

# OPERATIONS ÉPISTEMIQUES ET ÉPISTEMOLOGIE FORMELLE:

Contribution a l'etude des operations epistemiques  
dans les theories scientifiques

MICHEL PATY

Universite Paris 7 - Denis Diderot

## ABSTRACT

*In this paper, we investigate the constitutive problems and other several aspects of what a research entitled 'formal epistemology' should be. The interest in this subject has to do with the possibility of reaching a privileged point of view or axis of research – i.e., the 'formal' one – that would allow a better grasp of the richness and variety of the facts and problems tackled by precise (local) epistemology of theories (for example, in physics). This approach is likely to enable one to hold the main structural lines that organize those theories according to a more comprehensive, unifying and synthetic intelligibility. By the same token, it would eventually allow a better handling of the changes required in the organization of knowledge, putting emphasis on its main directions, drawing up a rational inventory of this knowledge, and perhaps anticipating others.*

*At first, we deal with the 'thought of changes' that no approach of the 'form' can afford to leave aside, since the meaning of this concept is inseparable from the contents that come with constructions and modifications. We examine then the notion of 'epistemic operation' as an instrument to create new forms on the theoretical as well as on the meta-theoretical levels. In the wake of it, we analyze the characteristics of the form and of the formal, as well as their relationship with the contents of knowledge. We also take the notion of object into account, since it depends upon the decision of a subject and upon conventional choices. We finally inquire about the link between 'epistemic operations' as specified above and algorithmic functions for knowledge statements, and emphasize the risk*

*of reductionism that might follow from a naturalistic conception of representation*

## 1 Introduction

L'expression «epistemologie formelle» recouvre une variété de définitions possibles, et laisse ouverte une ample marge d'interprétations<sup>1</sup> On la conçoit, intuitivement, orientée par un intérêt porté aux formes théoriques, à leur signification et à leur portée, concernant un domaine donné ou aussi bien des rapports entre des champs différents de connaissance Nous ne nous proposons pas tant d'en donner ici une définition précise que de cerner quelques uns des problèmes constitutifs d'une investigation se réclamant d'une telle orientation, et d'en souligner, ce faisant, l'intérêt et les limites

Nous devons commencer par délimiter ce projet Il ne s'agit pas ici d'établir une sorte de «morphologie de l'esprit» telle que se la proposa naguère un Ernst Cassirer dans son très bel ouvrage *La philosophie des formes symboliques*,<sup>2</sup> prolongeant ses recherches sur la «structure de la pensée» telle qu'elle se révèle dans les mathématiques et les sciences de la nature, exposées dans *Substance et fonction*,<sup>3</sup> par une analyse du langage, de la pensée mythique, et de la phénoménologie de la connaissance<sup>4</sup> Du moins l'idée que la pensée scientifique s'exprime dans des formes symboliques, comme tout autre domaine de la pensée humaine, de son «infrastructure» à cette «organisation architectonique de la «superstructure» que constitue la science»,<sup>5</sup> tout en étant orientée vers le monde réel, demeurera-t-elle, pour nous, une inspiration fondamentale<sup>6</sup>

L'interrogation sur les «formes» et les problèmes «formels», appliquée à des sciences précises, met en général implicitement l'accent sur certains aspects des théories *actuelles*, qu'il s'agit de caractériser On ne saurait cependant s'en tenir à des traits

structurels, statiques, des lors qu'on s'intéresse, en particulier sous l'angle comparatif, au *mouvement* selon lequel ces aspects «formels» sont établis, et que l'on envisage comment d'autres pourraient s'instituer dans le futur. A s'en tenir au seul examen des formalisations de connaissances récentes, l'on risquerait de perdre la proie pour l'ombre, ne retenant qu'une vue «logico-reconstruite» et schématique des sciences, au détriment de ce qui fait la réalité vivante, et comme la chair même, de ces connaissances, dont les contenus et les formes, fruits d'élaborations, subissent régulièrement des modifications. Cette «vie des formes», pour les sciences comme on le dit pour les arts, doit être à l'évidence une dimension constitutive de toute «épistémologie formelle». Il importait donc d'inventorier cette dimension, tout en restant dans l'esprit d'une approche qui s'attache essentiellement aux formes, à la «logique des formes», à leur analyse et à leurs significations, plutôt qu'à leurs circonstances historiques, sans ignorer pour autant la réalité et la nécessité de leurs changements.

C'est donc par une réflexion sur la «pensée des changements» que nous commençons cet essai de problématisation d'une «épistémologie formelle». Nous examinons ensuite la notion d'«opération épistémique» et les niveaux théorique et méta-théorique où elle se propose comme instrument de création de formes nouvelles. Puis les caractères de la forme et du formel et leur rapport aux contenus de connaissance, ainsi que la notion d'objet avec ce qu'elle doit à la décision d'un sujet et aux choix de convention. Nous terminerons en nous interrogeant sur le rapport entre les «opérations épistémiques» ainsi précisées et la fonction algorithmique pour des énoncés de connaissance, en soulignant le risque réductionniste d'une conception naturaliste de la représentation.

## 2 Epistémologie et pensée des changements

Einstein remarquait que les progrès de la physique conduisent à des représentations théoriques de plus en plus éloignées de la forme immédiate de notre appréhension de la réalité. Cela est vrai aussi pour d'autres types de science et de connaissance. Seules peut-être, les disciplines dont le mode d'expression est le récit – et il s'agit essentiellement de l'histoire –, requièrent un type d'intelligibilité qui reste étroitement au contact direct des impressions subjectives et des sensations immédiates, par lesquelles se reactivent les faits d'un passé reconstitué (Mais cela même n'interdit pas une compréhension informée d'éléments plus abstraits et réfléchis, qui accompagnent les opérations de jugement, les attributions de signification)

Cette distance oblige, pour qui persiste à penser que les élaborations de la connaissance scientifique visent à représenter la *réalité* – la réalité du monde naturel pour les sciences de la nature, la réalité humaine et sociale pour les autres, et c'est encore la réalité du monde<sup>s</sup> –, à prendre en considération les médiations de plus en plus nombreuses qui s'établissent ainsi entre la *pensée représentative* et son *objet*. Les états successifs de ces médiations peuvent être suivies au long de l'histoire. Il est possible d'en établir des étapes, pour chacune des connaissances particulières, prise dans une culture d'ensemble et en relation de réciprocité avec elle comme avec l'une ou l'autre des autres connaissances qui lui sont contemporaines. À chacune des étapes, ces connaissances et la culture où elles sont insérées forment un tissu organique qui détermine des types ou des normes de compréhension. La question de la compréhension du monde et de la nature de la connaissance scientifique est ainsi inséparable de la considération de leurs états historiques. Cette constatation n'implique pour autant aucun relativisme fondamental qui nierait ou minimiserait la fonction de la raison. On doit admettre comme une vérité de fait des formes de

connaissance et des justifications de raisonnement qui diffèrent suivant les époques et les cultures. Mais cette vérité est elle-même susceptible d'une investigation rationnelle, «scientifique»

Cette remarque, dont on poursuivra ailleurs les implications quant à la nature de la connaissance scientifique,<sup>9</sup> n'a pour propos que de souligner l'importance et l'extension de la question des rapports entre une connaissance nouvelle et la «tradition» dans laquelle elle apparaît et, partant, entre connaissance future et connaissance actuelle. Cette question, qui est au soubassement des considérations présentées dans ce qui suit, débordé donc largement le cas de la science que nous connaissons, auquel nous nous restreindrons. Il est cependant fondamental de garder en tête cette dimension et la conscience de ce que la connaissance scientifique dans laquelle nous nous situons ne nous est pas conaturale, mais résulte d'une élaboration tributaire de circonstances historiques. Nos tentatives d'en donner une représentation purement rationnelle et formelle sont elles-mêmes des constructions, des élaborations qui portent une part de contingence et de convention.

Si la préoccupation pour les aspects structuraux et formels, qui est principalement la notre ici, doit omettre, en première approche, la considération des circonstances historiques, elle doit cependant prendre comme l'une de ses données de départ la nature mouvante ou évolutive des connaissances, c'est-à-dire la question des changements qui affectent non seulement les objets de nos représentations mais aussi les modalités de ces dernières, ainsi que la manière même dont nous les concevons. De tels changements affectent également, et peut-être davantage encore, les autres domaines de la connaissance et de l'expérience humaines qui ne sont pas réductibles à la connaissance scientifique, comme l'esthétique ou la morale, ces autres piliers de toute culture, différemment liés à l'usage de la raison.

– comme a ces autres fonctions «classiques» de la pensee que sont l'imagination et la memoire

Dans de nombreux domaines de la connaissance scientifique contemporaine, les manieres de concevoir ce qu'est un phenomene, l'objet auquel il renvoie ou l'explication que l'on s'en donne, different sensiblement des façons de voir et des pratiques anterieures, y compris celles auxquelles nous-mêmes avons ete formes. Cependant, si nous avons conscience de ces changements, puisque nous en faisons l'experience, nous ne savons pas encore comment les interpreter, c'est-a-dire en quoi et comment ils modifient notre maniere établie de penser et parler<sup>10</sup>. Cela serait, certes, *a priori* bien difficile a savoir en restant a l'interieur de cette pensee «traditionnelle». Nous vivons ces changements avant de savoir les penser. Il est cependant inevitable pour la science, et essentiel pour la philosophie, d'en venir a les penser. Est-il possible, des a present, d'en savoir plus, et de formuler la nouvelle pensee requise par les changements que nous vivons aujourd'hui, qui s'accomplissent sous nos yeux ?

Tout le probleme est de savoir ce que l'on peut esperer dans cette direction. La situation presente n'est pas entierement inedite : elle a des precedents, dont il est possible de tirer quelques leçons. Et tout d'abord que la pensee scientifique n'est pas isolee, que les changements epistemiques ne sont pleinement intelligibles que dans un cadre plus general. Egalement, que l'attention a ces changements peut être instructive sans conduire necessairement a une vue globale. Notre ambition ne peut ici que rester modeste, sans que cela l'empêche pour autant d'être feconde, faute de quoi elle risquerait d'engendrer des illusions.

Mais les modifications des representations de la science contemporaine sont egalement riches d'enseignements plus positifs. Nous nous en tiendrons dans ce qui suit a evoker celles de la physique, mais on pourrait proposer des considera-

tions de nature voisine pour la biologie, la geologie, la cosmologie, les mathematiques, les sciences humaines et sociales. On l'a vu avec la theorie de la relativite, qui a montre la necessite de reconstruire et de repenser les notions qui paraissent les plus evidentes et les mieux ancrees dans nos structures cognitives, telles que l'espace et le temps. La theorie de la relativite (restreinte et generale) a aussi montre la necessite de re-evaluer ce qu'est une theorie, comme construction symbolique, conceptuelle et formelle, et de penser de maniere plus appropriee le role particulier des mathematiques – science des pures formes, mais d'un veritable *monde* de ces formes – dans cette construction <sup>11</sup>

La conscience de necessites de ce genre n'est pas radicalement nouvelle et n'est pas apparue seulement avec la physique contemporaine. Nous savons, certes, que le *continuum spatio-temporel* qui est au soubassement de l'usage des equations differentielles, fondement de toute theorie du champ, est une entite abstraite et construite par la pensee, et que sa justification ne tient pas a une evidence de notre intuition. Cette justification reside pour une part dans le caractere operatoire de cette notion construite, qui permet une description et une explication des phenomenes dans cet ordre. Elle reside, pour une autre part, fondamentale et constitutive, dans la logique d'une representation mathematisee d'abord de l'espace puis du temps, qui guide nos schemes d'intelligibilite, et qui est elle-meme non pas un *a priori* mais le resultat d'un processus d'elaboration <sup>1</sup>

Cependant, que le continuum d'espace-temps soit une construction mentale, conceptuelle et symbolique, dont rien n'assure que les elements de base correspondent a quelque chose de veritablement «reel», cela n'est pas vraiment une decouverte. On le sait depuis, au moins, la *mecanique du point materiel* et des *quantites differentielles*, fondees sur des grandeurs qui, tout en etant de portee physique, sont *ideelles*, et se

presentent comme des *abstractions ideales* de réalités supposees. Cette theorie s'avera pourtant extrêmement feconde a travers les efforts des physiciens, mathematiciens et theoriciens pour depasser le caractere schematique d'une telle idealite – comode mathematiquement, sinon toujours claire (quant aux concepts point materiel, fluxions et differentielles), et peu *reelle* (au sens des réalités communes). Ils le firent sur la base de la mecanique de Newton, avec ses lois generales ou principes, ses relations et ses concepts, eventuellement reformules, completes ou generalises, en l'etendant aux corps solides et aux fluides, et aux attractions gravitationnelles a plus de deux corps. Mais ils le firent aussi en discutant – preoccupation permanente des savants-épistemologues<sup>13</sup> – les conditions de validite de l'application de ces concepts mathematiques dans la formulation des grandeurs physiques, et leurs limites.

Quant aux changements survenus avec la *physique quantique*, ils sont encore loin d'avoir ete pleinement evalues, tant sur le plan de la signification proprement physique de la theorie que sur celui de ses incidences cognitives. Tres tôt, des physiciens se sont eux-mêmes preoccupes de generaliser a partir d'elle une methodologie pour la theorie physique et une philosophie de la connaissance. Mais le souci d'assurer a ces perspectives scientifiques nouvelles et remarquablement fecondes une legitimité qui pouvait leur être contestee fixa prematurement, et de maniere rigide, la marge des interpretations. Les difficultes conceptuelles, relevant de l'argumentation physique, de la problématique theorique et de l'analyse epistemologique, furent ensevelies sous les reponses automatiques d'une philosophie taillee sur mesure. Il etait, certes, necessaire de revoir, a la lumiere des connaissances du nouveau domaine phénoménal, des catégories dont la fonction semblait acquise, comme celles de *causalite* ou de *determinisme*, voire celles d'*observation*, d'*objet* et d'*objectivite*. Mais l'on en omettait aussi bien d'autres, et des concepts qui pouvaient etre tout autant



fondamentaux comme ceux d'état d'un système physique ou de *grandeur* pour caractériser un tel état, ou encore la nature de la *probabilité* qui lui est liée. Le formalisme quantique en donnait des définitions mathématiques, mais l'«interprétation» laissait dans l'ombre leur rapport profond avec une signification physique directe, en éliminant d'emblée la pertinence d'une telle question, pour les raisons philosophiques alléguées<sup>14</sup>

Les débats récents sur la signification de la *non-séparabilité locale* des systèmes quantiques<sup>15</sup> et les doutes qui subsistent sur ce qu'est exactement le «principe de réduction du paquet d'onde» (ou *problème quantique de la mesure*<sup>16</sup>) montrent qu'il reste encore des zones d'ombre dans la question de la signification physique des propositions de la théorie quantique. Cette théorie, au demeurant, ne se cantonne pas à la *mécanique quantique*, et s'étend aux *théories quantiques des champs* dont l'importance est aujourd'hui considérable, ce qui ne devrait pas manquer d'entraîner des implications au plan des significations conceptuelles<sup>17</sup>

C'est pourquoi lorsque nous évoquerons les leçons générales à tirer de la physique quantique, nous n'entendrons pas la «philosophie de la mécanique quantique» dans le sens courant de l'expression, qui renvoie à la «complémentarité» de Bohr ou à ses variantes selon d'autres physiciens, dans la mesure où elles mettent aussi la critique théorique et conceptuelle sous la dépendance d'une philosophie de l'observation. Nous entendrons, d'une manière générale, toutes les questions théoriques, épistémologiques et philosophiques suscitées par la *connaissance des phénomènes quantiques*, qui constitue l'un des chapitres les plus importants de la physique actuelle<sup>18</sup>

D'autres théories physiques contemporaines ont d'ailleurs également des implications inhabituelles sur des mises en relation qui semblaient aller de soi, mais qui demandent aussi des évaluations critiques rigoureuses sur la signification des con-

cepts en jeu. Considerons, par exemple, la relation déterminisme-prévision qui n'est plus de mise avec la théorie actuelle des systèmes dynamiques non-linéaires et des phénomènes chaotiques. On devra, dans ce cas, semble-t-il, distinguer la *prevision*, qui concerne la description du parcours par un mobile de sa trajectoire, à l'aide des variables spatio-temporelles – notions qui perdent ici une grande part de leur intérêt –, et la *prediction*, que la théorie ne manque pas de continuer à permettre, mais pour d'autres variables – globales, par exemple –, et d'autres concepts, tel celui d'«attracteur étrange» en *théorie des systèmes dynamiques*<sup>19</sup> – qui apparaissent caractéristiques de ce genre de phénomènes.

Des re-évaluations épistémologiques sont ainsi toujours nécessaires si l'on veut comprendre les connaissances nouvelles selon la cohérence d'ensemble d'une intelligibilité plus vaste, cette compréhension plus profonde pouvant aller de pair avec des reformulations. Elles interviennent évidemment après que les connaissances nouvelles aient été instaurees, et résultent d'analyses détaillées, «différentielles», pour chacune de ces connaissances prise dans sa spécificité. On est alors souvent étonné de voir, dans les transformations qui ont eu lieu, pour des domaines de la connaissance parfois fort différents, se manifester des traits de structure à quelques égards semblables. Mais, outre que ces traits ne nous apparaissent que dans l'étude cas par cas, les rapprochements ne nous sont pas immédiatement visibles. Il faut bien des decantations pour qu'ils s'imposent à l'attention. Encore est-on tenté de n'y voir, dans un premier temps, que de simples coïncidences, l'analogie pure et simple apparaissant de toute façon comme un argument bien trop faible pour une prise en considération tant soit peu fondamentale.<sup>20</sup>

On peut cependant se demander s'il n'existerait pas un point de vue ou un axe de recherche par rapport auquel l'on aurait pu se placer d'emblée, et qui donnerait sur les faits et les

problemes auxquels l'epistemologie precise («regionale») de ces theories se confronte, une *perspective* capable d'en embrasser la richesse et la diversite, tout en saisissant les grands traits structurels qui les organisent selon quelque *intelligibilite d'ensemble*, plus unifiante et synthetique. L'acquisition d'un tel point de vue permettrait peut-etre de mieux maîtriser les changements requis dans l'organisation des connaissances, d'en souligner les directions principales, d'en dresser l'inventaire raisonne, voire d'en anticiper d'autres.

Une telle anticipation n'est pas impensable, a partir de la constatation de regularites ou de tendances. On peut, en effet, s'interroger sur la raison de telles similitudes, analogies et convergences constatees, dans les transformations survenues dans des regions differentes du savoir, et s'efforcer de les rapporter à quelque trait morphologique qui enveloppait deja ces connaissances, comme une sorte de conditionnement qui se trouvait pose et determine d'avance, sans que nous en eussions eu auparavant conscience, et qui devait necessairement, en fin de compte, se reveler. Si tel est le cas, un examen anterieur plus systematique aurait peut-etre pu le deceler sans qu'il fut besoin d'attendre la realisation contingente des evenements. Ces considerations releveraient d'une sorte de «meta-epistemologie» encore a inventer, pour autant qu'elle soit seulement possible. Elles seraient, pour l'epistemologie des representations theoriques, une sorte d'analogie de ce qu'aurait pu être, aux yeux de Minkowski, une theorie mathematique *a priori* de l'espace-temps si elle avait ete developpee avant la theorie physique de la relativite restreinte<sup>71</sup>. Remarquons deja que des hypotheses de ce genre semblent se nourrir d'une conception totalement rationnelle des theories et connaissances considerees, et de leur rapport aux meta-theories susceptibles de les encadrer. Il restera alors, de toutes façons, a preciser ce que l'on doit entendre par «conception rationnelle», compatible avec une marge necessairement lensee a l'invention. Ou alors,

l'invention ne serait-elle que la voie «pragmatique» d'accès a un progres des connaissances qui serait inscrit dans une absolue necessite ?

Quoi qu'il en soit, et sans prejuger a l'avance des reponses a ces questions, de telles considerations suscitent l'idee d'accorder une attention particuliere a ce qui, dans ces problemes de reajustements, mais peut-etre aussi deja au niveau des elaborations elles-mêmes, se presente sous les especes de l'«operatoire» et du «formel» Encore faut-il preciser ce que l'on peut entendre par la, avant de poser les jalons d'une reflexion sur ce qu'il est possible d'en attendre

### 3 Opérations épistémiques

Nous appellerons «*operation epistemique*» un acte (ou un ensemble d'actes) de pensee par lequel un savoir se constitue, que la nature de cet acte soit consciemment perçue ou non lors de la constitution de ce savoir Elle peut se laisser reconnaître comme telle a un stade ulterieur de la reflexion, a partir de l'etude des contenus et des procedures de connaissance dans un domaine donne

Un exemple simple d'operation epistemique, pris dans les methodes de la physique contemporaine, est la *recherche d'invariants* pour etablir une theorie physique par exemple, un lagrangien invariant de Lorentz pour respecter les exigences de la relativite restreinte, ou invariant sous telle operation de symetrie de jauge posee comme fondamentale pour tel type de dynamique des interactions de «particules» quantiques Cette pratique des physiciens est devenue courante depuis la theorie de la relativite generale et la physique quantique au cours des annees 1920-1930 Mais son origine se trouve dans le memoire sur «La dynamique de l'electron» compose en 1905 par Poincare,<sup>2</sup> lorsque celui-ci se proposait de construire une theorie de la gravitation modifiee par rapport a celle de

Newton par l'imposition de la condition de «covariance», ou invariance des equations qui expriment les lois dans les «transformation de Lorentz» des coordonnees d'espace et de temps, et qui signifie la soumission au principe de relativite restreinte Elle a partie liee a l'importance prise des lors en physique par la notion de *groupe de transformation, de symetrie* ou *d'invariance*, sous-tendue par la theorie mathematique correspondante

Cette importance a été pleinement comprise avec la theorie de la relativite generale d'Einstein, et a reçu une premiere systematisation formelle avec le theoreme de Noether <sup>3</sup> Elle a ensuite guide l'edification de la mecanique quantique et celle, ulterieurement, de la theorie quantique des champs, jusqu'aux developpements recents qui concernent les champs d'interaction fondamentaux «a symétrie (ou invariance) de jauge»

En s'imposant, cette «operation epistemique» a considerablement modifie la pratique et la conception de la theorie physique Elle est aisee a formuler, une fois qu'on la sait justifiee, mais rendre compte de son etablisement n'est pas susceptible d'un scheme d'explication simple sans distordre ou ignorer la realite historique, celle des «faits qui resistant» On ne peut la voir comme une evidence naturelle qui s'imposait parce que nous la concevons si bien apres coup (apres son «invention») sans necessiter d'autre justification Si elle s'impose a notre regard retrospectif, c'est parce que celui-ci se situe dans un univers conceptuel qui l'a prise comme reference, a la suite de reorganisations des connaissances et des methodes theoriques de la physique Mais il est possible de cerner son origine dans les changements conceptuels et structurels qu'a connus la physique au debut de ce siecle Elle fut, en premier lieu, *inventee*, dans un univers de la pensee encore marque par d'autres conceptions et pratiques, et dans des circonstances et pour des

raisons qui relevent de l'étude historique et, plus précisément, de l'épistemologie historique

Cet exemple nous fait voir assez clairement, grâce à sa relative simplicité, qu'il convient de distinguer deux niveaux relativement à l'objet de notre recherche : celui des *operations epistemiques* dans le *travail scientifique* proprement dit (en l'occurrence, la formation d'invariants pour l'expression des lois et des théories physiques), d'une part, et celui de ces mêmes opérations considérées «au second degré», sous les espèces des *procedures* qui ont abouti à l'énoncé des premières, et dont la formulation implique un aspect historique, d'autre part. Ce deuxième niveau est celui de la *constitution des operations epistemiques*, de leur élaboration, et il est difficilement réductible à des descriptions d'opérations simples. Il se rattache à la question de la formation de conceptions nouvelles, de création, d'une manière générale, de «nouveau» en science et, en quelque sorte, à la question de l'«émergence» de nouvelles formes dans la pensée cognitive.

On peut également considérer comme *operations epistemiques* le fait de raisonner dans le cadre de certaines structures logiques et de certaines catégories de pensée qui informent nos «interprétations», notre façon de concevoir les «significations» des concepts et des propositions théoriques. Par exemple, concernant les propositions d'une théorie physique : une conception de la *causalité*, ce que l'on entend par *déterminisme*, notre acception de la notion de *probabilité*. De telles conceptions sont porteuses d'effets sur la manière dont un problème est traité, manière qui peut être commune aux chercheurs et spécialistes à une période donnée, ou qui peut connaître des variantes suivant les individus ou les écoles de pensée. Mais elles concernent plus encore la manière dont ces connaissances sont comprises et justifiées. Or, celle-ci est déterminante sur la dynamique de la pensée qui se propose ou non d'aller plus loin. Par exemple, la notion de «complétude théorique», susci-

tee par la relativite generale et par la physique quantique, annonce, suivant les positions adoptees a son egard, un programme de recherche pour une theorie physique ulterieure<sup>24</sup> Aucune des deux n'est une theorie complete *au sens fort* (d'un *auto-engendrement* des qualifications de ses objets, dans la direction d'une clôtüre theorique, mais que ne saurait etre que relative), qui est celui des projets actuels de theories unitaires des champs, la question etant de savoir si elles le sont *en un sens plus faible* (suffisent-elles pour decrire les proprietes assignables de leurs objets ?)<sup>25</sup> c'etait, pour Einstein, le requisit de tout point de depart pour aller plus loin dans une description unificatrice des objets physiques

Les resultats obtenus dans une science peuvent remettre en cause des *operations epistemiques* que l'on penserait aller de soi. C'est ainsi que la notion de causalité a ete modifiée par la theorie de la relativite restreinte qui, en obligeant a distinguer les regions «espace» et «temps» du cône de lumiere,<sup>26</sup> a entraîne des changements dans notre conception du rapport entre la cause et l'effet. Toutes les regions du diagramme d'espace-temps ne sont pas equivalentes : si la «region temps» est physique, la «region espace» est non physique (il n'existe pas de relation possible de causalite entre ses hyperpoints). Henri Poincare lui-même l'indiquait, pour ce qui est de ses propres conceptions, a propos de l'espace-temps de Minkowski.<sup>27</sup>

D'un autre cote, la notion d'amplitude de probabilite de la mecanique quantique entraîne, a bien y reflechit, une modification de la physique. Les probabilites sont, sans autre specification, une notion mathematique. Elles sont generalement identifiees, dans leur utilisation en physique, a des frequences d'évenements, ou plus exactement, aux limites de telles frequences, selon la loi des grands nombres. La construction de la theorie quantique les fait intervenir de maniere indirecte, par le biais de l'«amplitude de probabilite» qu'est la fonction d'onde et le vecteur d'etat. Cette denomination rappelle le

sens physique d'un concept qui est, en lui-même, étranger à la théorie mathématique des probabilités et qui, du point de vue mathématique, a la forme d'un vecteur d'un espace de Hilbert. L'«amplitude de probabilité» fournit des probabilités théoriques, qui sont mises ensuite en rapport avec des fréquences expérimentales d'événements.

Mais si la théorie fait signifier ses grandeurs (essentiellement par leurs relations) avant la réalisation de l'expérience (laquelle ne nous donne que la connaissance de leurs valeurs particulières), la probabilité obtenue à partir de l'amplitude de probabilité possède un sens théorique qui ne se réduit pas à celui, fréquentiel, du résultat d'une expérience donnée. On peut parler de probabilité pour un événement quantique individuel, telle l'interférence d'un photon avec lui-même, comme Dirac le prévoyait dès 1930, dans un sens différent de la probabilité d'un coup de dés, qui «s'épuise» en étant jeté<sup>28</sup>. J'entends ici «épuiser» en un sens qui ne préjuge pas de l'indépendance des probabilités de coups successifs. «un coup de dés jamais n'abolira le hasard» (Mallarmé). Je l'entends au sens où un événement singulier, affectant une grandeur classique, se suffit à lui-même. Tandis qu'une mesure d'un processus quantique singulier moyennant l'enregistrement d'un événement de type classique grade entière, comme «virtuelle», la distribution spectrale de probabilités pour la grandeur considérée<sup>29</sup>. Les deux ne viennent en coïncidence, ou plutôt en correspondance, que lorsqu'on s'intéresse aux résultats de mesure pour des grandeurs conçues dans les conditions classiques. Jusqu'à l'instant de la mesure, la probabilité théorique au sens quantique porte toute l'information sur le spectre possible des états de base, avec les probabilités correspondantes. La possibilité de la connexion, et le résultat quand elle est réalisée, est parfois exprimée par le terme «potentialité», ou «propensité» qui ne sont, à vrai dire, que des substituts intuitifs d'un saut conceptuel.



celui qui existe entre des grandeurs classiques a valeurs numeriques et des grandeurs quantiques de forme plus complexe<sup>30</sup>

Nous discuterons plus loin de la question de savoir si les operations epistemiques sont identifiables a des *algorithmes*. Nous devons auparavant indiquer ce que nous entendons par le terme «formel» dans l'expression «epistemologie formelle» nous voudrions montrer comment cette notion elle-même deborde largement celle d'algorithme. Nous nous arreterons egalement quelque peu sur la notion d'«objet», qui permet de preciser le propos d'une epistemologie formelle par rapport a un trait general des operations epistemiques

#### 4 Essai de définition d'une «épistémologie formelle»

Dans le sens classique, *formel* s'oppose a *materiel*, comme par exemple avec la *cause formelle* aristotelicienne (relative a l'idee ou a l'essence), ou dans le couple antagoniste *forme* et *matiere*, ou encore dans l'acception la plus courante du mot «formalisme» (l'expression «purement formel» signifie sans contenu reel entendu au sens de «materiel») <sup>1</sup> Cette opposition, exploitée par la scolastique, rapporte a la *forme* le rapport existant entre les termes d'une operation de l'entendement, quelle que soit la *matiere*, ou la *signification*, de ces derniers. Ce sens de la forme est a l'origine d'une expression comme celle de *relations formelles*, employée pour l'algebre, et designant des relations valables pour tous les nombres que les symboles litteraux designent <sup>2</sup> Il informe aussi une terminologie qui designe les lois – la *forme de la loi* –, et, en philosophie, par exemple dans la philosophie kantienne, les lois de la pensee (*formes pures* de l'intuition sensible ou *formes a priori* de la sensibilite – le temps et l'espace –, *formes de l'entendement* – les categories –, *formes de la raison* – les idees). Dans un sens different, plus récent, suscite par la *Gestalttheorie* – *theorie de la forme* en psychologie –, elle est ce qui oblige a considerer un element comme partie

d'un ensemble, d'une totalite, participant de sa structure et de ses lois

Nous nous rapprochons, en empruntant a ces diverses acceptions, d'un sens qui puisse nous être directement utile, dépassant l'opposition entre la *forme* et le *contenu*, pour tenter d'atteindre ce qui caracterise fondamentalement l'approche gnoseologique des contenus de connaissance Gilles-G Granger parle de «contenus formels» à propos des mathematiques, pour les distinguer des sciences de l'empirie, et en même temps pour les en rapprocher, par la consideration qu'elles ne sont pas des formes vides, mais qu'elles aussi ont des *contenus*, qui peuvent être atteints par leurs relations en tant que formes ne se reduisant pas a des tautologies ni a des expressions logiques<sup>33</sup> Le *formel*, dans cette acception, ne s'identifie pas au purement logique qui est, quant à lui, vide de contenu Il ne s'oppose pas au *contenu*, et il faudra precisement elucider le rapport du formel et du contenu – certains traits en apparaitront dans la discussion de la notion d'*objet*

«Formel» s'oppose en fait a quelque chose qui serait de l'ordre du particulier empirique, de la description purement phenomenique d'objets, même si les traits en etaient obtenus par l'approche theorique d'une science de la nature La *physique mathematique* se présente a bien des egards comme une approche formelle, comparativement a la physique experimentale bien entendu, mais aussi à la *physique theorique* elle-même, qu'elle rejoint cependant assez souvent au point qu'il arrive periodiquement que les deux se confondent (comme dans la mecanique analytique de Lagrange et de Hamilton,<sup>34</sup> dans la théorie minkowskienne de la relativite restreinte,<sup>35</sup> dans la theorie de la relativite generale, dans certaines presentations de la mecanique quantique (celles de Weyl et de von Neumann notamment<sup>36</sup>) et dans de nombreux developpements des theories des champs de jauge (a commencer par les travaux pionniers de Yang et Mills, jusqu'aux recherches les plus recentes sur la

gravitation quantique<sup>3</sup>) Ce qui interesse la physique mathematique, ce sont les *relations formelles* entre les grandeurs mathematiques supposees concerner la physique C'est un formel mathematique, par opposition au *contenu physique* dont se preoccupe avant tout la physique theorique Mais l'opposition n'est que relative, et les identifications periodiques relevees entre la physique mathematique et la physique theorique ne sont jamais que l'indice de ce que, pour «formelles» qu'elle soient eu egard a la nature, les relations mathematiques ne lui sont pas etrangeres, dans la mesure ou elles constituent la forme même des descriptions qu'en donne la physique théorique Dans ces circonstances privilegiees, la *forme* réussit a être l'expression même du *contenu*

Pour reprendre l'exemple des *invariants* evoques plus haut, ces derniers sont saisis par la pensee comme des *relations formelles*, mais qui expriment en même temps des proprietes generales et fondamentales des systeme physiques et des grandeurs qui les decrivent dans la theorie physique Loin d'être exterieure et superficielle, la *relation formelle* est donc capable d'exprimer des *contenus*, porteurs de significations elle est un moyen privilegie, voire meme parfois le seul moyen, d'exprimer ces dernieres C'est de cette maniere qu'un Poincare considerait les «analogies mathematiques»,<sup>38</sup> et un Einstein les «analogies formelles»,<sup>39</sup> qui reviennent, en fait, au meme (les mathematiques sont le «formel» du physicien) Poincare et, un peu plus tard, Einstein n'hésitaient pas a parler d'une «*heuristique du formalisme mathematique*», qui entraîne la pensee physique, precisement parce que ce formalisme, dans les cas envisages par eux, etait informe, et même impregne, des significations physiques qu'il servait a exprimer<sup>40</sup>

Cependant, si la nature et le rôle du formalisme en physique mathematique nous donne quelques indices de ce que l'attention au formel n'est pas exclusive des contenus et des significations, cela ne nous dit pas encore ce que l'on devra

entendre comme étant le propos d'une «épistémologie formelle»

S'agit-il d'étudier les aspects formels de l'épistémologie comme, par exemple, d'autres étudient sous leurs aspects formels telles réalisations dans un domaine d'expression artistique ? Telle, l'analyse critique littéraire se portant sur la forme dans la poésie de Baudelaire ou dans celle de Mallarmé. Mais on peut aussi concevoir une préoccupation pour la forme qui ne vise pas seulement à décrire ou à caractériser des «styles» de travail ou de pensée existants,<sup>41</sup> mais se préoccupe de trouver des formes nouvelles d'expression, ou des manières d'engendrer des contenus nouveaux – voire de nouvelles significations – par une attention privilégiée à la forme, par exemple par l'imposition de *contraintes formelles* pour la réalisation d'une œuvre. Cette tendance est fréquente dans l'art contemporain, en peinture, en musique ou en littérature. Ou encore de pratiquer un travail sur la forme pour y trouver des formes inédites d'expression, comme les exercices de l'*Oulipo*,<sup>42</sup> imposant à l'écriture littéraire ou poétique des contraintes formelles<sup>43</sup> qui produisent des innovations esthétiques et des effets de sens)

La *reflexion épistémologique* porte en partie sur des formes, et revêt elle-même des formes qui tiennent à ses modes d'approche et qui sont reliées, de manière sans doute plus directe et contraignante que les formes esthétiques, à des questions de sens – un sens existant préalablement, mais non nécessairement déjà donné, et qu'il s'agit, précisément, de mettre au jour sous les faits et les apparences. Elle n'est pas, assurément, création libre de forme, étude critique par une pensée d'un «objet» existant en dehors d'elle, à savoir la connaissance scientifique, elle a ceci en commun avec cette dernière que son objet existe en dehors d'elle, et porte des contraintes qui tiennent à cette extériorité. Or, précisément, l'extériorité de l'objet de la connaissance scientifique – y compris les mathématiques

– est ce a quoi l'on est en droit de renvoyer principalement les contraintes formelles de ses representations ? Peut-il en aller de meme, a quelque degre, avec cette connaissance reflexive de la science qu'est l'epistemologie ? Nous laisserons de cote, pour l'instant (par choix de methode, comme on separe par une decision programmatique et «de convention» l'objet et le sujet), la question des contraintes formelles éventuellement imposees en outre par les structures gnoseologiques du sujet connaissant

Une «epistemologie formelle» doit, en quelque sorte, être en connivence avec son objet, ce qui exclut tout jeu sur des formalismes qui seraient etrangers a ce dernier, ou toute identification avec un formalisme qui ne serait pas directement pertinent (ce qui pose deja la question des algorithmes et des exercices de pensee avec des modeles arbitraires) Elle peut aussi bien se porter sur l'etude des *formes* (et des *formalismes*) qui caracterisent les connaissances scientifiques que sur celle des operations par lesquelles ces formes sont etablies (operations que nous avons appelées *epistemiques*) Cela etant, la marge reste encore grande pour definir la, ou les, maniere(s) de la pratiquer, ce qui est d'ailleurs un avantage il reste *a priori* possible de choisir la maniere qui nous paraît la plus feconde ou la plus respectueuse de l'objet que l'on a en vue, c'est-a-dire la plus adequate au but poursuivi

Par ailleurs, *formel* ne se confond pas avec *quantifie*, comme la mathematisation des grandeurs physiques elle-meme nous en informe, en nous invitant a distinguer, dans les consequences de cette mathematisation, le *qualitatif* – entendu au sens moderne, et non a celui d'Aristote et de la scolastique –, dans la *disposition* et l'*ordre de grandeur*, qui refletent l'*idee* conceptuelle, et la *quantite*, dont les renseignements sont d'une autre nature <sup>41</sup> Et encore, *formalisation* ne veut pas dire schematisation – de même que decrire theoriquement la forme d'un animal n'est pas le reduire a son squelette –, mais concerne le fait et la

façon de *prendre une forme*. La question de la *forme* sous laquelle se présente *le fait* de la connaissance scientifique et des sciences particulières, constituées et se constituant, laisse voir que la forme a à voir avec *l'intelligibilité*

Quelle intelligibilité telle connaissance scientifique donne-t-elle dans la forme qu'elle prend ? Par ailleurs, s'il existe une relation étroite entre *forme* et *structure*, il apparaît également souhaitable de distinguer les deux, *forme* étant plus déliée, élastique et maniable que *structure*<sup>45</sup>. La forme est l'expression de la structure, mais pour une part seulement elle exprime d'autres traits, compatibles avec elle. D'autre part, un même ensemble de connaissances peut revêtir des formes différentes, et l'on peut se demander s'il y correspond des intelligibilités différentes. Cette question, liée à celle des «interprétations», apparaît en fait fondamentale. On peut y voir l'une des articulations-clés d'une «épistémologie formelle».

«Épistémologie de la connaissance formelle», «épistémologie de la forme», «épistémologie formelle». Cette approche métascientifique de la fonction de la forme dans la connaissance peut être vue comme une méthodologie par son parti-pris heuristique. Reste à savoir dans quelle mesure elle peut prétendre mettre au jour des normes de raisonnement, par exemple de conceptualisation, susceptibles de reproduire ou d'anticiper des *inventions* (qui sont précisément des *inventions de formes*). Cela n'est pas évident *a priori* étant donné ce que nous savons jusqu'ici de la compréhension et de la création de concepts. Repenser un concept, c'est d'une certaine manière le recréer, et cela se produit dans l'unité d'une pensée singulière, subjective – considérant ici la subjectivité en tant qu'elle est le lieu des actes de raison.

Ces raisonnements créateurs de formes neuves ne mettent pas en œuvre que des règles, dénombrables et dont on pourrait dresser une typologie, mais s'inscrivent à l'intérieur d'une conscience qui mobilise, dans les actes de l'entendement, bien

d'autres instances que les seuls elements identifiés des questions a resoudre Par ces autres instances, on n'entendra pas tant la psychologie ou la sociologie, dont on doit s'abstraire dans la consideration du formel qui nous occupe ici – c'est une regle a respecter en epistemologie egalement quand on s'attache aux contenus scientifiques des concepts et des theories –, que des facteurs non explicites et d'ailleurs generalement non conscients, qui participent aussi de l'economie des actes de raison <sup>46</sup>

Nous sommes par la amenes a situer l'*epistemologie formelle* et les *operations epistemiques* par rapport aux *jugements* et aux *decisions* (ou aux *choix*) poses par le sujet de la connaissance, en tant qu'il est *sujet epistemique*, et donc a preciser ce qu'il reste du sujet – lieu unique de l'intelligibilite – pour une connaissance «objective» qui veut abstraire par principe la singularite du subjectif en se voulant seulement *operation*, *processus* et *contenu*, «sans sujet» Si c'est par des *actes de creation et de jugement* que la connaissance s'etablit, s'evalue, se communique, un *sujet* comme *centre de ces actes* est indeniablement requis par une epistemologie, même formelle Sans quoi la connaissance porterait sur *des contenus sans l'intelligibilite* ou, au mieux, selon une intelligibilite anonyme et abstraite mais on est en droit de se demander si la notion même de *contenu* serait alors seulement concevable Un contenu de connaissance pourrait-il etre seulement schematique ?

La presence en filigrane d'un sujet se revele sous quelques elements qui, en amont comme en aval de toute connaissance, qualifient les conditions, les effets ou les modalites de ces actes Nous ne faisons ici que les mentionner, et leur etude appartient a l'epistemologie dans le sens general, structural ou historique conditions de possibilite,<sup>47</sup> champs de rationalite, styles, programmes, intelligibilite, intuition <sup>48</sup> La difference, ici, entre l'epistemologie formelle et l'epistemologie dans le sens general est que, si la seconde les prend comme objets de son

étude, la première en tiendra seulement compte comme un donne conditionnant qu'elle prétend transcender ou, plus exactement, par rapport auquel elle se situe en recherchant des «invariants» structurels

## 5 Objet et convention

L'examen d'opérations épistémiques amène, comme le fait, de son côté, l'épistémologie dans le sens courant, à déceler, dans les opérations de connaissance, une part préliminaire d'organisation par l'entendement, qui «prépare» l'objet de connaissance, ou plutôt les conditions de l'identification de ce dernier<sup>49</sup>

L'ensemble des sciences, exactes, de la nature ou sociales, ont aujourd'hui conscience de la nécessité d'une *critique de la notion d'objet*, en particulier par la prise en compte de ce que cet *objet* est défini par une séparation d'avec le *sujet* qui le pose. La critique de la notion d'objet entraîne, corrélativement, celle de la notion d'*objectivité*. D'une part, il n'est pas d'objet qui soit désigné en-dehors d'un *acte mental* ou d'une *intention du sujet*. D'autre part, tout objet est défini par sa *distinction* ou sa séparation *d'avec un fond* sur lequel il se détache. On sait aussi que toute science est tenue de ne pas se limiter, quant à la conceptualisation de ses objets, aux caractères que leur affecte le *sens commun*. Ici encore, la physique quantique a permis de tirer des leçons particulièrement précises, auxquelles nous renvoyons sans pouvoir les détailler.<sup>50</sup>

On a souvent voulu voir une «desontologisation» des sciences dans la transformation d'*objets* en *relations*, caractéristique des *mathématiques*, surtout depuis leur abandon d'une conception unique de la géométrie, mais aussi de la *physique* des lors que la théorie physique est mathématisée et prend même, comme elle le fait de plus en plus, la forme d'une physique mathématique. Mais la notion d'*objet* n'est pas abolie dans



celle de simple *relation*. Qui dit, en effet, relations dit *elements* entre lesquels jouent ces relations pour relier, il faut bien *quelque chose* – disons des «elements» – *a relier*, même si la nature de tels «elements» est problematique. Du moins sont-ils les «objets» de la relation, et c'est ainsi que l'on tend désormais a concevoir la notion même d'objet, en mathematiques, mais aussi bien en physique.

Il est vrai, cependant, que le mouvement de mise en relation progressant avec la formalisation et l'abstraction des theories, les *elements* mêmes ou «objets» des relations se transforment a leur tour en d'autres *relations*, au moins pour une part. Les *elements* peuvent etre, et sont, en verite, dans une theorie mathematique ou physique «complete» même au sens faible évoque plus haut, *donnes dans et par la relation* elle-meme. Mais, dans la mesure ou le systeme de ces relations n'est pas transparent ou tautologique, il exprime un contenu structure «qui resiste» a la dissolution dans le «relationnel pur» (encore faudrait-il preciser ce qu'on entend par la – par exemple, des rapports simples). L'exemple, a premiere vue elementaire, du systeme des nombres entiers, peut immediatement faire voir cette complexite des relations. Même en engendrant l'ensemble des nombres entiers a partir de 1 par *repetition* de l'*addition* d'une unite, on ne peut connaître a l'avance toutes leurs proprietes, par exemple lesquels sont des nombres premiers et les relations entre ceux-ci (comme le grand theoreme de Fermat). Mais c'est aussi que la *repetition* d'*additions* elementaires dans la relation generatrice implique que l'on traite non seulement de nombres mais de nombres d'operateurs sur ces nombres, et que le mode d'engendrement n'etait simple qu'en apparence.

La physique fournit aussi de bons exemples. Prenons le concept de champ, une fois debarrasse par la theorie de la relativite restreinte du support «materiel» ou «objectal» de l'ether – il n'est defini physiquement que par les equations de

champ Ou encore l'indiscernabilité des systèmes ou «particules» quantiques identiques, qui définit en même temps la relation et l'objet de cette relation, et les symétries des particules élémentaires qui déterminent celles-ci dans leurs relations entre elles à travers leurs champs d'interaction (champs de jauge) <sup>51</sup>

Peut-être serait-il alors plus juste de dire que c'est *ce relationnel même* qui est devenu «aussi concret que du réel». Si la transformation toujours possible d'éléments en d'autres, plus relationnels, relativise leur nature «objectale», il reste que leur relation étroite entre eux se présente elle-même en fin de compte comme ayant tous les caractères de ce que l'on conçoit comme un «objet», doué d'une consistance propre. Un noyau de relations de structure étroitement tissé ne laisse rien à désirer à la notion d'objet, une fois celle-ci débarrassée des «substances» des anciennes métaphysiques. L'objet, mathématique ou physique (et, par extension, chimique, biologique), perd ainsi sa relation traditionnelle avec une perspective directement ontologique. La catégorie d'«être» à son propos est, sinon effacée, du moins mise à distance par les médiations relationnelles. Mais les prédicats d'existence, quant à eux, demeurent, leurs critères étant de nature épistémologique.

Les ambiguïtés du mot «ontologie» ne justifient donc pas d'abandonner la notion d'«objet». D'ailleurs, une représentation ou une théorie est toujours représentation ou théorie *de quelque chose* par définition, ce «quelque chose», dont la nécessité est ici d'ordre logique, est l'objet, que désigne cette théorie. En ayant déjà orienté la représentation ou la théorie en question, on a qualifié d'une certaine manière cet objet. Il est clair que c'est par *un acte de la pensée* que nous l'avons ainsi désigné pour être décrit par la représentation ou la théorie. Il y a, dans cet acte, un *choix*, qui le sépare du «reste», et ce choix, qui indique un programme, comporte une part de *convention*, que l'objet porte donc avec lui. La conception de *l'objectivité*

en reçoit corrélativement l'effet elle n'est pas seulement *donnée* (par l'entraînement de l'objet sur la pensée), mais *décidée* (selon certaines normes ou conditions) et *construite* (en relation à nos choix pour établir l'objet)

La convention choisie dépend des concepts et du système théorique qui les tisse entre eux pour décrire l'objet. Elle est relative à ce système, et des conventions alternatives sont pensables, qui ne portent pas seulement sur la théorie, mais sur l'ensemble des éléments de signification qui inscrivent la théorie dans une certaine intelligibilité, dont les critères sont eux-mêmes en partie méta-théoriques. Il importe d'étudier de manière précise le jeu de ces deux notions, *objet* et *convention*, qui appellent des exigences de nature différente en relation aux types de théories représentatives que l'on peut considérer.

Nous n'en dirons encore ici que quelques mots. On croit souvent la mécanique quantique d'avoir éliminé la notion d'objet, du moins en tant que ce dernier serait pensé indépendamment de tout acte d'observation et de conceptualisation et préexisterait à de tels actes. Il est certain – et communément admis, en fait, comme nous l'avons dit, bien au-delà de la physique quantique – que l'objet n'est tel que parce qu'une opération de l'esprit l'a séparé du reste, ou a préparé les conditions de sa séparation. Mais cette «condition de possibilité» de la pensée de l'objet n'épuise pas la description que l'on peut en faire. Au contraire, elle la rend possible et ouvre le champ de sa réalisation.

On peut considérer, à ce propos, que le problème propre à la *mécanique quantique* est celui de la nature des actes – de pensée et d'opérations – requis pour accéder à la description de l'objet, ou, plus exactement, de son *état*. J'ai tenté ailleurs – et ne peux m'y étendre ici – de montrer, dans cette perspective, que les systèmes quantiques et leurs états peuvent être conçus en termes d'*objets* doués de *propriétés*, moyennant une extension de sens, déjà réalisée dans la compréhension prati-

que des physiciens, mais non encore explicitement admise, des notions de *grandeur physique* et de *fonction d'état* pour un système décrit par ces grandeurs, au-delà de leur acception usuelle de *quantité à valeur directement numérique*. Je noterai encore seulement que l'on pourrait retrouver, en amont de la physique quantique, des circonstances où les «objets», représentés par des grandeurs abstraites, avaient déjà perdu les qualités habituellement attribuées par le sens commun (déjà l'onde lumineuse, répandue dans tout l'espace, ou le champ sans le support de l'éther, évoqué ci-dessus). Observons encore que la notion de fonction d'état, qui intervient déjà dans la mécanique de Hamilton, fut suscitée chez ce dernier par l'optique et par l'application d'un principe de minimisation – autre opération épistémique qui renvoie à une origine plus lointaine –, en mécanique comme en optique, à savoir le principe de moindre action.

Reste, du moins, ceci : on a su construire une représentation qui peut être dite correspondre à un genre d'objet, sans en connaître pour autant la justification profonde – sinon le fait qu'elle est opératoire (J'entends par là qu'elle suffit à tout ce dont on a besoin pour décrire l'objet et les phénomènes qui se rapportent à lui). Mais ce que nous savons, c'est que les difficultés épistémologiques éventuelles résident plutôt au niveau de l'*outil* – conceptuel et théorique –, que de la nature de l'*objet* dont la théorie nous importe. En fait, l'*outil* a été ajusté en fonction de l'objet qu'il devait nous donner à voir – non pas directement, mais par la construction, grâce à sa médiation, d'une théorie apte à le représenter.

L'*outil opératoire* qu'est la règle, ou l'algorithme, quantique a été forgé et mis au point par adaptation à la nécessité de représenter un monde cohérent d'objets – le monde des objets quantiques – capable de rendre compte des phénomènes quantiques. L'*outil* et les éléments de la représentation sont – par la logique de leur fabrication – faits d'une même étoffe. Et le

formalisme des fonctions d'état définies dans des espaces de Hilbert et des operateurs agissant sur elles, pour représenter des systèmes quantiques, s'accompagne de sa règle, par construction. Mais à leur niveau, dans le jeu de relations de leur monde, les «objet» que désignent ces fonctions d'état – c'est-à-dire les systèmes quantiques – n'ont pas besoin, pour être pensés, d'être à chaque instant rapportés à l'outil qui après les avoir construits les détecte, c'est-à-dire à la règle, en termes de probabilités et de réduction. Ils sont de fait pensés selon ce qui les désigne, c'est-à-dire le formalisme théorique lui-même.<sup>53</sup> En un sens, la question de la nature de l'outil ne se rapporte pas tant à l'objet quantique représenté, qu'au rapport entre la représentation quantique et la représentation classique adaptée aux dispositifs des expériences.<sup>54</sup>

Ces remarques laissent entendre un mouvement pour ainsi dire inverse de la «*syntaxisation progressive de la sémantique*», par laquelle on exprime, dans les termes d'une philosophie du langage, la mathématisation du contenu physique, ou la transformation de l'objet dans la relation.<sup>55</sup> Si l'on considère l'évolution effective de la question de l'interprétation de la mécanique quantique, depuis les premiers débats, suivis d'une familiarisation acquise dans ce domaine, et jusqu'aux connaissances récentes et aux réinterprétations que l'on peut formuler, il est possible de parler d'une *sémantisation de la syntaxe*. La description des systèmes physiques quantiques n'était conçue auparavant que selon des opérations, alors qu'elle peut être donnée désormais, selon ce que nous venons de suggérer, en termes de systèmes physiques, conçus comme des *objets ayant des propriétés* (moyennant, certes, des transformations dans nos définitions des grandeurs servant à les décrire).

La «syntaxe» précédente restait extérieure au contenu physique proprement dit, puisqu'elle se cantonnait aux moyens formels de la description, sans se prononcer sur l'existence physique de ces systèmes. Faire aboutir pleinement

le programme de *semantisation de la theorie* serait formuler la theorie quantique comme la theorie d'une categorie d'objets physiques et de leurs proprietes. Ce serait une tache necessaire avant de repartir vers de nouvelles syntaxisations proprement physiques. (Il faudrait pouvoir remplacer la formulation axiomatique a la von Neumann,<sup>56</sup> en termes de regles d'utilisation du formalisme, par une formulation axiomatique en termes de proprietes physiques concernant le niveau quantique)

## 6 Algorithme et réduction naturaliste de la représentation

La notion d'*operation epistemique* pose naturellement le probleme de savoir dans quelle mesure de telles operations peuvent être algorithmiques. On peut le concevoir quand il s'agit d'operations simples du travail scientifique, comme le cas mentionne plus haut d'une recherche d'invariants, par exemple. Encore que, si l'on peut concevoir algorithmiquement un invariant deja connu, il ne soit pas evident de concevoir un algorithme pour la recherche d'invariants. Pour des operations complexes portant sur l'acquisition de connaissances plus detaillees, la reponse est autrement delicate, et sur cette possibilite les avis different. Les adeptes de l'intelligence artificielle repondront volontiers par l'affirmative. A terme, selon eux, toutes les operations cognitives, y compris l'invention scientifique, pourront être reconstituees. Ils nous en proposent deja de nombreux modeles pour des situations relativement simples, en en proclamant l'evidente necessite de principe dans tous les cas, et renvoient les sceptiques a l'ancien et archaique dualisme de la matiere et de l'esprit.<sup>57</sup> Le cerveau, disent-ils, est-il autre chose qu'une machine ?

On peut, certes, juger que cette question a, par un certain cote, des antecedents. La recherche cartésienne d'une methode pour parvenir a une connaissance certaine, ou celle, leibnizienne, d'une caracteristique universelle permettant de formu-

ler en un langage unique et parfaitement logique la totalite des connaissances, et meme le parti pris de demonstration *more geometrico* des propositions de l'*Ethique* chez Spinoza, pour ne pas remonter a Aristote, temoignent pour la permanence d'une preoccupacion assez voisine en philosophie, du moins quant a la possibilite d'un algorithme puissant susceptible de fonder et de rassembler et d'organiser les connaissances «vraies». Ce desir de synthese par une unite formelle n'etait pas necessairement reducteur il etait protege, chez Descartes, par le dualisme de la matiere agie et de l'esprit pensant, et le monisme spinozien laissait toute leur place aux specificites des diverses sciences. La tendance paraît tout autre dans le cas de la conception moderne du cerveau comme machine il n'y est pas seulement question, en effet, d'un algorithme de la representation, qui en resterait a l'interieur de cette derniere, mais de sa reduction naturaliste<sup>55</sup> – sur laquelle nous ne pouvons nous etendre ici.

La revendication d'algorithmes pour la connaissance scientifique a pu se trouver renforcee en notre temps par les conceptions logicistes des philosophes des cercles de Vienne et de Berlin<sup>59</sup> et de leurs successeurs, dissidents ou non, jusqu'a la philosophie analytique<sup>60</sup>. Pour les positivistes et empiristes logiques, la science devait engendrer une philosophie pour ainsi dire oblige de la connaissance (la «philosophie scientifique», exprimee et soutenue par Hans Reichenbach<sup>61</sup>), entee sur le donne de l'experience pris pour reference fondamentale. La recherche, avec Rudolf Carnap d'une logique de l'induction, celle-ci fût-elle seulement probabiliste,<sup>62</sup> se fonde sur l'idee que la connaissance peut être ramenee a une regle, valable en tous lieux, voire en tous temps, qu'il s'agirait de decouvrir ce qui est bien penser la connaissance scientifique sur un mode algorithmique. L'affirmation d'une confiance dans la methodologie,<sup>63</sup> et l'idee de la legitimité normative d'une «reconstruction rationnelle» de la connaissance scientifique (Reichenbach, Po-

pper<sup>64</sup>), qui permet de corriger les irrationalités de l'intervention du sujet dans une connaissance à vocation objective, c'est-à-dire, en fait, «sans sujet», vont également dans le même sens

On peut aussi considérer comme un indice ou un effet de cette vue le «troisième monde» popperien des formes de connaissance objective<sup>65</sup> cet univers impersonnel d'idées est supposé être celui de la pure rationalité, débarrassé des affects et du hasard, et même de la matérialité (renvoyés les uns au «second», l'autre au «premier monde») Ce monde de formes créées, sans l'acte de création, tient de la réserve ou du musée un «musée des idées», «virtuel» avant la lettre, ou l'on puise pour formuler d'autres idées, et concevable seulement en relation aux deux autres mondes Cette conception recèle, me semble-t-il, l'idée plutôt platonicienne de purifier le monde des idées par rapport aux instances périssables, matière, chair, affects et sentiments, qui font le sujet individuel, tout en protégeant une logique de la reconstruction qui n'est pas très différente de la fonction algorithmique

Cela dit, on reconnaîtra qu'un algorithme, d'application logique, n'est pas identifiable *per ipse* à une machine, parce qu'il ne se recouvre pas nécessairement avec l'idée de reproduire la totalité des opérations de la connaissance On doit compter encore avec un élargissement de la notion de machine, incluant la possibilité d'apparition de formes ou de propriétés *emergentes*, concernant aussi bien les systèmes matériels que la nouveauté surgie dans l'espace des idées Mais l'invocation d'un algorithme puissant ou d'une machine même aux propriétés organiques pour reproduire ou décrire le processus d'acquisition d'une représentation fondamentalement nouvelle suscite des réserves, sans besoin d'invoquer nul dualisme et en maintenant au contraire une position ontologiquement moniste ces réserves sont du même ordre que celles que l'on oppose au réductionnisme et à une conception natu-



raliste de la connaissance et des valeurs. On peut les émettre sans denier pour autant tout intérêt aux «opérations épistémiques»

Il est possible de concevoir une opération épistémique à l'origine d'un algorithme, tel que les invariants considérés plus haut ou – autre exemple – le calcul différentiel leibnizien et, une fois l'algorithme inventé, de réorganiser ou de reconstituer avec son aide toutes les propriétés, connues ou prédictibles, d'une représentation dans un référentiel de significations choisies. L'algorithme peut manifester sa fécondité dans la résolution de problèmes multiples, voire contribuer à poser de nouveaux problèmes et à les résoudre. Mais peut-il faire jaillir, par lui-même, une propriété ou une connaissance qualitativement nouvelles ? Cela ne paraît logiquement possible que si l'algorithme contient en lui-même cette rupture par rapport à ses antécédents qui fait le neuf. Mais ne sera-t-on pas sorti, dès lors du cadre balisé des «opérations épistémiques» formulables ?

La machine à produire du «conceptuellement neuf» reste, à notre connaissance, encore à inventer. Cela étant, doit-on considérer une telle éventualité comme absolument impensable pour le futur ? La question, à laquelle l'«intelligence artificielle», voudrait donner une réponse positive, dépend de ce que l'on peut appeler «qualitativement nouveau» cette caractéristique échappe, à tout le moins, au contenu proprement dit – c'est-à-dire interne –, d'une connaissance, se rapportant à son cadre de pensée et se situant dans l'univers des significations. Il est difficile d'imaginer l'existence, ou même seulement la possibilité, d'une «machine à faire du sens», dans l'acception commune de ces termes, du moins sans une pensée qui soit à l'origine de ce sens ou qui puisse le «lire».

L'évaluation des concepts et de leur éventuel caractère de nouveauté est de l'ordre de la signification, et c'est, jusqu'à nouvel ordre, la pensée humaine, fruit d'un cerveau insépara-

ble d'un corps et d'une pratique de vie, s'imposant à elle-même des buts, par volonté ou par desirs, qui impose ses significations à la machine. Une « machine à faire du sens » devrait posséder ces propriétés-là, et assurément d'autres encore, incluant les sentiments et la psychologie. Une telle machine ressemblerait alors étonnamment à l'homme en société, dont la mise au point par la nature résulte d'une très longue – et peut-être improbable – histoire et dont l'origine se perd dans la nuit des temps. L'histoire des maturations, des renouvellements, des transmissions et des échanges, résultant de la diversification du phylum humain, social et culturel, et du hasard des accidents.

En sorte que la question de fond se ramène à celle-ci : est-il possible de penser un algorithme capable d'engendrer, pour la connaissance, une signification différente de celles qui nous sont disponibles mais qui puisse nous apparaître tout aussi légitime, voire plus certaine ? Il semble que l'on entre, avec ce type de problèmes, dans une chaîne sans fin d'implications et une multiplicité infinie de voies ouvertes que la machine aura grand mal à résoudre. La pensée humaine, au contraire, qui est certes issue de la matière, ne calcule pas toutes les possibilités comme la machine mais coupe à travers les combinaisons offertes et fait des choix bien avant d'avoir épuisé toutes les possibilités.<sup>66</sup> Elle pose, tout simplement, la signification qui lui fait apparaître – selon son jugement, qui n'est peut-être subjectif qu'en un certain sens – la clarté soudaine d'une intelligibilité. Celle-ci, qu'elle soit évidence cartésienne, connaissance du troisième genre spinozienne, illumination de l'intuition pour Poincaré, Einstein et d'autres penseurs contemporains, semble destinée à échapper durablement à la description réductrice. C'est que cette intelligibilité doit faire appel, si elle veut se fonder, à d'autres dans une chaîne régressive sans fin, telles les considérations pascaliennes sur la situation de l'intelligence de l'homme dans le monde, s'appuyant sur des raisons qu'il croit

comprendre d'expérience mais qui, s'il les interroge, se re-  
velent un puits sans fond <sup>67</sup>

## Références

- Ashtekhar, A 1983 «Non Perturbative Quantum Gravity A Status Report», in Cerdonio, M & Rianci, R (eds), *General Relativity and Gravitation* Singapore World Scientific (1989)
- Audouze, J, Musset, P et Paty, M (eds) 1990 *Les particules et l'univers* Paris Presses Universitaires de France
- Bailly, F [a paraître a] «About the Emergence of Invariants in Physics From 'Substantial' conservatin to Formal Invariance», in Mugur-Schachter & Van der Merwe [a paraître]
- [a paraître, b] «Remarks about the Program for a Formal Epistemology», in Mugur-Schachter & Van der Merwe [a paraître]
- Barnes, B et Bloor, D 1982 «Relativism, Rationalism and the sociology of Knowledge», in Hollis, Luckes 1982 21-47
- Bell, J S 1987 *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics* Cambridge Cambridge University Press
- Brown, L M, Pais, A et Pippard, B (eds) 1995 *Twentieth Century Physics*, 3 vols New York Philadelphia Institute of Physics
- Bunge, M 1973 *Philosophy of Physics* Dorbrecht Reidel, tr fr, *Philosophie de la physique* Paris Seuil (1975)
- 1983 *Epistemologie* Paris Maloine
- Carnap, R 1934 *Die Aufgabe der Wissenschaftslogik* Wien Trad fr, *Le probleme de la logique de la science* Paris Hermann (1935)
- 1950 *Logical Foundations of Probability* Chicago Chicago University Press
- 1966 *Philosophical Foundations of Physics* New York Basic books Trad angl Luccioni, J-J et Soulez, A *Les fonde-*

- ments philosophiques de la physique Paris Armand Colin (1973)
- Cassirer, E 1910 *Substanzbegriff und Funktionsbegriff* Berlin Bruno Cassirer Trad angl, *Substance and Function*, in Cassirer 1923 (ed 1953) 1–346
- 1923 *Substance and Function and Einstein's Theory of Relativity* Trad angl, Swabey, W C et Swabey, M C Chicago Open Court, New York Dover (1953)
- 1923–1929 *Philosophie der symbolischen Formen*, 3 vols, Berlin, 1923, 1925, 1929) Trad fr, Hansen-Love, O et Lacoste, J *La philosophie des formes symboliques* Paris Minuit
- Changeux, J-P 1983 *L'homme neuronal* Paris Fayard
- Changeux, J-P et Ricoeur, P 1997 *La nature et la règle Ce qui nous fait penser* Paris Odile Jacob
- Cohen, R S, Horne, M et Stachel, J (eds) 1997a *Experimental Metaphysics Quantum Mechanical Studies for Abner Shimony, Vol 1* Dordrecht Kluwer
- 1997b *Potentiality, Entanglement and Passion-at-a-Distance Quantum Mechanical Studies for Abner Shimony, Vol 2* Dordrecht Kluwer
- Cupani, A 1999 «Julgamento Científico e Racionalidade», in Dutra, L H de A (ed), *Nos Limites da Epistemologia Analítica* Florianópolis NEL 139–59
- Damasio, A R 1994 *Descartes' error Emotion, Reason, and the Human Brain*, A Grosset Trad fr, Blanc, M, *L'erreur de Descartes La raison des émotions* Paris Odile Jacob (1995)
- Dirac, P A M 1930 *The Principles of Quantum Mechanics* Oxford Clarendon Press, 4th ed, rev, 1958, 1981
- Einstein, A 1912 «Spezielle Relativitätstheorie» (Manuscript on the Spacial Theory of Relativity, en allemand, non publié en raison de la guerre, préparé en 1912 pour le *Handbuch der Radiologie*, Erich Marx, ed, Leipzig Manuscrit de 72 p, copie aux archives Einstein), in Einstein 1987–1998], vol 4 3–108

- 1987–1998 *The Collected Papers of Albert Einstein*, Edited by J Stachel, M Klein et al , Princeton, N J Princeton University Press (8 vols parus)
- 1989–1993 *Oeuvres choisies*, Trad fr par le groupe de trad de l'ENS Fontenay-St-Cloud et al , édition publiée sous la dir de Françoise Balibar Seul/ed du CNRS, Paris, 6 vols , 1989–1993
- Einstein, A , Lorentz, H A , Minkowski, H , Weyl, H 1922 *Das relativitätsprinzip* (1ere ed partielle, 1913), ed par Arnold Sommerfeld, 4 eme ed Leipzig Teubner Trad angl sur la 4 eme edition allemande, par Perrett, W et Jeffery, G B *The principle of relativity* Londres Methuen (1923), New York Dover (1952)
- Einstein, A , Podolsky, B et Rosen, N 1935 «Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete? *Physical Review*, ser 2, XLVII, 1935 777–780 Trad fr , «Peut-on considerer que la mecanique quantique donne de la réalite physique une description complete ?» in Einstein 1989–1993, vol 1 224–230
- d'Espagnat, B 1994 *Le reel voile Analyse des concepts quantiques* Paris Fayard
- Focillon, H 1981 *La vie des formes*, suivi de *L'eloge de la main* Paris Presses Universitaires de France , réimpr , 1990
- Foucault, M 1969 *L'archeologie du savoir*, Paris Gallimard
- Granger, G -G 1968 *Essai d'une philosophie du style* Paris Armand Colin , ed revue, Paris Odile Jacob (1988)
- 1988 *Pour la connaissance philosophique* Paris Odile Jacob
- 1994 *Formes, operations, objets* Paris Vrin
- 1995 *Le probable, le possible et le virtuel* Paris Odile Jacob
- Hadamard, J 1945 *An Essay on the Psychology of Invention in the Mathematical Field* Princeton, N J Princeton University Press Trad fr , Hadamard, J *Essai sur la psychologie de l'invention dans le domaine mathematique* Paris Gauthier-Villars (1975)

- Hahn, H , Neurath, O , Carnap, R 1929 *Wissenschaftliche Weltauffassung der Wiener Kreis*, Wien 1929 Reproduit in Neurath 1979 81-101 (Voir Wiener Kreis )
- Hamilton, W R 1834 «On a General Method in Dynamics» *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1934 , repr in Hamilton 1931-1967, vol 2  
 — 1931-1967 *The Mathematical Papers of Sir W R H* , 3 vols Cambridge Cambridge University Press
- Jeffrey, R C 1980 *Studies in Inductive Logic and Probabilities*, 2 vols , Berkeley University of California Press
- Kant, I 1781, 1787 *Critik der reinen Vernunft*, J F Hartknoch, Riga, 1781, 2e ed , modifiée, 1787 Trad fr , Delamarre, A J L et Marty, F *Critique de la raison pure*, in Kant, E , *Oeuvres philosophiques*, vol 1 Paris Gallimard (1980) 705-1470
- Kouneïher, J 1998 *Epistemologie et histoire recente de la gravitation quantique*, These de doctorat en epistemologie et histoire des sciences, Universite Paris 7-Denis Diderot, 17 12 1998
- Lagrange, J L 1788 *Mecanique analytique*, Paris Desaint , 2eme ed , 1811 , 3eme ed , Paris Joseph Bertrand, 1953 Repris in *Oeuvres Completes de Lagrange*, publiees par J A Serret et G Darboux, Paris, Gauthier-Villars, tomes 11 et 12, 1889
- Lakatos, I 1978 *Philosophical Papers, vol 1 The Methodology of Scientific Research Programmes*, ed par J Worrall et G Currie Cambridge Cambridge University Press
- Lakatos, I & Musgrave, A (eds) 1970 *Criticism and the Growth of Knowledge Proceedings of the International Colloquium in the Philosophy of Science, Londres, 1965*, vol 4 Cambridge Cambridge University Press
- Lalande, A 1980 *Vocabulaire technique et critique de la philosophie* (1926), 13e ed Paris Presses Universitaires de France, 1980 Articles Cause, Formalisme, Forme, Formel

- Langevin, P 1911a «L'évolution de l'espace et du temps» *Scientia* (Bologna) 10 31-54 (conference au Congrès de philosophie de Bologne, 1911) Repris in Langevin 1923 265-300
- 1911b «Le temps, l'espace et la causalité dans la physique moderne» *Bulletin de la Société française de philosophie*, 12 1-46 Repris in Langevin 1923 301-344
- 1923 *La physique depuis vingt ans* Paris Doin
- Levi-Strauss, C 1958 *Anthropologie structurale* Paris Plon
- Margenau, H 1978 *Physics and Philosophy Selected Essays*, Dordrecht Reidel
- Minkowski, H 1907 «Das Relativitätsprinzip» (exposé présenté à Göttingen le 5 11 1907, publication posthume, par les soins de A. Sommerfeld), *Annalen der Physik* 47, 1915 927-938
- 1908 «Raum und Zeit» (exposé présenté à la 80<sup>ème</sup> assemblée des scientifiques et médecins allemands, Cologne le 21 9 1908, *Physikalische Zeitschrift* 10, 1909 104-111 Trad angl., «Space and Time», in Einstein et al 1923 73-91
- Mugur-Schachter, M 1993 «From Quantum Mechanics to Universal Structures of conceptualization and Feedback on Quantum Mechanics» *Foundations of Physics* 23 37-122
- 1995 «Une méthode de conceptualisation relativisée vers une épistémologie formelle apte à faire face aux complexités» *Revue Internationale de Systemique* 9 (2) 269-303
- 1996 «Les leçons de la mécanique quantique (vers une épistémologie formelle)», *Le Debat* 94 169-92
- Mugur-Schachter, M et Van der Merwe, A (eds) [à paraître] *From Quantum Mechanics toward a Formalized Epistemology* Dordrecht Kluwer
- Neumann, J von 1932 *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik* Berlin Springer Trad fr., Proca, A *Les fondements mathématiques de la mécanique quantique* Paris Librairie Alcan et Presses Universitaires de France (1947)

- Noether, E 1918a «Invarianten beliebiger Differentialausdrucke» *Nachr von der Konigl Gesellschaft der Wissenschaft zu Gottingen, Math Phys Klasse* 235-257, repris in Noether 1983 240-247
- 1918a «Invariante variationprobleme» *Ibid*, 1918 235-57, repris in Noether 1983 248-70, trad angl, Tavel, M A *Transport Theory and Statistical Physics* 1, 1971 183-207
- 1983 *Collected Papers*, ed par N Jacobson Berlin Springer-Verlag
- Oulipo (Ouvroir de Litterature Potentielle) 1977 *Litterature potentielle creations, re-creations, recreations* Paris Gallimard
- Pascal, B 1657 «De l'esprit geometrique» In Pascal, *Oeuvres completes* Paris Seuil, 1993 348-355
- Paty, M 1986 «La non-separabilité locale et l'objet de la théorie physique» *Fundamenta Scientiae* 7 47-87
- 1988a *La matiere derobee L'appropriation critique de l'objet de la physique contemporaine* Paris Archives contemporaines
- 1988b «Sur la notion de completude d'une theorie physique» In Fleury, N, Joffily, S, Martins Simões, J A et 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) Singapore World scientific publishers 143-164
- 1990 *L'analyse critique des sciences, ou le tetraedre epistemologique* (sciences, philosophie, epistemologie, histoire des sciences) Paris L'Harmattan
- 1992 «L'endoréference d'une science formalisee de la nature» In Dilworth, C (ed), *Intelligibility in science*, Amsterdam Rodopi 73-110
- 1993 *Einstein philosophe La physique comme pratique philosophique* Paris Presses Universitaires de France



- 1994a «Mesure, experience et objet theorique en physique» In Beaune, J -C (ed) *La mesure, instruments et philosophes* Seyssel Champ Vallon 159-174
- 1994b «Le caractere historique de l'adequation des mathematiques a la physique» In Garma, S , Flament, D , Navarro, V (eds) *Contra los titanes de la rutina - Contre les titans de la routine Encuentro en Madrid de investigadores hispano-franceses sobre la historia y la filosofia de la matematica Rencontre a Madrid de chercheurs hispano-français sur l'histoire et la philosophie de la matematica*, 18-22 11 1991], Madrid Comunidad de Madrid/C S I C 401-428
- 1994c «Sur l'histoire du probleme du temps le temps physique et les phenomenes» In Klein, E et Spiro, M (eds), *Le temps et sa fleche* Gif-sur-Yvette Editions Frontieres 21-58
- 1995 «The Nature of Einstein's Objections to the Copenhagen Interpretation of Quantum Mechanics» *Foundations of physics* 25 (1) 183-204
- 1996a «Poincare et le principe de relativite» In Greffe, J -L , Heinzmann, G et Lorenz, K (eds) *Henri Poincare Science et philosophie Science and philosophy Wissenschaft und Philosophie Congres international, Nancy, France, 14-18 mai 1984* Berlin et Paris Akademie Verlag, Albert Blanchard 101-143
- 1996b «Le style d'Einstein, la nature du travail scientifique et le probleme de la decouverte» *Revue philosophique de Louvain* 94 (3) 447-470
- 1997 «Predicate of Existence and Predictivity for a Theoretical Object in Physics» In Agazzi, E (ed) *Realism and Quantum Physics* Amsterdam Rodopi 97-130
- 1998 «Philosophie et physique» In Mattei, J -F (ed) *Le Discours philosophique* (Volume 4 de l'Encyclopedie philosophique universelle ) Paris Presses Universitaires de France 2104-2122

- 1999a «L'universalité de la science Une idée philosophique à l'épreuve de l'histoire» *Mâat Revue Africaine de Philosophie*, 1 (1) 1–26 Version anglaise «Universality of Science Historical Validation of a Philosophical Idea» In Habib, S I et Raina, D (eds) *Situating the history of science Dialogues with Joseph Needham* New Delhi Oxford University Press 303–324
- 1999b «La place des principes dans la physique mathématique au sens de Poincaré» In Sebestik, J et Soulez, A (eds) *Actes du Colloque France–Autriche Paris, mai 1995, Interférences et transformations dans la philosophie française et autrichienne (Mach, Poincaré, Duhem, Boltzmann)* *Fundamenta philosophiæ* (Nancy) 3 (2) 61–74
- 1999c «Cosmologie et matière quantique» In Seidengart, J et Szczeciniarz, J-J (eds) *Cosmologie et philosophie En hommage à Jacques Merleau-Ponty, Épistemologiques* (Paris, São Paulo) 1 (1–2)
- 1999d «Interprétations et significations en physique quantique» *Revue Internationale de philosophie*, sous presse
- 1999e «La création scientifique selon Poincaré et Einstein» In Serfati, M (éd) *La recherche de la vérité* Paris Editions ACL 239–78
- 1999f «Paul Langevin (1872–1946), la relativité et les quanta» *Bulletin de la Société Française de Physique* 119 15–20
- 1999g «Langevin, Poincaré et Einstein» in *Paul Langevin, son œuvre et sa pensée, Épistemologiques Philosophie, sciences, histoire* (Paris, São Paulo), 3–4, sous presse
- 1999h «Are Quantum Systems Physical Objects with Physical Properties ?» *European Journal of Physics*
- [a paraître, a] «The Concept of Quantum State New Views on Old Phenomena» In Cohen, R S et Renn, J (ed) *John Stachel Festschrift Boston Studies in the Philosophy and History of science* Dordrecht Kluwer

- [a paraître, b] «The Quantum and the Classical Domains as (Provisional) Parallel Coexistents» *Synthese* 20, 2000
- [a paraître, c] «The Idea of Quantity at the Origin of the Legitimacy of Mathematization in Physics» In Gould, C (ed) *Conference on the philosophy of Marx Wartofsky* New York New School University Version française «La notion de grandeur et la légitimité de la mathématisation en physique» *Deuxième Journée de Philosophie des Sciences Jean Largeault*, Universités de Paris–Sorbonne (Paris–4), Paris 1–Panthéon–Sorbonne, Marc Bloch–Strasbourg–2 et Institut Universitaire de France, Vendredi 7 Mai 1999
- [a paraître, d] «L’analogie mathématique au sens de Poincaré et sa fonction en physique» In Durand–Richard, M–J (ed) *Le statut de l’analogie dans la démarche scientifique* Paris Editions du CNRS
- [a paraître, e] *Einstein, les quanta et le réel Critique et construction théorique* Paris
- Perc, G 1969 *La disparition* Paris Denoel, 1969 Paris Gallimard, 1989
- Poincaré, H 1897 «Sur les rapports de l’analyse pure et de la physique mathématique» *Acta mathematica* 21 331–341 Reprise dans Poincaré 1991 17–30 Egalement paru, avec des modifications, sous le titre «Les rapports de l’analyse et de la physique mathématique» *Revue générale des sciences pures et appliquées* 8 (1897) 857–861 Repris dans Poincaré 1905, chapitre 5 «L’analyse et la physique», (ed 1970) 103–113
- 1905b «Sur la dynamique de l’électron (adunanza del 23 luglio 1905 reçu le 23 juillet 1905)» *Rendiconti del Circolo matematico di Palermo XXI* (1906) 129–176 Egalement in Poincaré 1950–1965, vol 9 494–550
- 1908a *Science et méthode* Paris Flammarion

- 1908b «Le choix des faits» *The Monist* (1909) 231–232  
Publie dans Poincare 1908a, livre 1, chap 1 (ed 1918) 16–18
- 1912 «L'espace et le temps» *Scientia* vol XXV 159–170  
(Conference faite le 4 mai 1912 a l'Universite de Londres)  
Egalement in Poincare 1913 (ed 1963) 97–109
- 1913 *Dernieres pensees* Paris Flammarion Reed 1963
- 1950–1965 *Oeuvres* Paris Gauthier–Villars, 11 vols ,  
1950–1965
- 1991 *L'analyse et la recherche* (Choix de textes et introduction de Girolamo Ramunni ) Paris Hermann
- Popper, K 1935 *Logik der Forschung Zur Erkenntnisstheorie der modernen Naturwissenschaft* Wien Springer Verlag, 1934  
(Re-ed avec additions, 1966) Trad engl , *The logic of scientific discovery*, 1968 Trad fr , Thyssen-Rutten, N et Devaux, F *La logique de la decouverte scientifique* Paris Payot, 1973
- 1972 *Objective Knowledge, an Avolutionary Approach* Oxford Clarendon Press Trad fr , Bastyns, C , *La connaissance objective* Bruxelles Complexe, 1978 (La traduction française ne comporte que les trois premiers chapitres )
- 1982 *Quantum Theory and the Schism in Physics, from the Postscript to the Logic of dcientific discovery*, vol 3, Londres Hutchinson (Redige en 1956)
- 1983 *Realism and the Aim of Science, from the Postscript to the Logic of scientific discovery*, vol 1, edite par W W Bartley III, Londres Hutchinson (Redige en 1956 ) Trad fr , Boyer, A et Andler, D Paris Hermann, 1990
- Proust, J 1986 *Questions de forme Logique et proposition analytique de Kant a Carnap* Paris Fayard
- Reichenbach, H 1938 *Experience and Prediction* Chicago University of Chicago Press
- 1951 *The Rise of Scientific Philosophy* Berkeley University of California Press, Berkeley (Re-ed 1973 ) Trad fr ,

- L'avenement de la philosophie scientifique* Paris Flammarion, 1955
- 1959 *Modern Philosophy of Science* Maria Reichenbach (ed) Londres Routledge and Kegan Paul
- 1978 *Selected Writings* Robert S Cohen and Maria Reichenbach (eds) 2 vols Dordrecht Reidel
- Ruelle, D 1989 *Chaotic Evolution and Strange Attractors* Cambridge Cambridge University Press
- 1991 *Hasard et chaos* Trad angl, *Chance and chaos* Princeton Princeton University Press
- Shimony, A 1993 *Search for a Naturalistic Worldview* Cambridge Cambridge University Press, Cambridge
- Soulez, A (ed) 1986 *Manifeste du Cercle de Vienne et autres ecrits* Carnap, Hahn, Neurath, Schlick, Waissmann, Wittgenstein Paris Presses Universitaires de France
- Stegmuller, W 1973 *Probleme und Resulate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie Band 2 Theorie und Erfahrung Zweiter Halbband Theoriestructuren und Theoriendynamik* Heidelberg Springer-Verlag
- 1979 *The Structuralist View of Theories A Possible Analogue of the Bourbaki Programme in Physical Science* Heidelberg Springer-Verlag
- Veyne, P 1971 *Comment on ecrit l'histoire* Paris Seuil
- 1978 «Foucault revolutionne l'histoire» In *Comment on ecrit l'histoire et Foucault revolutionne l'histoire* Paris Seuil, 1978
- Walter, S 1996 *Hermann Minkowski et la mathematisation de la theorie de la relativite, 1905-1915, le 20 12 1996* [ ]
- Wartofsky, M 1968 *Conceptual Foundations of Scientific Thought An Introduction to the Philosophy of Science* Londres MacMillan
- Weyl, H 1928 *Gruppentheorie und Quantenmechanik* Leipzig Hirzel (2eme ed, 1931) Trad angl, Robertson, H P *The*

- theory of groups and quantum mechanics* Londres Methuen, 1931, New York Dover, 1950
- Wheeler, J A et Zurek, W H (eds) 1983 *Quantum Theory of Measurement* Princeton Princeton University Press
- Wiener Kreis 1929 *Wissenschaftliche Weltauffassung der Wiener Kreis* Wien A Wolf Re-publie in Neurath 1979 81–101 (Preface par Hans Hahn, Otto Neurath, Rudolf Carnap) Trad fr La conception scientifique du monde le Cercle de Vienne, in Soulez 1986 108–151
- Zahar, E 1989 *Einstein's Revolution A Study in Heuristic*, La Salle, Ill Open Court
- 1994 «Againgst the (alleged) Divorce between Science and Philosophy Comments on M Paty's *La matiere derobee*, *Rivista di Storia della Scienza*» Ser II, 1994, 2 (1) 191–208

Michel Paty

Equipe REHSEIS

37 Rue Jacob, 75006, Paris

paty@paris7.jussieu.fr

### Keywords

Algorithm, Changes, Comprehension, Construction, Convention, Epistemology, Formalism, Formalization, Intelligibility, Invariance, Invention, Knowledge, Meta-theoretical, Novelty, Operations, Rationality, Reductionnism, Science, Structure, Subject, Theories, Understanding

### Notes

<sup>1</sup>Les reflexions qui suivent ont ete suscitees par les echanges et debats du groupe de travail denomme *Centre d'etudes pour la synthese d'une epistemolo*

gie formelle (CeSef), anime par Mioara Mugur Schachter Je remercie les amis et collegues de ce groupe pour de riches discussions

<sup>2</sup>Cassirer 1923 1929

<sup>3</sup>Cassirer 1910

<sup>4</sup>Objets, respectivement, de chacun des trois volumes de *La philosophie des formes symbolique*

<sup>5</sup>Cassirer 1923 1929, vol 3, pp 13-14

<sup>6</sup>Comme elle nous a aide a orienter d'autres etudes anterieures, en particulier *La matiere derobee*, sur les conceptions de la physique contemporaine (Paty 1988a)

<sup>7</sup>Voir l'ouvrage classique d'Henti Focillon sur l'histoire de l'art, *La vie des formes* (Focillon 1981)

<sup>8</sup>Dans le cas des mathematiques il s'agit aussi d'une realite, mais d'une realite ideelle On y decele aussi une plus grande distance par rapport aux formes intuitives de leurs origines, directement reliees a l'experience sensible

<sup>9</sup>Paty 1999a

<sup>10</sup>Mugur Schachter (1993, 1995, 1996)

<sup>11</sup>Voir Paty 1988a, 1993

<sup>12</sup>Paty 1994c

<sup>13</sup>De d Alembert a Mach, Boltzmann, Einstein

<sup>14</sup>Paty 1999d, h , a paraitre, a

<sup>15</sup>Cf , p ex , Bell 1987, Paty 1986, d'Espagnat 1994, Shimony 1993, Cohen, Horne & Stachel 1997a et b

<sup>16</sup>Cf , en part , Wheeler & Zurek 1983

<sup>17</sup>Paty 1988a, chap 8

<sup>18</sup> Cf en part , Paty 1999c, d et h , a paraitre, a et b

<sup>19</sup>Ruelle 1989, 1991

<sup>20</sup>Sur l'analogie, voir Paty a paraitre, d

<sup>21</sup>Minkowski 1907, 1908

<sup>22</sup>Poincare 1905b

<sup>23</sup>Noether 1918a et b

<sup>24</sup>Paty 1988b

<sup>25</sup>C'etait l'essence de l' «argument EPR» (Einstein, Podolsky & Rosen 1935) , voir Paty 1995, a paraitre, e

<sup>70</sup>Le cône de lumière, défini par l'équation  $x^- + y^- + z^- - c^-t^- = 0$ , détermine une «region temps», intérieure, telle que  $x^- + y^- + z^- < c^-t^-$ , et une «region espace», extérieure, telle que  $x^- + y^- + z^- > c^-t^-$ . La première est celle des relations causales entre les points d'espace temps, la seconde celle de l'a causalité (region «non physique»)

<sup>21</sup>Poincaré 1912 Cf Paty 1996 C'était peu de temps après que Paul Langevin ait discuté, en sa présence, à des réunions philosophiques, les implications physiques sur la causalité des nouvelles conceptions relativistes (Langevin 1911 a et b, cf Paty 1996a, a paraître, f et g)

<sup>8</sup>Dirac 1930 Voir Paty 1999h, a paraître, a

<sup>79</sup>J'emploie ici ce terme en un sens qui ne préjuge pas de l'indépendance des probabilités de coups successifs («Un coup de dés jamais n'abolira le hasard», Mallarmé) J'entends ici un événement singulier se suffit à lui-même Tandis qu'une mesure d'un processus quantique singulier moyennant l'enregistrement d'un événement de type classique garde entière, comme virtuelle, la distribution spectrale de probabilité pour la grandeur considérée

<sup>30</sup>Heisenberg parlait de «potentialité», Popper de «propensité» (p ex Popper 1935, 1968, 1982 Paty a paraître, c, a et b)

<sup>31</sup>Lalande 1926, 13e ed, de 1980 articles Cause, Formalisme, Forme, Formel

<sup>32</sup>«Formel» appelle «actuel» (comme dans le sens ancien et scolastique) et «general» (comme en algèbre)

<sup>33</sup>Granger 1994, 1995

<sup>34</sup>Voir Paty 1994b, 1999b

<sup>35</sup>Minkowski 1907, 1908, cf Walter 1996

<sup>36</sup>Weyl 1928, von Neumann 1932

<sup>37</sup>Notamment Ashtekar 1989 Cf Kouneither 1998

<sup>38</sup>Poincaré 1897 Cf Paty a paraître, d

<sup>39</sup>Einstein 1912 Cf Paty 1993, chap 4, p 164 172

<sup>40</sup>Paty 1993, chap 5

<sup>41</sup>Sur la notion de *style* en science, voir Granger 1968, Paty 1990, chapitre 4, 1993a, chapitre 1

<sup>42</sup>*Ouvroir de littérature potentielle*, créé en 1960, animé notamment par Italo Calvino, François Le Lionnais, Georges Perec, Raymond Queneau, Jacques Roubaud (Oulipo 1977)



<sup>43</sup>Voir, par ex, *La disparition*, de Georges Perec (Perec 1969), roman écrit sans utiliser la lettre *e*, une voyelle pourtant si fréquente

<sup>44</sup>Cf Paty 1994a

<sup>45</sup>Sur la *structure* en science, cf par ex, Stegmüller 1973, 1979 Sur la structure pour l'histoire, cf Foucault 1969, Veyne 1971, 1978, et, pour les représentations anthropologiques, Lévi Strauss 1958

<sup>46</sup>Voir, sur l'invention scientifique, Hadamard 1945, et, sur la rationalité de cette invention chez plusieurs savants, Paty 1999e

<sup>47</sup>Kant 1781–1987

<sup>48</sup>Granger 1968, Lakatos 1970, Zahar 1989, chap 1, Paty 1988, 1990, 1993

<sup>49</sup>Le terme de «préparation», relève à juste titre par M. Mugur Schachter (*op cit*), vient de la mécanique quantique. Mais la conscience de cette procédure universelle se trouve dans des réflexions épistémologiques antérieures, auxquelles la mécanique quantique a contribué à donner un accent particulier, et une précision plus grande (voir, en part, Margenau 1978)

<sup>50</sup>Paty 1988, 1986, 1999d

<sup>51</sup>Paty 1999c, h, a paraître, a

<sup>52</sup>Paty 1999h, a paraître, a, c

<sup>53</sup>C'est ainsi que l'on peut «penser la non séparabilité quantique» (Paty 1986)

<sup>54</sup>Paty a paraître, b

<sup>55</sup>L'expression est de Cassirer, cf Cassirer 1910 Voir Granger 1994

<sup>56</sup>Neumann 1932

<sup>57</sup>Changeux 1983, Damasio 1994

<sup>58</sup>Voir le dialogue fort intéressant de Jean Pierre Changeux et Paul Ricœur (Changeux & Ricœur 1998)

<sup>59</sup>Wiener Kreis 1929, Hahn, Neurath & Carnap 1929, Soulez 1986

<sup>60</sup>Voir l'étude de Joelle Proust sur les «questions de forme», de la logique et des propositions analytiques de Kant à Carnap (Proust 1986)

<sup>61</sup>Reichenbach 1951, 1959

<sup>62</sup>Carnap 1935, 1950, Jeffrey 1980

<sup>63</sup>Bunge 1983 Alberto Cupani (Cupani 1999) rappelle cependant à juste titre que, pour Bunge, la méthode n'est pas une «recette», d'application mécanique

<sup>64</sup>Reichenbach 1938, 1951, 1959, 1978, Popper 1935, 1972

<sup>65</sup>Popper 1972, p 154

<sup>66</sup>Comme Poincaré le remarquait à propos du «choix des faits» significatifs (Poincaré 1908b)

<sup>67</sup>Pascal 1657