, dans l'acquisition ou dans la production de connaissances rationnelles, échappe au moins provisoirement à l'analyse comme tels savoir-faire expérimentaux et tels modes de pensée qui ne peuvent être décrits et dits, parce qu'ils restent en-deçà de l'objectivation et de la conceptualisation effectives, et restent implicites ou tacites tout en étant opérants.⁴ L'intuition comme forme synthétique de pensée peut être considérée de cette façon, et aussi le « geste » de la pensée tendue vers un but plus deviné que conçu⁵.

La capacité idiosyncratique d'un sujet individuel à pénétrer à sa manière, originale, un élément de connaissance est généralement rapportée à une « intuition intellectuelle », invoquée tout au long de l'histoire des sciences et de la philosophie, d'Aristote à Descartes, de Kant à Poincaré et Einstein, et plus près de nous encore par d'autres grands créateurs dans l'ordre de la pensée rationnelle : par tous ceux, en vérité, qui pensent par eux-mêmes. Ceux-là savent d'expérience

² Granger [1968]. Cette notion de style peut être mise en oeuvre dans l'analyse comparative de chercheurs travaillant parallèlement sur un même sujet, par exemple, en 1904-1905, H.A. Lorentz, H. Poincaré et A. Einstein, sur l'électrodynamique des corps en mouvement (voir Paty [1993], chapitre 2 et Paty [1996]).

³ Bachelard [1949].

⁴ Voir Polanyi [1958, 1966], Simondon [1958].

⁵ Sur la notion de « geste », voir Cavailles [1946], Chatelet [1993].

qu'il y a, dans la compréhension, une pénétration en profondeur qui donne une clarté d'ensemble, comme soudaine, dépassant la linéarité d'une série de propositions logiques ou rationnelles enchaînées les unes aux autres : la « lumière de la raison » se propose comme une *vue synthétique* : même si certains termes peuvent rester dans un arrière-fond obscur, l'idée de leur présence et de leur place est gravée, et guide ensuite l'opération plus analytique de la pensée qui établit les relations. On doit considérer l'*intuition intellectuelle* comme un *fait de l'expérience de la pensée*, dont la complexité résiste à l'analyse, ce qui n'est pas une raison pour l'ignorer et l'éliminer des considérations sur ce qu'est la connaissance scientifique effective. Pour cela pourtant, elle a souffert de l'indifférence, et même du rejet, de la philosophie de tendance analytique, tout au long de la plus grande partie du XX^e siècle, étant captée, par contre, par d'autres en direction opposée, pour être confinée dans le domaine du psychologique et de l'irrationnel. Et cependant, si l'on examine les circonstances et les effets de tels moments intuitifs dans le cheminement d'une pensée ordonnée dans son ensemble à un projet rationnel, on voit qu'ils sont eux-mêmes de cet ordre, et que l'on est en droit de parler, dans ce cas, d'« intuition rationnelle ».

Nous ne pouvons développer ici plus avant cette considération, et nous nous contenterons d'invoquer à l'appui deux témoignages de poids émanant de grands praticiens de la pensée scientifique. Pour Poincaré, comme aussi bien pour Einstein, l'« intuition » dont ils ont même réussi à décrire dans plusieurs cas les modalités, appartient au domaine du rationnel, étant ordonnée à celui-ci, par la nature même des objets de pensée considérés⁶. Il est clair que, en l'occurrence, on doit concevoir la raison autrement, et beaucoup plus amplement, que selon la seule pensée logique (ne serait-ce que parce que cette dernière est proposée d'emblée comme étant en possession de ses prémisses, posées exactement, ce qui n'est pas le cas pour une rationalité se saisissant synchroniquement d'un ensemble complexe d'éléments, dont au surplus la définition de chacun n'est pas toujours exactement fixée).

Autant la pensée purement « logique » est capable de se définir elle-même en posant des relations exactes, que l'on peut représenter à l'aide de symboles dont le sens est précisément défini, autant la catégorie du « rationnel » n'est pas de définition simple ni facile. On ne peut la circonscrire par des ensembles d'opérations logiques, et d'autant moins qu'elle peut fait apparaître des éléments nouveaux, qui n'étaient en aucun cas compris dans les prémisses, comme le raisonnement mathématique lui-même en offre maint exemple. En mathématiques, l'intuitif et le formel ne sont pas aussi opposés qu'il pourrait sembler à première vue. Deux représentants prestigieux de ces deux tendances dans la pensée mathématique, respectivement Poincaré et Hilbert, s'accordent sur l'importance de l'intuition dans le raisonnement mathématique et sur la distinction essentielle entre le rationnel et le logique⁷.

Si nous ne pouvons pas analyser « logiquement » la *rationalité* (en la réduisant à un nombre fini d'opérations logiques), nous pouvons du moins constater qu'elle correspond à une fonction de l'esprit, qui est une fonction d'intégration de connaissances et d'élaboration de jugements sur ces dernières, dans

⁶ Poincaré [1889], Einstein [1946] ; voir Paty [1993], chapitre 9 ; Paty [1999b].

⁷ Poincaré [1899], Hilbert [1922].

laquelle *la preuve* tient un rôle important sinon fondamental. Les chercheurs scientifiques méritent, à cet égard, d'être qualifiés de « travailleurs de la preuve », selon la formule doublement juste de Bachelard⁸ : pour l'idée de *travail*, qui exprime bien la nature du processus intellectuel et l'effort volontaire à quoi correspond la pensée scientifique⁹, et pour le rôle de la *preuve* dans ce travail. Ce rôle se rapporte à la justification de la description théorique et à l'adéquation de cette description aux faits et aux phénomènes, et la preuve est comme l'objet général et la matière même de ce genre d'activité : la preuve est recherchée, produite, utilisée, reprise et transformée, travaillée de toutes les manières possibles, qui dépendent des points d'application de la pensée scientifique dans ses divers domaines. Car cette considération vaut pour tous les domaines de la pensée rationalisante. On ajoutera que ce travail sur la preuve tient par certains cotés du travail de l'artisan, qui adapte son outil et son savoir-faire au matériau employé et au but entrevu, lequel l'emmène éventuellement plus loin, et même ailleurs, que ce qu'il avait escompté. C'est que l'*établissement de la preuve* demande parfois d'inventer de nouveaux chemins : la preuve alors s'est dépassée elle-même en construisant des savoirs inédits, en révélant des connaissances jusqu'alors inconnues, qui se présentent d'ailleurs parfois comme « preuve d'elles-mêmes ». (La connaissance alors peut apparaître provisoirement comme fondée, par sa capacité à s'établir dans une certaine clôture)¹⁰.

On conviendra en outre qu'un point de vue purement purement logique s'en tient à un ordre statique ; au contraire, une dimension essentielle de la connaissance scientifique est son caractère dynamique, sa propriété de transformation (et même, nous y reviendrons, de progrès), sa capacité à faire apparaître des éléments nouveaux, voire à renouveler sa structure d'ensemble à partir de tels éléments. Ce trait est commun à toutes les sciences, à commencer par la plus formelle d'entre elles et la moins directement liée à la nature, les mathématiques, qui créent en permanence de nouveaux objets et de nouvelles relations d'objets. Et la logique mathématique elle-même n'échappe pas à cet état de choses, en se démultipliant autour de modalités diverses, en créant de nouvelles logiques autour de règles propres ? ¹¹ Quant aux sciences de la nature, elles le manifestent avec évidence, en révélant, par leurs progrès, des pans de plus en plus vastes et de mieux en mieux agencés à nos yeux du monde matériel.

Parvenus à ce stade, nous pouvons proposer, pour donner un sens à la question d'un « fondement de la connaissance », de l'entendre non pas comme une imposition de caractères posés *a priori* et supposés conférer d'emblée une assise conçue comme définitive, mais comme une *élucidation* qui accompagne l'expérience vécue de cette connaissance, en portant sur elle des jugements fondés en raison, autrement dit *rationnels*. Puisque le « rationnel » n'est pas étroitement défini au départ, sinon par sa *fonction*, nous devons nous interroger sur lui à chacune des étapes parcourues sur le chemin de la connaissance. Ce chemin même,

⁸ Bachelard [1949] : voir, en particulier, au chapitre 3, l'expression amusante (par l'allusion syndicale) de « l'union des travailleurs de la preuve », sous la bannière du rationalisme.

⁹ Cette idée a été reprise par G.G. Granger, qui l'associe au « style scientifique » : voir, par ex., Granger [1968].

¹⁰ Voir notre étude « L'endoréférence d'une science formalisée de la nature » (Paty [1992]).

¹¹ Voir, p. ex., da Costa [1993].

et la signification des connaissances obtenues, contribueront à nous éclairer sur lui, non pas arbitrairement, mais selon sa nécessité dans l'immanence du mouvement d'une pensée qui se veut objective.

Par connaissance, on entend en général des *contenus*, et l'on parle alors de manière équivalente d'un *savoir* (l'inconvénient de ce dernier terme étant de passer sous silence le mouvement qui y conduit). Mais, même à s'en tenir à considérer ces contenus tels qu'ils sont donnés en l'état, ils ne font sens que saisis et intégrés dans une pensée singulière, c'est-à-dire assimilés, rendus intelligibles (cette pensée singulière étant élevée en droit à l'universel dans la mesure même de sa rationalité). L'*intelligibilité* est une notion clé pour concevoir le travail du rationnel dans la connaissance sous ses différents aspects, des contenus posés ou établis selon l'objectivité à leur intériorisation dans une pensée singulière, à leur transmission intersubjective et à leur mise en question et renouvellement. Les contenus sont objectifs, mais à chacun des états évoqués (intériorisation, communication ou transmission, renouvellement), ils sont en interaction avec une subjectivité qui a cette capacité de faire jaillir, ou *vivre*, leur sens (et sans ces subjectivités ils ne seraient que des signes inscrits inertes, lettres mortes, dans le monde).

Connaître et comprendre

Quelques remarques sur une distinction philosophique entre *connaître* et *comprendre* semblent tout indiquées à ce propos. Comprendre, c'est parvenir à l'intelligibilité, c'est-à-dire faire sienne une connaissance donnée, l'intégrer à sa pensée de telle sorte que cette dernière puisse ensuite prendre appui sur elle pour l'annoncer à son tour (par exemple, l'enseigner) ou pour aller de l'avant, pour penser et procéder à de nouvelles élaborations (reprenant à son compte un projet de recherche comme celui dont cette connaissance particulière fut un aboutissement). L'idée d'exercice de la pensée (exercer sa pensée sur un objet, à des opérations), aide à comprendre ce qu'il en est. On connaît la recommandation de Descartes, dans le *Discours de la méthode*, à propos des mathématiques : les pratiquer avec régularité aide à les assimiler et à dominer leurs opérations, ce qui permet ensuite de découvrir des propriétés nouvelles, à partir de la base ferme ainsi constituée pour la pensée, qui se sentira dès lors plus sûre d'elle-même¹².

La notion d'*intelligible* diffère de celle de *connaissance*, en portant l'accent sur l'intériorisation : rendre intelligible, c'est faire comprendre une connaissance donnée, dont on pourrait autrement se contenter de prendre acte, sans « s'y investir », et il y a dans *comprendre* quelque chose de plus que dans *connaître*. Les deux ne sont pas exactement superposables, bien qu'il soit légitime de penser au bout du compte que l'on ne connaît bien que ce que l'on comprend : mais ce serait déjà se situer selon la rationalité, la considérant acquise et sans mystère, quand nous voudrions au contraire la caractériser davantage, et d'abord au moins par sa *fonction*. On peut connaître des faits sans les comprendre (sans en avoir l'explication, ou en concevoir l'inscription dans une théorie, s'ils restent à un stade très empirique), ou être averti de certaines connaissances sans vraiment les

¹² Descartes [1637].

posséder. *Connaître* se rapporte essentiellement au *contenu* (objectivé) de la connaissance, en tant que celui-ci est considéré comme externe à la pensée et à ses processus (dont il a, en fait, été extrait, et dont il s'est séparé), tandis que *comprendre* se rapporte à une *appropriation* ou *intériorisation* par l'intellect de ce contenu porté directement à sa propre connaissance et objet de l'exercice de sa pensée. Cette intériorisation, ou assimilation interne, transforme ce contenu donné en un élément même de la pensée du sujet, prenant part à ses processus, à sa dynamique particulière (dans une perspective d'objectivation, mais marqué par des modalités propres), qui l'interprète ou le transcrit à son usage, voire le transforme. Cette connaissance assimilée peut éventuellement se présenter sous une forme que résume le mot « *intuitif* », comme dans l'expression, souvent employée par des chercheurs ou des enseignants : « cela devient comme intuitif ». On définira sommairement dans un premier temps cet « *intuitif* » (ce « contenu intuitif ») comme une sorte de représentation synthétique dans l'esprit : l'intelligibilité que l'on acquiert d'un certain corps de connaissances correspond à la formation d'une nouvelle « intuition », présence familière, et comme consubstantielle à la pensée, d'une idée ou d'un ensemble lié ou structuré d'idées.

Essayons d'explicitier davantage ce dont il s'agit. Le processus de connaissance lui-même peut être considéré comme s'organisant autour de trois instances : la perception, la connaissance et la compréhension. Les sens, mais aussi l'activité de la raison à un stade déjà élaboré de coordination des sens, opèrent sur la première (la perception), tandis que l'activité de la raison seule opère sur les deux autres (la connaissance et la compréhension), mais selon des modalités différentes pour chacune. Prenons, pour fixer les idées, l'acquisition d'une connaissance nouvelle, sa nouveauté n'étant pas nécessairement identifiée en tant que telle dans le processus que nous décrivons. La *connaissance*, dans un premier temps, incorpore des données sensorielles et perceptuelles, telles qu'elles ont déjà été constituées (antérieurement à cette opération) au sein des représentations mentales (cognitives et conceptuelles) du sujet. Parmi ces données, certaines sont « étrangères », en ce sens qu'elles ne cadrent pas immédiatement avec la représentation antérieure. La pensée est alors amenée (en fait, elle y est pour ainsi dire « obligée de façon naturelle », par une certaine nécessité de sa fonction) à ajuster les éléments de cette représentation de sorte à leur faire recouvrer la consistance que l'irruption d'éléments étrangers avait rompue. La pensée intègre, dans ce sens, ces éléments de nouveauté, même si elle ne les reconnaît pas encore. Elle leur fait une place, à *l'aveuglette*, par ce réajustement de ses éléments antérieurs de connaissance (en les modifiant, eux-mêmes ou leurs relations). Dans un tel processus, la pensée se voit souvent emprunter des éléments d'interprétation à d'autres instances que celles se rapportant directement à son objet d'attention : à d'autres domaines de la connaissance, à des analogies, à des questions philosophiques, voire même à des préoccupations métaphysiques. La pensée se trouve alors pour ainsi dire en face d'une représentation modélisée de l'« objet » proposé à sa connaissance (« objet » étant entendu ici dans le sens le plus général) : mais cette représentation est hétérogène (par exemple, elle est par certains traits rationnelle, par d'autres, empirique, et par d'autres encore, hypothétique).

C'est ici précisément qu'intervient *l'intelligibilité* : elle implique un autre genre d'ajustement, mêlant à nouveau tous ces éléments, filtrant pour ainsi

dire le composé ainsi obtenu, éliminant ce qui reste décidément hétérogène, laissant au bout compte face à face deux « pôles » (plus ou moins purs), l'un correspondant à l'objet de connaissance, et l'autre à la fonction de la pensée qui reconnaît le premier. En d'autres termes, l'on a d'un côté l'*objet*, et de l'autre le *processus rationnel*, l'opération de la *rationalité*, la *rationalisation* qui nous le rend intelligible. Le processus qui rend une connaissance intelligible, selon cette esquisse de description, implique en même temps, d'une part une *élaboration* ou une *construction* (de nature intellectuelle) de l'*objet*, à l'aide de concepts qui lui sont homogènes, du moins en tant qu'il est objet pensé (ces concepts en relation recouvrent l'objet tel qu'il est pensé) ; et, d'autre part, une *transformation catégorielle*, relative à des éléments généraux de la pensée, qui pourraient fort bien concerner ce que l'on entend généralement par la *rationalité* elle-même, selon laquelle cet objet est conçu (nous reviendrons sur cette dernière en conclusion). Comme exemples, évoquons la mise au point, ou l'utilisation, de l'analyse différentielle, de grandeurs mathématiques continues et différentiables, pour penser les phénomènes du mouvement, avec l'élaboration de la mécanique classique¹³, ou la mise au point d'un « formalisme » approprié aux phénomènes quantiques, qui permettrait en fait de les penser selon leurs exigences propres et d'en constituer la théorie physique¹⁴.

Retenons de cette « expérience de pensée sur la pensée », la possibilité d'une occurrence réciproque, au sein de la pensée, dans le processus de son travail sur des objets de connaissance, de la constitution d'un objet de science et d'un ajustement corrélatif des formes de la rationalité qui permet de le concevoir.

Bien que l'intelligibilité rationnelle soit effective seulement au sein de pensées singulières, individuelles, elle correspond à des contenus de connaissance qui sont objectifs, au moins d'abord en droit, en raison d'une universalité de la rationalité, sur laquelle nous devons encore nous interroger, notamment quant aux modalités de ce « rationnel ». En quelque sorte, le rationnel n'est pas uniforme et identique en chacun, ni pour tous les objets auxquels il s'applique. Le rationnel du mathématicien se caractérise différemment de celui de l'historien : le premier ne fait pas appel au récit, ni à l'histoire, tandis que le second peut ignorer la pratique des mathématiques. Cependant les deux font appel à leur raison qui, sous des formes diverses, remplit pour chacun, dans son ordre de connaissances, une même fonction. L'idée même d'une variation du rationnel pour une pensée singulière appliquée à un même objet, telle que nous venons d'en suggérer la possibilité, suppose que ce rationnel puisse être différencié. Sous les différences et les variations, une commune mesure, un même soubassement structurel et fonctionnel, fait que l'on peut parler, dans tous les cas, de « rationalité ». Tout en se présentant sous des formes diverses et variables, cette rationalité est toujours accessible, par l'exercice de la pensée sur des objets appropriés et par l'enseignement : elle n'est pas plus réservée à un petit nombre que la « raison élémentaire » elle-même, celle du « bon sens » de la vie quotidienne¹⁵. Car sa diversité et son mouvement sont dirigés par une nécessité et non par une sélection sociale, un consensus contraignant accepté sans comprendre. Ces assertions, ici surtout indicatives,

¹³ Voir Paty [2004a].

¹⁴ Voir Paty [1999a, 2002].

¹⁵ Paty [2003].

devront être développées plus avant, et l'analyse de la rationalité considérée sous cet aspect devra se confronter aux leçons de l'anthropologie cognitive¹⁶. (L'enjeu est de maintenir l'unité de l'humain et l'universalité de la raison sous la diversité et la variabilité de ses formes).

La conscience et le concept

Cette objectivité des contenus de connaissance, liée à leur intelligibilité rationnelle, l'universalité de l'aptitude au rationnel, et le rôle en même temps insubstituable du sujet individuel, lieu de ces processus de pensée, de ces élaborations, posent un problème que la phénoménologie husserlienne n'a pu résoudre de manière convaincante. Jean Cavailles la critiquait pour cela : la « philosophie de la conscience » mise en avant par Edmund Husserl opposait la mathématisation géométrique, abstraite, et un accès supposé direct, par la perception sensible, au « monde réel intuitif », et aboutissant de la sorte à déprécier la valeur cognitive de la physique mathématique. Husserl, expliquait Cavailles, « considérant que les choses ne sont pas en soi, mais fondées comme réalité dans l'intentionnalité de la conscience », jugeait qu'« il faut donner un privilège aux actes primitifs et d'ailleurs permanents par lesquels elle se manifeste »¹⁷. Cavailles faisait un rapprochement entre cette position de Husserl et celle qui, à propos de la physique, ne voit que le rôle de l'expérience (puisqu'elle ramène à la perception) en sous-estimant le rôle des théories physiques : Husserl ne voyait en celles-ci qu'un « entre-deux abstrait », purement instrumental¹⁸. On peut ajouter que cette conception n'était pas restreinte à Husserl : elle était, en fait, fort répandue à l'époque, dans des philosophies aussi diverses que celle de Bergson ou l'empirisme logique d'un Reichenbach. Les empiristes logiques minimisaient le rôle de la théorie physique, qui disparaît sous les simples « relations de coordination » qu'ils plaçaient entre les grandeurs mathématiques d'une part et les données empiriques d'autre part. Leur conception de la physique comme une « science empirique » était en concordance avec ce point de vue¹⁹.

Selon la remarque critique de Cavailles, l'intentionnalité de la conscience au sens de Husserl serait une sorte de rationalité transcendantale déjà donnée toute faite, non modifiable et non susceptible d'approfondissement. Au surplus, cette rationalité ne pourrait être saisie que dans le sujet transcendantal lui-même, auquel elle serait en quelque sorte identifiée. Cela interdirait de juger d'une représentation conceptuelle ou théorique en la considérant en elle-même, selon la rationalité de ses contenus objectifs. Ce sont pourtant ces contenus qui constituent ce que nous appelons « connaissance scientifique » et c'est selon la rationalité qu'ils recèlent que nous en jugeons. Nous opposerons donc, pour notre part, à la conception husserlienne, et dans la ligne de critique de Cavailles, une autre vue sur la

¹⁶ Ce sera l'objet d'autres recherches, en préparation.

¹⁷ Cavailles [1946].

¹⁸ Voir Paty [1993], chap. 6 et 7.

¹⁹ Voir par exemple, sur ce sujet, de débat entre Hans Reichenbach et Albert Einstein à propos du rapport entre « la géométrie et l'expérience » (Reichenbach [1949], Einstein [1949] ; Paty [1993], chapitre 7).

rationalité. Nous considérerons que celle-ci reste basée certes, dans le sujet transcendantal, qui la constitue, mais que le sens des propositions est donné aussi en dehors de ce dernier, dès lors qu'elles sont énoncées, pouvant passer ainsi en d'autres sujets ; mais de l'un à l'autre, c'est par ces propositions mêmes, posées rationnellement, que le sens se transmet et se transforme. Quelle que soit la structure rationnelle du sujet singulier considéré, c'est la rationalité des propositions posées, considérées pour elles-mêmes, qui mène désormais le jeu dans le mouvement des sciences, tout en passant de la conscience d'un sujet à une autre. Dans ce processus, la rationalité elle-même opère, pour ainsi dire par son propre exercice, sa transformation, son extension, son dépassement dans une rationalité plus riche²⁰, permettant d'aller au-delà, sans s'arrêter à la considération fixiste d'« actes primitifs », dont le choix n'est en vérité qu'arbitraire et subjectif. On peut, dès lors concevoir que ces modifications passent aussi dans la structure rationnelle du sujet, y induisant les transformations qui rendront possible l'intelligibilité des connaissances nouvelles.

Ainsi, bien que l'on doive inévitablement faire appel, en matière d'intelligibilité et de rationalité, au sujet transcendantal qui en est le siège, celui-ci ne saurait les limiter *a-priori* : en particulier, la rationalité, dans ses formes et dans sa fonction, s'offre à nous à travers les concepts et les propositions scientifiques (rationnels), c'est-à-dire selon l'objectivité.

Pour revenir à Cavailles, celui-ci concluait de son côté, dans son livre *Sur la logique et la théorie de la science* (rédigé en 1942), que « ce n'est pas une philosophie de la conscience [à la Husserl] mais une *philosophie du concept* qui peut donner une doctrine de la science »²¹. Il entendait par *philosophie du concept* que l'on se tient dans l'immanence, sans s'en rapporter à des instances extérieures ni au sujet transcendantal. Dans le même ouvrage, Cavailles renvoie à Bolzano la première formulation de l'exigence de considérer la science « comme un objet *sui generis*, original dans son essence, autonome dans son mouvement », et non « comme un simple intermédiaire entre l'esprit humain et l'être en soi ». Cette science est une, au sens où ses diverses disciplines « se conditionnent entre elles de telle façon que les résultats comme la signification de l'une exigent, en tant qu'elle est science, l'utilisation des autres ou l'insertion commune dans un système » : en sorte qu'« une théorie de la science ne peut être que théorie de l'unité de la science »²². Ce que Cavailles précisait ainsi : « Cette unité est mouvement : comme il ne s'agit pas ici d'un idéal scientifique mais de la science réalisée, l'incomplétude et l'exigence de progrès font partie de la définition ».

La pensée théorique revêt tout son rôle de cette considération : « Le sens véritable d'une théorie est non pas dans un aspect compris par le savant lui-même comme essentiellement provisoire, mais dans un devenir conceptuel qui ne peut s'arrêter »²³. Quant à l'expérience, « loin d'être insertion dans la nature, [elle] est, au contraire, incorporation du monde à l'univers scientifique ». Nous sommes également loin du rôle secondaire attaché par un Ernst Mach aux concepts et aux

²⁰ Paty [2001d ; à paraître, a ; à paraître, b].

²¹ Cavailles [1946], souligné par moi, MP. Voir Husserl [1936], *Die Krisis*, p. 126, tr. fr. G. Granel, p. 248. Cité dans Cavailles [1946], éd. 1976, p. 66.

²² Cavailles [1946], éd. 1976, p. 22.

²³ Cavailles [1946], éd. 1976, p. 23.

théories comme simple économie de pensée, comme « feuilles périssables sur l'arbre de la science », ou encore par un Pierre Duhem qui en fait de simples représentations dont le rôle n'est que de « sauver les phénomènes ». Chez Cavailles, comme pour un Hermann Weyl ou un Albert Einstein, leur rôle est moteur car ils portent avec eux la dynamique de la connaissance qui est celle de la rationalité confrontée à l'expérience du monde.

Nous terminerons cette évocation de la préoccupation de Cavailles pour étudier l'histoire de la genèse et du développement des concepts mathématiques en vue d'y trouver la marque de leur *nécessité immanente*, par une remarque du même liant l'autonomie du contenu des sciences et l'immanence : « L'autonomie scientifique est simultanément expansion et clôture », ceci induisant l'image que « la science est un volume riemannien qui peut être à la fois fermé et sans extérieur à lui ». En fin de compte, les énoncés de la théorie de la science devraient apparaître « immédiatement dans une auto-illumination du mouvement scientifique, se distinguant de lui pourtant par leur permanente émergence. Tel est le rôle de la structure. (...) La structure parle d'elle-même ».²⁴ Autrement dit, c'est elle (la structure théorique) qui est capable d'exprimer l'immanence.

La « philosophie du concept » dont Cavailles exprimait la nécessité, mais qu'il n'eut pas le loisir de développer, pour les raisons que l'on sait²⁵, est assurément une philosophie de la rationalité. Elle est centrée sur les contenus des concepts produits aussi bien que sur l'activité rationnelle de construction de concepts. Les éléments qu'en a laissés son auteur ouvrent des perspectives inspiratrices pour une ligne d'investigation comme celle que nous esquissons ici²⁶.

Pour en revenir à notre propos sur l'intelligibilité rationnelle, soulignons que le rationnel (singulièrement, celui qui se manifeste dans les relations de la structuration théorique des concepts) permet une formulation objective, universelle, communicable d'une intelligence à une autre. Le trait le plus visible du rationnel est, en effet, sans toutefois s'y restreindre, de rendre possible la communication, permettant ainsi le partage des explications.

Nous voyons mieux, dans cette perspective, comment la rationalité est au coeur de l'expression des connaissances scientifiques aussi bien que de la formation de nouvelles connaissances, et de la création scientifique elle-même. Les inventions scientifiques sont toujours le fait d'individus, fussent-ils plongés dans des communautés communicantes, mais concernent essentiellement des contenus à visée objective. La part de création dans la formation de connaissances nouvelles est liée à la diversité des formulations et des réponses possibles à des questions ou à des problèmes scientifiques, théoriques ou expérimentaux, à la diversité des « styles » dans le « travail » scientifique que nous avons évoqué plus haut. L'aspect créatif tient à ce que la connaissance sur laquelle la pensée s'exerce est intelligible : sans intelligibilité (rationnelle) comme point de départ et comme exigence de la pensée scientifique au travail, il n'y aurait pas d'invention, de nouveauté, ni par conséquent de science comme réponse à la demande d'intelligibilité. L'invention de nouveautés conceptuelles et théoriques est proprement le résultat d'une activité

²⁴ Cavailles [1946], éd. 1976, p. 23.

²⁵ Jean Cavailles, un des chefs de la Résistance intérieure française, fut assassiné par les nazis en 1943. Voir Aglan & Azéma [2002].

²⁶ Voir aussi Paty [à paraître, a]

créatrice, qu'il est légitime de considérer, au vu des considérations qui précèdent, comme « création rationnelle ».

Structure et immanence.

Aussitôt produite, *inventée* dans une subjectivité, la connaissance (ou plutôt, tel élément ou ensemble d'éléments de connaissance) acquiert, par son caractère de rationalité même, une forme et un sens qui l'ordonnent non plus au sujet lui-même, mais à ce qu'elle désigne, et qui la font communicable, tendant à l'universel. La connaissance porte sur un ordre du monde, elle se donne comme objective, et se mesure dès lors à l'ordre des raisons qui se veut accordé au monde. L'exigence d'intelligibilité a abouti à une *création conceptuelle*, comme fruit d'une élaboration, vouée, dès lors qu'elle est posée, à parcourir son chemin propre, qui passe par l'intermédiaire d'autres créations intelligibles formées par des subjectivités et leur échappant aussitôt que formées et exprimées. Les concepts, ordonnés au monde, exprimés rationnellement, saisis dans le mouvement qui les produit et les transforme, se manifestent par eux-mêmes, selon leurs raisons qui nous renvoient à une raison du monde. Situer de cette manière l'analyse des concepts de la science, c'est penser selon la « philosophie du concept » que voulait Cavailles, les concevoir selon l'immanence.

Ces concepts sont liés entre eux au sein d'une théorie, ou d'un modèle théorique, c'est-à-dire d'un système conceptuel structuré. En physique, un système théorique est placé sous la régulation de principes, qui sont des énoncés généraux sur des propriétés de la nature, fournissant des contraintes d'où l'on déduit des relations entre les concepts ou grandeurs physiques. Ces relations portent la connaissance du domaine considéré. Les concepts, pris dans ces relations structurées en une théorie reçoivent leur sens, c'est-à-dire leur contenu physique, de la structure elle-même : par leur agencement on peut reconstituer (ou anticiper) les phénomènes. C'est ainsi la structure théorique qui donne le contenu de sens du domaine considéré, représenté et décrit par les concepts et leurs agencements, et dont on acquiert ainsi une pleine intelligibilité.

Plusieurs caractères importants de la représentation théorique, du point de vue de l'intelligibilité et de la valeur de connaissance, sont liés à cet aspect structurel. Par exemple, le « holisme épistémologique » (référence faite à Duhem et à Quine), qui exprime la solidarité des propositions au sein d'une même théorie, et implique une diversité de possibilités dans les conclusions à tirer de tests expérimentaux (Duhem concluait à l'absence d'« expérience cruciale »). L'argument sur l'« incommensurabilité » des théories concurrentes ou en succession s'y rapporte également ; il suppose cependant un état statique des connaissances en l'état où on les considère, identifie le caractère systémique à une construction axiomatique, et les concepts à des formes logiques. Mais cela est loin de correspondre à la réalité du travail conceptuel et théorique, qui procède plutôt par ajustements, formant les éléments qui vont constituer une nouvelle structure théorique à partir de modifications des précédents et de réajustements de leurs relations, qui les mettent en communication (en transformation) avant toute considération d'incommensurabilité. La prise en compte de la dimension historique des constructions de concepts permet ici de dépasser ce que le point de vue de la

structure (logique) a de trop abrupt, et d'ailleurs d'irréel, puisque dans les faits les théories ne sont jamais données toutes faites mais sont obtenues à travers des transformations. L'incommensurabilité au sens strict apparaît alors pour ce qu'elle est, une aporie logiciste.

Il n'est pas interdit pour autant, dans l'évaluation des théories, de la nature de leurs agencements relationnels et de leur significations, de mettre en valeur cet aspect structurel, par exemple en les axiomatisant, ce qui est les reconstruire logiquement, d'une manière souvent tout idéale. On insiste alors sur la structure purement mathématique de la théorie, ce qui peut conduire à des résultats très utiles, comme par exemple l'extension de théorèmes de décidabilité à des théories de physique mathématique²⁷, ou l'exploration du nombre réel des degrés de liberté et de la dépendance mutuelle de certaines variables dans une théorie physique donnée²⁸. La question de la « complétude théorique » pour une théorie physique s'avère également effective en permettant de formuler des critères de comparaison entre des théories alternatives (ou des chemins théoriques alternatifs), en théorie quantique des champs de jauge. Cette « complétude » peut s'entendre dans deux sens, proposés initialement par Einstein, d'une part à propos de la physique quantique (elle concerne le rapport entre la théorie et l'objet que celle-ci se propose de décrire), et d'autre part à propos de la théorie de la relativité générale (elle porte alors sur la moindre dépendance de la théorie par rapport à des paramètres arbitraires ou empiriquement donnés)²⁹.

On peut encore considérer que le holisme ne se limite pas au lien étroit des concepts et grandeurs entre eux, mais se rapporte dans certains cas à un système total de l'Univers, en faisant appel, au moins en principe, à une idée cosmologique. Poincaré exprimait un tel état de choses à propos de la relativité de l'espace ou de la relativité physique considérées en toute généralité : à strictement parler, elles s'appliquent non à des parties de l'espace, mais à l'espace entier de l'Univers pour la première, et à l'Univers entier comme totalité des objets physiques dans l'espace pour la seconde³⁰. La physique quantique présente également des traits de « totalité » dans ce sens. John Bell faisait remarquer, à propos de la théorie de l'onde-pilote (de Louis de Broglie et David Bohm) pour divers objets en interaction, qu'elle ne pourrait s'appliquer qu'au monde comme une totalité (« the world as a whole »), « le monde » en question comprenant tous les objets qui interagissent entre eux, y compris les appareils de mesure et les observateurs³¹. David Bohm lui-même indiquait que la non-séparabilité quantique est la marque d'une « totalité insécable » (« unbroken wholeness »)³². Cependant, ces systèmes sont saisis dans la pratique d'une manière qui permet de les définir comme des systèmes simples et individuels par un choix de conditions initiales des variables, tant qu'ils demeurent isolés dans les conditions de systèmes quantiques. Les interactions secondaires, qui les portent à notre connaissance, avec les systèmes multiples de l'environnement, peuvent être vues comme une sorte de totalité des

²⁷ Costa & Doria [1991].

²⁸ Costa & Sant'Ana [2001, 2002].

²⁹ Einstein [1946], Paty [1993], chap. 9 et [à paraître, a et c].

³⁰ Poincaré [1895, 1907, 1912] ; Paty [1996].

³¹ Bell [1980, 1987].

³² Bohm [1980]. Voir aussi l'idée d'« Univers indivisé », dans Bohm & Hiley [1993].

systèmes élémentaires, diluant en les multipliant les effets de superposition linéaire des états quantiques « imbriqués » (« entangled ») de proche en proche avec de plus en plus d'autres systèmes. Mais c'est, précisément, cette dilution qui nous permet d'éviter d'avoir à prendre en compte la quasi-infinité des systèmes quantiques élémentaires, en recourant aux variables macroscopiques, affectées de probabilités, qui résultent de ces interactions dont le caractère quantique d'ensemble est perdu, et que l'on rapporte alors au système quantique initialement considéré. Le recours à une totalité reçoit ainsi une sorte de régulation, qui implique le rapport entre les deux niveaux de description, respectivement quantique et macroscopique-classique, permettant, après le résultat de « mesure », de revenir au premier³³.

La recherche, mue par l'exigence d'intelligibilité, aboutit en général à modifier des éléments structurels de la connaissance admise. Les changements théoriques (modifications de concepts ou de théories) correspondent à des changements de contenus et de signification des concepts, déterminés par la transformation structurelle. Cette transformation n'opère pas qu'au niveau des objets ou des concepts, mais peut affecter le statut même de ceux-ci dans la structure théorique, et les soubassements de cette dernière. Par exemple, un fait (un grand ensemble de faits réunis en un même type), porté à une généralisation systématique, devient un principe. Ou encore, ce qui était un objet devient une opération, ou une relation ; ensuite, c'est la relation elle-même qui peut être prise pour objet théorique d'une théorie d'un nouveau genre, comme l'illustre la théorie mathématique des groupes de transformation. Une structure relationnelle peut correspondre à une espèce d'algèbre, où il est possible d'abstraire les éléments auquel un certain contenu était attaché, en entités de contenu indéterminé, entraînant des transformations sous certaines conditions. La structure nouvelle confère alors les nouveaux contenus aux entités qui avaient été considérées d'abord formellement : de nombreux exemples d'élaborations et de changements théoriques illustrent cette éventualité : la théorie de la relativité générale, la mécanique quantique, les théories quantiques des champs de jauge.

On ne saurait oublier, dans la considération du caractère structurel des théories, que celles-ci sont construites, résultent de changements en vue d'un certain effet, et l'on doit considérer en même temps les nouveaux contenus de sens comme donnés dans la structure et les changements conceptuels et théoriques comme résultant du travail de la pensée, ce qui enjoint d'envisager ces derniers du point de vue de l'épistémologie historique. On doit tenir compte des faits d'histoire, d'histoire des sciences, qui seuls donnent accès aux *changements* conceptuels. Ceux-ci révèlent, en fait, par l'attention aux mouvements des concepts, l'*effectivité de la structure*, dépassant ainsi l'opposition apparente entre changement et structure. Les concepts passent d'une structure théorique à une autre en se modifiant, plus ou moins, selon leur rôle, leur situation dans la théorie. La structure fait ainsi partie de l'ensemble sur lequel opère la pensée intelligible et créatrice, et ne peut être ramenée à son aspect statique : elle s'établit par la dynamique qui transforme les concepts eux-mêmes. Elle ne se fixe que lorsque les concepts sont posés, transformés, et les principes théoriques choisis. L'ancienne

³³ Paty [2000].

structure elle-même se révèle, au regard de la nouvelle, porter l'exigence du mouvement qui est né à partir d'elle, de sa faille souterraine, de ses « manques »³⁴.

Pour comprendre que de nouvelles théories, de nouvelles connaissances soient possibles, il est donc essentiel de comprendre les changements théoriques (contre l'incommensurabilité et l'incommunicabilité des théories) dans une perspective comme celle que nous venons d'esquisser, en considérant que ce que nous appelons la structure comprend aussi, pour une part, la manière de la concevoir, c'est-à-dire les catégories qui l'appréhendent, et qui nourrissent les formes de la rationalité elle-même.

Par rapport à ce mouvement qui s'impose, échappant aux subjectivités qui le déterminent par leur travail intellectif et créatif, l'idée husserlienne d'une « intentionalité de la conscience » apparaît comme une sorte de rationalité transcendantale déjà donnée, non susceptible de modification et d'approfondissement. Elle correspond à une manière figée de concevoir un rationnel identifié au sujet transcendantal. Au contraire, la conception d'une rationalité opérant par son propre exercice (tout en ayant, bien entendu, pour siège le sujet transcendantal), susceptible de transformation, d'extension, de dépassement en une rationalité plus riche, permet de passer outre à la considération fixiste et arbitraire d'« actes primitifs ». La critique de Husserl par Cavallès conforte opportunément cette vue : ce dernier diagnostiquait dans la *Krisis* l'absence d'un progrès de la conscience, et y voyait une difficulté de la « philosophie de la conscience » par rapport à l'« un des problèmes essentiels de la doctrine de la science », à savoir que le progrès de cette dernière se fait non par « augmentation de volume par juxtaposition », mais « révision perpétuelle des contenus par approfondissement et rature ». Cavallès précisait : « Ce qui est après est plus que ce qui était avant, non parce qu'il le contient ou même qu'il le prolonge mais *parce qu'il en sort nécessairement* et porte dans son contenu la marque chaque fois singulière de sa supériorité. Il y a en lui plus de conscience – et ce n'est pas la même conscience »³⁵. Cette « conscience », telle que Cavallès essaie de l'explicitier par la négative (en disant ce qu'elle n'est pas : « génératrice de ses produits, ou simplement immanente à eux »), se rattache étroitement, sans doute, à la signification des concepts engendrés par le travail scientifique, dépassant leurs limites dans chacun des sujets transcendantsaux où ils sont produits (cette « conscience » serait peut-être leur fonction de signification). Je serais tenté pour ma part de rapprocher, d'identifier, cette conscience signifiante, qui « transcende » ses objets comme les divers sujets qui en sont tour à tour le siège, au rationnel saisi dans son mouvement d'auto-transformation par modification (par élargissement) des concepts et de leur intelligibilité.

C'est dans cette perspective que se place la « philosophie du concept », que nous avons évoqué précédemment et dont l'appel conclut l'ouvrage de Cavallès (*Logique et théorie de la science*) : philosophie dont, souligne-t-il, « la nécessité génératrice n'est pas celle d'une activité, mais d'une dialectique »³⁶. Avec le *concept* et avec la *dialectique*, qui implique mouvement et dépassement, nous sommes bien dans le domaine des structures de la connaissance (symbolique).

³⁴ cf Paty [1988], chapitre 9.

³⁵ Cavallès [1946], éd. 1976, p. 78 (souligné par moi, MP).

³⁶ Cavallès [1946], éd. 1976, *ibid.*.

En opposant une « dialectique », rapportée au mouvement propre des concepts formés, à une « activité », qui s'en tiendrait au cadre d'un sujet fermé dans ses limites, Cavaillès veut souligner que le mouvement qui transforme les concepts s'effectue suivant ses propres raisons, selon l'objectivité. Notre analyse se situe dans le prolongement de ces remarques : pour que ces transformations soient possibles, il faut que les structures du rationnel, qui préside à la construction des concepts, se modifient en se perfectionnant par le mouvement d'une nécessité interne, qui est portée par le caractère immanent de ces concepts, recélé dans leur structure.

Après la structure, qui recèle les significations, explicites mais aussi latentes, nous devons nous tourner vers un autre aspect de la connaissance par formation rationnelle de concepts, qui qualifie souvent le mouvement de leur transformation : l'émergence de formes nouvelles, de nouveaux concepts, de nouvelles significations, non contenus dans ce qui était donné précédemment à la connaissance.

Emergence

On peut considérer le problème de l'émergence de deux points de vue, selon que l'on veut parler de l'émergence de *connaissances* nouvelles, ou de l'émergence de *propriétés ou d'entités* nouvelles rapportées au monde lui-même (à la nature), qui nous sont données quand on envisage ces propriétés ou entités selon une hiérarchie d'organisation, en physique-chimie, en biologie, en sociologie, etc. Le premier genre d'émergence (celle de connaissances nouvelles) renvoie à un point de vue *épistémologique*. Il n'est pas aussi aisé de déterminer à quel point de vue renvoie exactement le second (l'émergence de propriétés, d'objets, de niveaux nouveaux, dans la description d'un domaine du monde). Il peut, bien entendu, renvoyer également à des connaissances nouvelles, mais il concerne aussi directement les contenus scientifiques eux-mêmes, de prime abord dans le travail du savant et le plus souvent indépendamment d'une réflexion épistémologique. S'agirait-il d'un point de vue *naturaliste* ? Mais ce serait oublier que notre description des entités « naturelles » (des particules atomiques aux organismes vivants et aux sociétés animales et humaines) est effectuée dans un cadre symbolique, à l'aide de concepts et de théories, et ne nous donne pas directement la nature telle qu'elle est, mais qu'elle n'est que la représentation que nous nous en faisons. A strictement parler, elle ne peut être abstraite des aspects épistémologiques, même si ceux-ci restent, dans le travail scientifique, à l'arrière-plan (ils se présentent à un stade réflexif). Nous préférons donc parler, dans ce deuxième cas, d'un point de vue *objectal*.

Notre description d'entités ou de systèmes naturels considère une occurrence d'émergence quand apparaissent, à un certain niveau d'organisation, des propriétés qui ne sont pas, et qui ne peuvent être, déduites directement de celles connues au niveau précédent (généralement le niveau inférieur de l'organisation, considérée selon la complexité croissante en rapport aux éléments). On parle également d'émergence si l'on conçoit que la réduction est possible en principe ou en droit, mais que sa signification se perd, faute d'application praticable. On admet généralement que les propriétés chimiques des corps tiennent

aux propriétés électromagnétiques et quantiques des arrangements des électrons dans les atomes : et cependant la théorie chimique, pour les atomes complexes et pour la matière condensée, ne s'identifie pas au système des équations quantiques pour l'ensemble de ses constituants, qui ne fonctionne qu'à un niveau relativement élémentaire.

Des concepts spécifiques de la chimie comme celui de valence d'une molécule n'ont pas été formulés à partir de l'équation de Schrödinger de la molécule. Mais il est vrai que la valence trouve ensuite sa place dans la description quantique, révélant un paramètre du système qui n'avait pas été pris en compte initialement, parce que le système avait été indûment simplifié : si l'on prend ce paramètre en compte, alors, la valence peut être exactement décrite à partir de l'équation quantique du système. Ce cas, relativement simple, laisse voir une certaine dialectique de la réduction et de l'émergence, qui tient à la constitution des concepts descriptifs des systèmes : le niveau élémentaire des atomes constituants de la molécule, tel qu'il était initialement conçu, était trop simplifié par rapport aux potentialités qui se révèlent dans un état collectif. Cependant, ce genre de situation, où le système collectif permet de compléter les déterminations des systèmes élémentaires (en rajoutant des degrés de liberté) est, en fait, exceptionnel. Il n'en va pas de même dans la plupart des situations, où les concepts opératoires à un certain niveau sont très éloignés de ceux des niveaux plus élémentaires. Par ailleurs, même légitimés théoriquement par la théorie quantique, la valence et les autres concepts chimiques sont le plus souvent utilisés de fait comme des concepts proprement chimiques, indépendants en pratique de la physique fondamentale sous-jacente. Car ils sont insérés dans une structure théorique plus simple au niveau considéré qui peut oublier le niveau plus fondamental qui la sous-tend.

Dès qu'une certaine complexité est en jeu, il est en effet préférable, et plus effectif, de s'en tenir à des grandeurs descriptives du système considéré collectivement : par exemple, les bandes d'énergie des supraconducteurs. Les macromolécules géantes des organismes vivants (comme celles de l'ADN de la biologie moléculaire) échappent à la description quantique bien qu'elles soient constituées d'atomes : elles sont décrites par des chaînes de séquences d'acides aminés développées en double hélice dans l'espace, c'est-à-dire par des grandeurs qui leur sont propres à leur niveau d'organisation.

Pour rester encore dans le domaine atomique, le passage du régime quantique au régime classique macroscopique a lieu à partir d'un certain nombre d'interactions élémentaires, qui aboutissent à diluer l'« intrication quantique » liée au principe de superposition linéaire des états, caractéristique du comportement quantique : c'est le phénomène de « décohérence ». Les propriétés spécifiquement quantiques disparaissent au niveau macroscopique, ce qui correspond à l'émergence des propriétés de ce niveau d'arrangement de la matière, bien que celui-ci résulte de l'agrégation de particules quantiques au niveau inférieur³⁷. L'intérêt de la théorie (récente) de la décohérence quantique pour notre propos est de désigner exactement le lien « ontologique » qui existe entre les deux « niveaux », quantique et classique, en même temps que les différences qualitatives

³⁷ Cf., p. ex. Paty [2003], chap. 4.

de leurs propriétés, décrites adéquatement par leurs théories respectives (la physique quantique et la physique classique)³⁸.

Ainsi, même en considérant la matière à tous ses niveaux d'appréhension ou d'organisation comme des arrangements d'atomes, cette « réduction » de principe n'est pas effective en règle générale dans la description théorique des différents niveaux, et c'est à chacun des niveaux qu'il faut considérer les grandeurs les plus aptes à décrire le plus simplement les systèmes physiques (ou biologiques, ou autres) considérés. Si la nature est ontologiquement *une*, notre approche des objets et des phénomènes de la nature est toujours indirecte et symbolique : notre connaissance est toujours notre construction, et elle est impuissante à appréhender d'emblée la totalité et l'unité des choses. Il est déjà assez remarquable qu'elle parvienne, dans ces conditions de contingence, à des théories unificatrices puissantes dans certains domaines fondamentaux. L'exigence de cohérence entre les représentations des divers domaines demeurera du moins comme une exigence de la raison, reflet de cette unité ontologique de la matière et du monde que nous ne pouvons que postuler, sans la saisir directement.

On peut encore invoquer une autre sorte d'« émergence » ou apparition de propriétés par un certain type d'approche et qui seraient restées inaperçues à s'en tenir à un autre. La théorie des systèmes dynamiques non linéaires peut être vue de cette manière : au lieu d'étudier les solutions du système d'équations différentielles pour chaque trajectoire et pour des conditions initiales fixées, l'étude globale et qualitative des propriétés structurelles de l'ensemble des trajectoires révèle des traits significatifs de tels systèmes physiques, comme les figures de stabilité et d'instabilité, en l'occurrence, pour ces dernières, les « attracteurs étranges » qui signent le comportement instable particulier d'un système. On peut considérer de telles propriétés structurelles comme émergentes.

On pourrait multiplier les exemples de niveaux d'émergence, des corps chimiques aux organismes vivants, d'un niveau d'organisation du vivant à un autre, plus complexe, pour parvenir ainsi, par étages évolutifs, à l'émergence de la pensée, ou aux différents stades de celles-ci dans le processus d'homínisation, jusqu'aux êtres capables de pensée réflexive et de conscience. Nous admettons, en matière de principe, que les propriétés du tout sont déjà en puissance dans l'agrégation des parties, tout en maintenant une autonomie relative pour chacun des niveaux d'organisation, comme l'évocation ci-dessus de cas relativement simples et bien établis nous l'a laissé entrevoir. En un sens, cette autonomie est d'ordre conceptuel : elle renvoie à l'état de notre connaissance, et donc à un point de vue *épistémologique*. Mais cela ne constitue clairement que l'un des aspects de l'émergence. Car, sous un autre aspect, cette autonomie relative des niveaux est *objectale et structurelle*, en ce sens que les propriétés émergentes qui se manifestent correspondent à une réalité objective, à un état de choses scientifiquement constaté et établi. Chaque niveau possède sa structuration propre, et tous sont liés dans une même structure d'ensemble, du niveau inférieur au niveau supérieur de complexité.

Savoir quel est le rapport exact entre ces deux qualifications de l'autonomie d'un niveau d'émergence (épistémologique et structurelle-objectale) est une question particulièrement délicate. Nous ne disposons pas d'un point de

³⁸ Paty [2002].

vue synthétisant qui soit en même temps analytique et synthétique, susceptible d'avoir présent à la fois sous les yeux, et les arrangements structurels des parties, et la totalité constituée avec ses propriétés intégrées. Nos concepts locaux relatifs à un niveau d'organisation ne nous permettent pas, en général, d'accéder à la description du niveau supérieur. Ils ne nous permettent que de connaître l'infrastructure de celui-ci : sa description et ses significations propres nous échappent tant que nous en restons à ce niveau-ci. De là la discontinuité de nos approches pour chacun des niveaux : la description et la compréhension de chacun d'eux est spécifique et nous paraît répondre à notre demande de signification, dans la mesure où ces différents niveaux s'emboîtent d'une manière cohérente sinon totalement intelligible. Car cette demande de signification comprend, au-delà de l'objet lui-même, l'idée qu'il y a une continuité de nature, une homogénéité ontologique, un passage naturel d'un niveau à un autre.

Il est assez remarquable de constater, dans la plupart des domaines des sciences de la nature, que l'émergence de propriétés nouvelles constatée au niveau de l'organisation de structures se double désormais d'une « émergence dynamique », lorsqu'on considère le développement, et même la genèse, des formes complexes d'organisation de la matière, qui est l'un des acquis les plus novateurs des sciences contemporaines, en rupture avec les conceptions fixistes qui prévalaient antérieurement. Suivant la conception évolutionniste généralisée des formes matérielles dont nous disposons aujourd'hui (étendue de l'histoire à la biologie, à la géophysique, à l'astronomie et à la cosmologie), les niveaux d'organisation constatés comme des structures sont en fait le produit d'une genèse et d'un développement suivant le cours ou le flux du temps.

Le problème de l'émergence, qui restait posé au niveau des structures, se transforme d'un problème de connaissance et d'agencement (statique) des niveaux successifs de structuration en un problème (dynamique) de genèse graduelle de ces structures. Il est curieux de voir, aussi bien dans l'évolution cosmique que dans l'évolution biologique, que l'ordre de la genèse des formes selon le cours du temps suit l'ordre hiérarchique du raisonnement qui veut d'abord dénouer le simple pour parvenir au complexe. Le cours du temps concrétise, pour ainsi dire, l'apparence gnoséologique d'émergence de formes, en une production effective dans l'ordre de la nature. La nature « invente » des formes, possibles potentiellement, possédant de nouvelles propriétés effectivement émergentes, depuis le bain initial (à partir d'un certain temps dans le déroulement de la durée cosmique) de particules quantiques indiscernables et parfaitement symétriques de l'« Univers primordial », jusqu'aux organismes vivants (synthésisés localement, au moins sur Terre) et, plus loin dans le temps (toujours localement), aux réalisations artistiques et signifiantes des êtres humains pensants. Parmi celles-ci se trouvent les formes et les produits de la connaissance scientifique, qui participent de cette « invention cosmique » à son niveau propre.

L'émergence apparaît donc comme résultant d'un processus de *genèse* de formes naturelles, selon une dynamique temporelle où le nécessaire et le contingent ont également part. Le premier, *le nécessaire*, en ceci que la transformation d'une forme (ou d'un ensemble de formes) en une autre, qui aboutit à une genèse de formes nouvelles, est *nécessairement* inscrite dans les propriétés potentielles de la forme initiale. Le second, *le contingent*, en ceci que le déroulement temporel se manifeste à travers une immense diversité de conditions

initiales, propres ou non à la combinaison créatrice de formes nouvelles, qui est ainsi rendue plus ou moins probable. L'apparition de la vie sur Terre est redevable de conditions physico-chimiques qui se rencontreraient sans doute très rarement dans les différents lieux de l'Univers, et dont la probabilité est ainsi, de fait, infime. Mais une probabilité même infime, du fait qu'elle est non nulle, correspond à une possibilité de réalisation : car elle peut être multipliée par un nombre de cas effectifs aussi immense qu'elle est petite.

Cette caractéristique est générale et se retrouve dans d'autres situations plus courantes. Par exemple, la nucléosynthèse des éléments chimiques au sein des étoiles est elle-même soumise à la contingence qui a agrégé entre eux, par attraction et condensation gravitationnelle, les atomes plus légers pour former l'astre, et l'on sait que les étoiles et autres corps célestes ainsi formés, par concentration de leurs constituants initiaux dans un champ de gravitation, répondent à une grande variété de types, chacun correspondant à une destinée temporelle propre. La contingence n'est que l'effet de la multiplicité des situations qui, toutes, renvoient aux structures et à leurs relations dynamiques. L'émergence dynamique, qui s'effectue, certes, selon la contingence d'une diversité de situations possibles (ou conditions initiales) peut être vue fondamentalement comme la manifestation d'une *immanence*³⁹.

Comme on l'a dit un peu plus haut, l'invention de connaissances (et l'invention de la connaissance) peut être considérée comme une réflexion, dans l'univers de la pensée humaine, de l'émergence de formes par la genèse de la nature. Les deux posent en fond de décor la question de la potentialité et de la possibilité : celles relatives à l'émergence de formes nouvelles, sans sortir d'un même monde matériel, ou, pour le dire d'une autre façon, en s'en tenant à l'immanence. Ce parallèle, assez bergsonien, entre l'esprit inventif et l'Univers créateur de formes, offre du moins, en filigrane, la continuité d'une manifestation de l'immanence. Celle-ci imprègne la question de l'émergence, considérée tant du point de vue de l'organisation structurelle (matérielle, objective), que du point de vue épistémologique, celui de la connaissance.

Conditions de possibilité d'une science en devenir

Les deux points de vue que nous avons posés au départ sur l'émergence, le point de vue gnoséologico-épistémologique et le point de vue structurel-objectal, se trouvent ainsi converger dans la considération dynamique sur l'émergence, qui fait de celle-ci le fruit d'une genèse naturelle en ce qui concerne les formes objectives, et d'une genèse de la connaissance en ce qui concerne les concepts et les théories. La considération conjointe des deux points de vue en ce qui concerne l'émergence nous préserve de toute tentation naturaliste qui nous ferait confondre l'immanence avec l'état de notre connaissance. Dans tous les cas, la dynamique, qui fait le changement et l'émergence, apparaît menée par l'immanence. Cette dernière préside au mouvement et nous échappe, précisément dans la mesure où elle se situe en dehors de tout sujet connaissant ou transcendant, et oblige le mouvement des concepts et de leurs systèmes structurants

³⁹ Paty [2004b].

(les théories). Cependant les sujets individuels restent les lieux où cette connaissance se transforme, et il faut admettre qu'ils portent en eux-mêmes la capacité à formuler la transformation des connaissances, appelée à leur échapper ensuite.

Nous avons vu le rôle constitutif de la structure dans la signification et l'organisation des concepts, et son lien à la rationalité qui les constitue et les comprend. Nous pouvons maintenant tenter de saisir ensemble ces considérations diverses qui ne concernaient pas des thèmes vraiment séparés, et rattacher l'émergence de nouvelles connaissances, impensables auparavant, qui élargissent le champ de la pénétration possible du monde, et le mouvement effectif « vers l'avant » de la recherche de fondements, par lequel nous avons commencé, lui aussi mené par les conditions de l'intelligibilité. Dans le travail de pensée du sujet, c'est à l'intelligibilité que se rapporte le mouvement de connaissance, et celle-ci se tisse selon la rationalité, qui constitue l'axe d'organisation et de structuration de la connaissance admise ou reconstituée. Les changements dans les représentations conceptuelles produites par le travail de pensée d'une intelligence singulière sont à proprement parler des créations (de formes symboliques ordonnées à une représentation objective). De telles créations, même si elles sont rarement susceptibles d'une description analytique dans le moment même où elle se font, peuvent être suivies selon les raisons des concepts qu'elles forment et agencent, et nous parlerons à ce propos, et dans ce sens, de « créations rationnelles ».

Cette organisation conceptuelle ainsi créée, « émergente » dans l'ordre de la connaissance, réorganise les éléments de connaissance en les faisant intelligible : or cela réclame en même temps que les structures mêmes de l'intelligibilité, c'est-à-dire du rationnel qui la constitue, se reforment pour répondre pour ainsi dire par avance à la possibilité de la formation des nouveaux concepts et du système structurant qu'ils constituent. C'est toute la structure de la compréhension qui est ainsi affectée en même temps par la dynamique des concepts, la rationalité qui les lie se transformant aussi elle-même, puisqu'elle participe de cette structure, aussi bien dans le sujet de la connaissance que dans les propositions de cette connaissance promise à devenir autonome dès qu'elle a été formulée.

La recherche des conditions de l'intelligibilité par des fondements rationnels retrouve, en fait, les mêmes implications que la formation ou l'émergence de connaissances nouvelles, irréductibles aux précédentes : ce sont les structures mêmes de la raison qui s'adaptent aux exigences de la connaissance intelligible pour la rendre possible. Ce faisant, loin de se dissoudre dans un donné empirique variable et changeant, la rationalité ne fait que modifier ses formes tout en maintenant sa fonction, selon un élargissement qui amplifie ses capacités et son pouvoir à former des représentations adéquates du monde, et qui est lui-même donné dans l'immanence.

- Departamento de Filosofia, FFLCH, Universidade de São Paulo (SP), Brasil.

- Equipe REHSEIS (UMR 7596, Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et Université Paris 7-Denis Diderot), Centre Javelot, 2 Place Jussieu, F-75251 Paris-Cedex-05, France. Adresse électronique (e-mail) : paty@paris7.jussieu.fr)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- AGLAN, Alya et AZEMA, Jean-Pierre [2002]. *Jean Cavailles résistant, ou la pensée en actes*, Flammarion, Paris, 2002.
- BACHELARD, Gaston [1949]. *Le Rationalisme appliqué*, Presses Universitaires de France, Paris, 1949.
- BELL, JOHN S. [1980]. De Broglie-Bohm, delayed-choice double-slit experiment, and density matrix, *International Journal of Quantum Chemistry, Quantum Chemistry Symposium*, 14, 1980, 155-159
- BELL, JOHN S. [1987]. *Speakable and Non Speakable in Quantum Physics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1987.
- BOHM, David [1980]. *Wholeness and the implicate order*, Routledge and Kegan Paul, London, 1980.
- BOHM, David & HILEY, Basil J. [1993]. *The Undivided Universe: An Ontological Interpretation of Quantum Theory*, London, Routledge, 1993.
- CAVAILLES, Jean [1946]. *Sur la logique et la théorie de la science* (rédigé en 1942, 1^o éd., 1946), 3^e éd., Vrin, Paris, 1976.
- CAVAILLES, Jean [1962]. *Philosophie mathématique*, Préface de Raymond Aron, Introduction de Roger Martin, Hermann, Paris, 1962.
- CHATELET, Gilles [1993]. *Les enjeux du mobile. Mathématiques, physique, philosophie*, Seuil, Paris, 1993.
- COSTA, Newton da [1993]. *Logiques classiques et non classiques. Essai sur les fondements de la logique*, Masson, Paris, 1993.
- COSTA, N. da and SANT'ANNA, Adonai [2001]. The mathematical role of time and spacetime in classical physics, *Foundations of Physics Letters*, 14, 2001, 553-553.
- COSTA, Newton da and SANT'ANNA, Adonai [2002]. Time in Thermodynamics, *Foundations of Physics*, 2002.
- COSTA, Newton da and DORIA, Antonio [1991]. Undecidability and Incompleteness in Classical Mechanics, *International Journal of Theoretical Physics*, 30, 1991, 1041-1073.
- DESCARTES, René [1637]. *Discours de la méthode*, Leyde, 1637; repris dans Descartes, *Oeuvres de Descartes*, publiées par Charles Adam et Paul Tannery, 11

volumes (1ère éd., 1896-1913) ; nouvelle édition révisée, 1964-1974; ré-éd., 1996 : vol. 6, p. 1-78.

EINSTEIN, Albert [1946]. Autobiographisches. Autobiographical notes, in Schilpp, P.A. (ed), *Albert Einstein, philosopher and scientist*, The Library of living philosophers, Open Court, La Salle (Ill.), 1949, p. 1- 95. Tr. fr., Eléments autobiographiques, in Einstein [1989-1993], vol. 5, p. 19-54.

EINSTEIN, Albert [1949]. Reply to criticism, in Schilpp [1949].

EINSTEIN, Albert [1989-1993]. *Oeuvres choisies*, trad. fr. par le groupe de trad. de l'ENS Fontenay-St-Cloud *et al.*, édition sous la dir. de Françoise Balibar, Seuil/éd. du CNRS, Paris, 1989-1993, 6 vols.

GRANGER, Gilles Gaston [1968]. *Essai d'une philosophie du style*, Armand Colin, Paris, 1968; rééd., Odile Jacob, Paris, 1988.

GRANGER, Gilles Gaston [1994]. *Formes, opérations, objets*, Collection « Mathesis », Vrin, Paris, 1994.

HILBERT, David [1922]. Neubegründung der Mathematik (1922), in D.H., *Gessamelte Abhandlungen*, Berlin, B.3, 1935.

HUSSERL, Edmund [1936]. *Die Krisis der europäischen Wisseenschaften und die tranzendente Phänomenologie*, E. Gerber, Belgrade, 1936 ; Martinus Nijhoff, La Haye, 1954 ; trad. fr. par Gérard Granel, *La crise des sciences européennes et la phénoménologie transcendantale*, Gallimard, Paris, 1976.

MACH, Ernst [1883]. *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch Dargestellt*, Leipzig, 1883 ; trad. fr. (sur la 4 ème éd. allemande) par E. Bertrand, *La mécanique. Exposé historique et critique de son développement*, Hermann, Paris, 1904 ; ré-éd., 1923.

PATY, Michel [1988]. *La matière dérobée*, Ed. des Archives Contemporaines, Paris, 1988.

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*, PUF, Paris, 1993.

PATY, Michel [1996]. Poincaré et le principe de relativité, in Greffe, Jean-Louis; Heinzmann, Gerhard et Lorenz, Kuno (éds.), *Henri Poincaré. Science et philosophie. Science and philosophy. Wissenschaft und Philosophie*, Akademie Verlag, Berlin/Albert Blanchard, Paris, 1996, p. 101-143.

PATY, Michel [1997]. Predicate of existence and predictivity for a theoretical object in physics, in Agazzi, Evandro (ed.), *Realism and quantum physics*, Rodopi, Amsterdam, 1997, p. 97-130.

PATY, Michel [1999a]. Are quantum systems physical objects with physical properties ?, *European Journal of Physics* 20, 1999 (november), 373-388.

PATY, Michel [1999b]. La création scientifique selon Poincaré et Einstein, in Serfati, Michel (éd.), *La recherche de la vérité*, Coll. « L'écriture des Mathématiques », ACL-Editions du Kangourou, Paris, 1999, p. 241-280. Trad. portug (Brésil) : A criação científica segundo Poincaré e Einstein, tradução de

Sérgio Alcides, *Estudos Avançados* (São Paulo, Br), 15, n° 41 (jan-abr.), 2001, 157-192.

PATY, Michel [2000]. The quantum and the classical domains as provisional parallel coexistents, *Synthese* (Kluwer, Dordrecht/Boston), 125, n°1-2, oct.-nov. 2000, 179-200. (in French, Steven ; Krause, Décio ; Doria, Francisco (eds.), In honour of Newton da Costa, on the occasion of his seventieth birthday).

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 [2002]. La physique quantique ou l'entraînement de la forme mathématique sur la pensée physique, in Mataix, Carmen y Rivadulla, Andrés (eds.), *Física cuantica y realidad. Quantum physics and reality*, Editorial Complutense, Madrid, 2002, p. 97-134.

PATY, Michel [2003]. *La Physique du XX^e siècle*, Collection « Sciences et histoires », EDP-Sciences, Paris, 2003.

PATY, Michel [2003i]. A ciência e as idas e voltas do senso comum, Traduzido do original em francês por Maria Aparecida Corrêa-Paty, *Scientiæ Studia* (São Paulo, Br), 1, n°1, 2003, jan.-mar., 9-26.

PATY, Michel [2004a]. L'élément différentiel de temps et la causalité physique dans la dynamique de Alembert, in Morelon, Régis & Hasnawi, Ahmad (éds.), *De Zénon d'Elée à Poincaré. Recueil d'études en hommage à Roshdi Rashed*, Editions Peeters, Louvain (Be), 2004, p. 391-426.

PATY, Michel [2004b]. Matière et nécessité dans la connaissance scientifique, in Dubessy, Jean ; Lecointre, Guillaume & Silberstein, Marc (éds.), *Les matérialistes et leurs contradicteurs*, Syllepses, Paris, 2004.

PATY, Michel [2004c]. Des fondements vers l'avant. Sur la rationalité des mathématiques et des sciences formalisées, Contribution au *Colloque International «Aperçus philosophiques en logique et en mathématiques. Histoire et actualité des théories sémantiques et syntaxiques alternatives»*, Nancy, 30 sept.-4 oct. 2002 (le 1^{er} octobre).

PATY, Michel [2004d]. Rationalités comparées des contenus mathématiques. Sur les travaux de Roshdi Rashed, ou : La philosophie dans le champ de l'histoire des sciences, *Colloque des sciences arabes*, Damas (Syrie), 1-4 novembre 2002 (le 4 nov.).

PATY, Michel [à par.]. *Einstein, les quanta et le réel. Critique et construction théorique*, à paraître.

POINCARÉ, Henri [1889]. La logique et l'intuition dans la science mathématique et dans l'enseignement, *L'Enseignement mathématique*, 1, 1889, 157-162. Repr. dans Poincaré [1913-1965], t. 11, p. 129-133.

POINCARÉ, Henri [1895]. L'espace et la géométrie, *Revue de métaphysique et de morale* 3, 1895, 631-646. Repris dans Poincaré [1902] (chap. 4).

POINCARÉ, Henri [1902]. *La science et l'hypothèse*, Flammarion, Paris, 1902.

POINCARÉ, Henri [1907]. La relativité de l'espace, *L'année psychologique* 13, 1907, 1-17. Repris dans Poincaré [1908], Livre 2, chapitre 1.

POINCARÉ, Henri [1908]. *Science et méthode*, Flammarion, Paris, 1908.

- POINCARÉ, Henri [1912]. L'espace et le temps, *Scientia* 12^{ème} année, vol. XXV, 1912, 159-170. Repris dans Poincaré [1913], éd. 1963, p. 97-109.
- POINCARÉ, Henri [1913]. *Dernières pensées*, Flammarion, Paris, 1913; réed. 1963.
- POINCARÉ, Henri [1913-1965]. *Œuvres*, Gauthier-Villars, Paris, 11 vols., 1913-1965.
- POLANYI, Michael [1958]. *Personal Knowledge : Towards a Post-critical Philosophy* (Gifford Lectures, London, 1951-1952), The University of Chicago Press, Chicago, 1958 ; 1998.
- POLANYI, Michael [1966]. *The Tacit Dimension*, Peter Smith, Gloucester, 1966 ; 1983.
- REICHENBACH, Hans [1949]. The philosophical significance of the theory of relativity, *in* Schilpp [1949], p. 289-311.
- SCHILPP, Paul Arthur [1949]. *Albert Einstein: philosopher-scientist*, The library of living philosophers, Open Court, LaSalle (Ill.), 1949. Ré-ed., 1970.
- SIMONDON, Georges [1958]. *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier, Paris, 1958 ; 3^e éd. augm. d'une préface de John Hart et d'une postface de Yves Deforge, 1989.
-