

LA DIMENSION PHILOSOPHIQUE DU TRAVAIL SCIENTIFIQUE (découverte et interprétation)

par
MICHEL PATY*

SAVANTS ET PHILOSOPHES.

Le temps paraît révolu où les savants étaient aussi philosophes, ou l'inverse. L'époque n'est plus des Descartes et des Leibniz. Déjà la *philosophie naturelle* de Newton penche décidément du côté scientifique; mais l'on accorde que Newton a posé des concepts qui vont nourrir durablement les philosophies des siècles suivants (le temps, l'espace, la causalité) et des règles de méthodologie scientifique qui servent en partie, aujourd'hui encore, de référence.

Ensuite, le clivage opère de façon plus brutale, et il semble que l'on puisse désormais ranger les penseurs dans des catégories séparées et bientôt étanches. Au dix-huitième siècle, d'Alembert fait figure d'exception - encore est-il trop peu regardé comme un philosophe important. On recense bien, au dix-neuvième, plusieurs cas de 'savants philosophes' dans les diverses branches de la science, de la logique avec Bolzano ou Frege, et des mathématiques, de Riemann à Clifford, Peano ou Poincaré, aux sciences naturelles en transformation, et sans parler des sciences sociales naissantes encore étroitement liées à la terre-mère de la philosophie. Pour nous en tenir à la physique et aux physiciens ou physico-mathématiciens les plus notoires, Ampère, von Helmholtz, Kirchhoff, Hertz, Boltzmann, Mach, Poincaré encore, Duhem, répondent à cette qualification. Mais sont-ils réellement considérés comme des philosophes au sens plein ? Eux-mêmes ne le revendiquaient pas, car ils avaient conscience du clivage. De leur côté, les philosophes qui s'intéressent à la pensée de ces savants s'en tiennent en général à cette part philosophique de leur oeuvre qui les concerne directement, dans la mesure où elle peut contribuer à nourrir leurs propres débats; mais ils se préoccupent rarement du rapport entre ces écrits épistémologiques ou philosophiques et le travail scientifique qu'ils accompagnaient. Sur la pensée de ces savants-philosophes pèse en général le soupçon de n'être ni systématique ni de portée suffisamment générale;

* Equipe REHSEIS, CNRS et Université Paris 7, 2 Place Jussieu, 75251 PARIS-Cedex 05.

on la trouve en même temps trop précise dans ses analyses des propositions de la science. En somme, ces penseurs ne marqueraient pas suffisamment la division du travail entre le philosophe et le savant (ou, plus modestement, le scientifique, comme on dit aujourd'hui).

Le vingtième siècle compte également des cas de savants préoccupés de philosophie et, parmi eux, Einstein. Mais, à la différence des penseurs précédents, ce que l'on retient de sa contribution aux idées philosophiques, ce ne sont pas tant ses conceptions épistémologiques que certaines implications de son oeuvre scientifique elle-même, considérée surtout sous l'aspect des nouvelles conceptions de l'espace et du temps et de la causalité relativiste. En somme, il n'intéressait pas les philosophes professionnels par ce qu'il a écrit, mais par ce qu'il a fait: il leur aurait en quelque sorte livré le matériau brut de concepts et de théories nouvelles dont c'était à eux de déchiffrer la signification profonde.

Il ne fait pas de doute que les thèmes philosophiques liés aux transformations de la physique - comme de toute science - échappent aux premiers acteurs, pour dessiner un espace qui leur est propre, et où s'exerce librement la réflexion critique. Mais la pensée du créateur n'en possède pas moins un intérêt par elle-même, et peut-être un intérêt tout particulier aux yeux du philosophe puisqu'elle a su, quelle qu'en aît été la manière et que ce fût ou non en toute conscience, faire venir au jour des objets de pensée si riches d'implications. Pour cette raison probablement, les auteurs du *Manifeste du Cercle de Vienne* mentionnent à plusieurs reprises, parmi les inspireurs et les représentants du mouvement qu'ils veulent promouvoir, le nom d'Einstein. Mais, précisément, le Cercle à ses origines revendiquait pour ses membres de n'être pas "philosophes" et d'avoir travaillé dans l'un ou l'autre des domaines de la science; et il proclamait d'ailleurs, tout en affirmant la nécessité de recherches philosophiques sur les "fondements", qu'"il n'y a pas de philosophie comme science fondamentale et universelle, à côté ou au-dessus des différents domaines de l'unique science de l'expérience".

Plus généralement que le cas d'Einstein (auquel je me référerai souvent dans la suite)¹ ce sont les sciences contemporaines dans leur ensemble, par leurs contenus, leurs modalités, et par le rôle qu'elles se voient assigner dans le champ social, qui paraissent déterminer un nouveau rapport à la philosophie. Les bouleversements dans les représentations et les théories scientifiques ont souvent paru devoir modifier de fond en comble nos conceptions sur la connaissance, dans sa nature et dans ses conditions de possibilité. Aux 'crises' subies par les connaissances 'positives', qu'elles soient des sciences 'formelles' (voir la question des fondements des mathématiques), ou 'de la nature' (physique, biologie), ou relatives aux sciences humaines et sociales (dont ce siècle enregistre la montée), semblent répondre, non pas seulement en écho mais comme en contre-coup en profondeur, les re-distributions de questions traditionnellement considérées comme étant de nature philosophique.

¹ Le cas d'Einstein, tout en étant à bien des égards exceptionnel, révèle un aspect universel de l'activité et de la pensée scientifique pour peu qu'elle soit fondamentale. Que cet aspect ne se présente pas toujours sous des apparences aussi claires ne diminue pas son importance essentielle dans les autres cas, si l'on veut comprendre ce qu'est la nature de la science. Cf. Paty, à paraître (a et b).

La question que je voudrais examiner est celle du rapport entre science et philosophie dans la formulation et dans la solution de problèmes posés par une science donnée, soit que l'on considère ces problèmes en eux-mêmes, tels qu'ils sont livrés à l'examen de chacun, ou la voie particulière empruntée à leur sujet par un créateur individuel.

"PHILOSOPHE PAR IMPLICATION"?

Dans son ouvrage de 1951, *L'avènement de la philosophie scientifique*, Reichenbach expose comment, après la fin de la philosophie des systèmes dont le dernier véritable représentant fut le kantisme, advint sur le terrain d'une science nouvelle, celle apparue au dix-huitième siècle en mathématiques, en physique et en biologie, la naissance d'une autre philosophie ; celle-ci fut élaborée d'abord par des savants, comme sous-produit de leurs recherches scientifiques. C'est alors, à ses yeux, que science et philosophie se sont rencontrées, au point de se confondre, par la nécessité en quelque sorte du moment historique. "Le mathématicien, le physicien ou le biologiste", écrit-il, "cherchant à résoudre les problèmes techniques de sa science, se voyait dans l'incapacité de trouver une solution à moins de pouvoir répondre à certaines questions plus générales et philosophiques". Comme ils n'étaient pas philosophes, ces scientifiques n'étaient point empêtrés dans des systèmes et, "entraînés par la logique des problèmes", ils purent ainsi trouver des réponses "dont on n'avait jamais entendu parler dans l'histoire de la philosophie".

Telle fut, selon Reichenbach, l'implication de la science dans la philosophie pour les temps modernes : elle a assuré la possibilité de faire naître une nouvelle philosophie. "Avec le tableau des réponses scientifiques aux questions philosophiques", poursuit-il, "c'est une nouvelle philosophie qui se trouve dessinée, un système philosophique, non pas au sens d'une création spéculative faite à sa fantaisie par une pensée, mais au sens d'une totalité ordonnée à laquelle seul un travail de groupe peut parvenir"². Mais une fois ce passage accompli, pour la philosophie, d'une ère à une autre, d'une conception à une autre, vient un stade où le travail qui la concerne doit être effectué pour lui-même, par lui-même, indépendamment du travail scientifique, par de nouveaux professionnels de la philosophie. Ne sommes-nous pas, dès lors, fondés à nous demander si, cette nouvelle époque de la philosophie étant instaurée, le problème du rapport de cette dernière à la science ne se trouve pas posé dans des termes en fin de compte semblables à ceux de la période révolue ? La révolution philosophique aurait fait table rase du passé et des circonstances mêmes qui ont présidé à son avènement.

Reichenbach admet, certes, que le processus peut se reproduire. "Il semble", écrit-il à propos de la physique dans un autre texte de la même époque, "que ce soit une loi générale que faire une nouvelle physique précède une nouvelle philosophie de la physique"; et "l'évolution des idées philosophiques est guidée par celle des théories physiques"³. Mais ce sont autant de réajustements périodiques qui laissent entier le problème d'une véritable dynamique des rapports de la science à la

² Reichenbach 1951, p. 119.

³ Reichenbach 1949, p. 291 et 301.

philosophie, voués à des sauts brusques, faits d'implication nouvelle suivie de séparation radicale. Reichenbach nous confirme ainsi qu'en faisant oeuvre scientifique, les savants de l'époque dont il parle ont fait, par là-même, oeuvre de philosophes. Mais n'était-ce qu'au simple titre de sous-produit, comme il le dit ? Et si, loin de se trouver cantonnée à un moment historique occasionnel (donc, promise à être caduque, pour la philosophie au sens de Reichenbach, qui veut ignorer délibérément l'histoire), cette dimension philosophique était inhérente au travail de recherche scientifique lui-même, consubstantielle à lui pour ainsi dire, en de nombreuses circonstances, sinon en toutes, qui dépassent, par leur signification, le cas décrit comme étant d'exception ? Nous n'en déciderons pas maintenant, mais nous voyons bien comment la réponse apportée par Reichenbach et les tenants du positivisme et de l'empirisme logiques reste tributaire des limites de leur système.

Dans sa contribution à l'ouvrage collectif *Einstein savant et philosophe*, Reichenbach s'attache au cas particulier du savant et s'interroge sur le fait de savoir s'il était réellement philosophe et en quoi. Il souligne d'entrée que "la signification philosophique de la théorie de la Relativité"⁴ ne suffit pas à faire de son inventeur un philosophe, du moins quant à son intention initiale, puisque "ses premiers objectifs se trouvaient tous dans le domaine de la physique". C'est en vue de résoudre des problèmes physiques que le savant s'est porté sur des questions philosophiques: le physicien, en l'occurrence, n'est devenu philosophe que par l'occasion, parce que les problèmes physiques qu'il se posait demandaient une analyse logique de certains concepts, ce qui entraînait des conséquences sur la théorie de la connaissance. On mesure déjà les limites de l'implication selon cette vue: elle est restreinte, en fait d'analyse des concepts, aux "aspects fondamentaux de l'espace et du temps", et tirée de manière unilatérale vers une philosophie obligée, puisque le "réajustement" que cette analyse, selon Reichenbach, présuppose consiste à adopter la "théorie vérificationniste de la signification"⁵, c'est-à-dire "une philosophie pour laquelle un énoncé est réductible à sa possibilité de vérification" (expérimentale ou observationnelle).

La Relativité restreinte n'est-elle, comme l'a voulu une interprétation répandue, aussi bien chez des philosophes que chez les physiciens qui ont élaboré la mécanique quantique à la fin des années vingt, qu'une conséquence de la nécessité de penser les concepts d'espace et de temps en termes de leur vérification opérationnelle, c'est-à-dire de la possibilité de les mesurer par la transmission de signaux, et s'est-elle réellement édifiée, comme une vulgate l'a fait longtemps croire et comme Reichenbach lui-même le donne à entendre⁶, sur le résultat négatif de l'expérience de Michelson ? Sur la base de cette interprétation, Reichenbach n'a pas de mal à assigner à Einstein une position philosophique empiriste⁷. Il fonde cette

⁴ Son texte s'intitule, précisément: "The philosophical significance of the theory of relativity" (Reichenbach 1949).

⁵ "The verifiability theory of meaning" (Reichenbach 1949, p. 290-291).

⁶ Reichenbach 1949, p. 291: "Le physicien [il s'agit en fait d'Einstein] qui voulait comprendre l'expérience de Michelson devait se rallier à une philosophie pour laquelle la signification d'un énoncé est réductible à sa possibilité de vérification". Sur le rôle véritable de l'expérience de Michelson dans la genèse de la théorie de la Relativité, voir Paty, à paraître (a), chapitre 3.

⁷ Reichenbach 1949, p. 291, à la suite de la citation de la note précédente: "C'est cet engagement positiviste, ou pour mieux dire, empiriste, qui détermine la position philosophique d'Einstein".

attribution non pas sur la philosophie qu'Einstein propose dans ses écrits, mais sur sa démarche supposée, reconstituée pour les besoins de la cause.

Pour peu que l'on y regarde de près, on s'aperçoit que la réalité est bien différente. L'interprétation de Reichenbach souffre de ses présupposés, à savoir: l'élimination, dans les considérations philosophiques, des chemins effectifs de la recherche et de la découverte, et l'idée que la philosophie doit non seulement être homogène à la théorie scientifique, mais en découler par voie de conséquence logique.

Exclure par principe la découverte de l'attention de la philosophie, n'est-ce pas en exclure de fait tout travail de recherche scientifique? Et séparer de manière aussi tranchée l'esprit du scientifique et celui du philosophe, n'est-ce pas également nier qu'il y ait, dans la démarche du chercheur, des motivations et des procédures d'ordre rationnel, qu'il serait possible de décrire autrement que par l'appel à de simples croyances, telle par exemple l'idée d'harmonie qui aurait présidé à l'esprit des recherches d'Einstein, de son propre aveu⁸. Sans en minimiser l'importance, une idée aussi générale et 'métaphysique' ne suffit évidemment pas à rendre compte du cheminement de la pensée du chercheur quand elle s'applique à des problèmes précis - à moins de considérer cette pensée comme totalement irrationnelle. Qu'elle sous-tende de façon plus ou moins lointaine la motivation et la démarche n'élimine en rien les exigences proprement épistémologiques qui caractérisent cette dernière et qu'Einstein lui-même a souvent analysées.

Ainsi, le courant d'idées qui donnait à première vue l'impression d'être le plus à même de comprendre l'aspect philosophique de la pensée d'un scientifique comme Einstein s'avère-t-il, de fait, limité et déformant. Les raisons en sont la restriction du rôle et de la méthode de la philosophie à ceux de la philosophie analytique, l'élimination de la considération de l'élaboration théorique ("la découverte") du champ de la philosophie, et, en fin de compte, la stérilisation de la pensée scientifique à quoi aboutit une philosophie qui se prétendait pourtant si proche de la science. Si proche, au point de proposer qu'"il n'y a pas d'entrée séparée vers la vérité pour les philosophes" et que "la voie du philosophe est indiquée par celle du savant" ("tout ce que peut faire le premier", était-il précisé, "c'est analyser les résultats de la science, construire leurs significations et discuter de leur validité"); et au point de conclure que "la théorie de la connaissance est l'analyse de la science"⁹. Ce soin finalement trop jaloux de la philosophie pour la science aboutit à faire de cette dernière un objet aseptisé, statique, simple schème formel coiffant un donné empirique, et à s'interdire d'en comprendre le mouvement et la genèse.

Sur la position philosophique réelle d'Einstein dans sa jeunesse, voir Paty, à paraître (a) (chapitre 9 et, en particulier, sur la Relativité restreinte, chapitres 2 à 4).

⁸ Reichenbach 1949, p. 292: "Quand, à une certaine occasion, j'ai demandé au professeur Einstein comment il avait trouvé la théorie de la Relativité, il me répondit qu'il l'avait trouvée parce qu'il était tout à fait convaincu de l'harmonie de l'univers." Reichenbach feint de croire que l'on pourrait s'en tenir, sur les motivations conscientes d'Einstein, à cette remarque lapidaire, et commente: "Une croyance n'est pas une philosophie!" D'autres analystes de la pensée d'Einstein (cf., p. ex., Holton 1981), s'en tiennent également à invoquer cette conviction comme ressort de sa démarche.

⁹ Reichenbach 1949, p. 310.

PHILOSOPHIE ET CONSTRUCTION DE CONCEPTS SCIENTIFIQUES.

"La philosophie n'est pas une des sciences de la nature", elle ne se situe pas sur le même plan qu'elles, elle est "au-dessus ou au-dessous", écrit avec raison Wittgenstein¹⁰, pour qui elle n'est pas un corps de doctrine, mais une activité. Si l'on admet aussi, avec l'auteur du *Tractatus* - du moins pour ce qui concerne notre sujet -, que son propos est la clarification logique des pensées, et son résultat la clarification des propositions¹¹, la philosophie concerne l'activité scientifique elle-même en tant qu'elle est une forme de pensée: précisément, la clarification des propositions fait partie à un degré éminent de la méthode d'Einstein, de son style scientifique; elle constitue l'étape préalable, où il s'agit d'énoncer le problème à résoudre, d'en mettre au jour les difficultés propres. Ne serait-ce qu'à ce titre, la philosophie ne concerne pas que la science achevée, mais aussi celle en train d'être élaborée.

Dans ce sens, on ne voit pas pourquoi des concepts scientifiques comme l'espace, le temps, la causalité, concerneraient davantage la philosophie que les autres aspects de la physique et de sa construction; et d'ailleurs, les privilégier dans cet ordre ne reviendrait-il pas à leur accorder le statut d'objets, quand il faudrait considérer au contraire, avec Gilles Granger que la philosophie est une "discipline sans objet"¹², en ce sens qu'elle ne se préoccupe pas tant de décrire ou d'expliquer que de dégager ou d'"interpréter des significations", remplaçant les phénomènes, leurs concepts et leurs schémas représentatifs "dans la perspective d'une totalité", par opposition à la science au sens propre, qui "construit des structures d'objets" et, pour ce faire, fragmente¹³ et simplifie.

On peut toutefois se demander si la distinction est aussi nette dans tous les cas, et si la constitution d'objets de science ne s'accompagne pas souvent d'une élucidation qui porte, précisément, sur les significations. Ce n'est pas seulement à un stade révolu de l'histoire de la pensée que la science et la philosophie se confondent jusqu'à un certain point sur un terrain commun¹⁴. Cette implication mutuelle concerne d'ailleurs autant le moment du surgissement d'une conception théorique nouvelle (la "découverte") que celui de la réorganisation du schéma théorique ou du corps de connaissance tout entier, qui est de façon éminente celui où l'on s'efforce d'exprimer la signification des propositions.

¹⁰ Wittgenstein 1921, 4.111 et 4. 112.

¹¹ Wittgenstein 1921, 4. 112.

¹² Cf., par ex., Granger 1968.

¹³ Voir aussi Granger 1989. Mais, reconnaît G. Granger, si la science ne remplace pas la philosophie, si la philosophie ne produit pas de science, il existe entre elles des communications: "L'analyse philosophique des significations peut conduire à la constitution d'objets d'une connaissance scientifique ultérieure".

¹⁴ Comme l'écrit Georges Gusdorf: "Beaucoup d'événements intellectuels, parmi les plus décisifs, trouvent leur domaine d'élection dans la zone de passage où la science se veut philosophie, où la philosophie se prétend science. Les inspirations maîtresses, à l'état naissant, se situent aux confins où les modes d'affirmation de la vérité semblent s'impliquer mutuellement, avant toute spécialisation et dissociation" (Gusdorf 1966, p. 158).

C'est ici que la relation entre la science, comme description et explication, et la philosophie, comme expression et ordonnancement des significations, apparaît dans toute sa complexité, puisque la science (par exemple, une théorie donnée) entretient en elle-même la nécessité de sa propre interprétation. Tous les débats sur la physique contemporaine ont porté sur la nature de cette interprétation et de l'instance à laquelle doivent être rapportées les significations des propositions. La contribution d'Einstein lui-même dans ces débats se signale par son souci de distinguer le plus nettement possible ce qui, dans l'interprétation, relève strictement de la physique (c'est-à-dire de la science comme description et représentation) et ce qui dépend d'une position philosophique (plus générale et totalisante). C'est en particulier le cas avec ses considérations sur la mécanique quantique¹⁵. En clarifiant - selon la mission conférée par Wittgenstein à l'activité philosophique - la signification des propositions, ici celles de la théorie physique, loin de mêler indûment science et philosophie, il les distingue. Ce faisant, il n'en manifeste que mieux la véritable nature de leur commune implication.

La physique, comme toute science particulière, emprunte des éléments de signification à la philosophie. Sans des catégories générales comme celles d'ordre, de loi, de causalité, de déterminisme, mais aussi de théorie, de principe, elle ne pourrait pas définir ses objets et ses procédures, ni même être pensée¹⁶. Les concepts, même les plus apparemment reliés à l'expérience, sont des entités abstraites qui possèdent une fonction dans un ensemble où ils reçoivent leur définition opératoire et prennent leur sens (physique, dans le cas de cette science). Ils sont, par là, tributaires des catégories mentionnées et la réflexion sur eux, fût-elle la plus précise et 'technique', sur leur lien à l'expérience et sur leur signification théorique, tout en appartenant au travail scientifique a, de toute évidence, partie liée à l'activité philosophique.

LA SIGNIFICATION DES CONCEPTS

On le fera voir à partir d'une remarque d'Ernst Cassirer sur les concepts d'espace et de temps de la Relativité restreinte, dans son livre de 1921 sur la Relativité¹⁷. Lors même que le physicien s'en tient à considérer la coïncidence d'événements dans l'espace et le temps, il demeure, selon Cassirer, dans la définition de ces événements, une dimension "logico-mathématique" qui est en quelque sorte la condition de possibilité de leur pensée; les concepts qui interviennent (nombre, espace-temps, fonction) ne sont connus du physicien que par leur combinaison réciproque. Mais c'est le rôle du philosophe de la connaissance d'analyser les éléments de cette combinaison; il n'admet pas que la signification du concept soit identifiable à son application concrète (ce qui était la

¹⁵ Cf. Paty, à paraître (b).

¹⁶ Ces "notions à double entrée" (scientifique et philosophique) dont G. Gusdorf rappelle qu'elles "paraissent s'être constituées aux confins de la méditation philosophique et de la recherche scientifique" (Gusdorf 1966, p. 153), et dont l'origine est diverse.

¹⁷ Cassirer 1921, p. 419.

position d'Einstein¹⁸). Au contraire, il souligne que la signification doit être établie pour qu'une application puisse être faite¹⁹.

"La pensée de l'espace et du temps dans leurs significations comme formes de mise en relation d'ordre", écrit Cassirer, "n'est pas d'abord créée par la mesure; elle est seulement plus étroitement définie par cette dernière, qui lui donne un contenu défini. Nous devons avoir saisi le concept d' 'événement' comme quelque chose de spatio-temporel, nous devons avoir compris la signification qui s'y trouve exprimée avant de pouvoir nous interroger sur la coïncidence des événements et de chercher à l'établir par des méthodes particulières de mesure"²⁰. En insistant, à propos de la théorie de la Relativité, sur le fait que la signification des concepts précède l'expérience, et que cette signification réside dans leur imbrication logico-mathématique, Cassirer veut souligner un lien étroit entre la physique et la philosophie. Il revendique pour la philosophie cette clarification (en restreignant le rôle de la physique à la relation qui fait passer de l'expérience au concept, il rejoint la conception positiviste), et voit ce lien comme une dépendance de la physique à l'égard de la philosophie, puisque c'est à celle-ci que revient le rôle de révéler la signification qui précède l'expérience. Mais, si l'on fait abstraction d'une division du travail aussi marquée que la voit Cassirer, et si l'on examine la démarche même d'Einstein, on s'aperçoit que le rôle du physicien comporte aussi, du moins en partie, cette tâche que Cassirer attribue au seul philosophe. Aussi bien Einstein était-il loin de renvoyer tout uniment le concept du physicien à la mesure.

En fin de compte, les rôles du physicien et du philosophe ne sont pas aussi tranchés et, en la débarrassant de ses concessions au positivisme supposé de l'activité du chercheur, on peut exprimer autrement l'idée soulevée par Cassirer: la tâche du physicien est inséparablement d'énoncer la signification des concepts, en établissant leur identification logico-mathématique, et de les relier à l'expérience.

On pourra dire, il est vrai, que les concepts en question ne sont pas réellement de nature philosophique, et que leur signification leur est donnée dans le système théorique lui-même, donc par la physique. Mais, d'une manière générale, les sciences, même considérées sous leur aspect le plus formel, purement logico-théorique, ne peuvent être conçues comme fermées sur elles-mêmes (voir l'importance à cet égard du théorème d'incomplétude de Gödel), et la signification de leurs concepts et de leurs propositions déborde le seul ordre logico-théorique que Cassirer paraît leur assigner: elle requiert les 'méta-concepts' de la philosophie²¹. En sorte que, même déplacée par une attribution différente du rôle de la définition théorique en rapport au travail du physicien, l'affirmation par Cassirer d'un lien, à ce niveau, entre science et philosophie, vaut encore. Par ailleurs, la question de la signification des concepts et propositions d'une théorie est elle-même de nature complexe; elle demande de clarifier et de distinguer ce qui relève respectivement de la physique (plus généralement, de la science) et de la philosophie. Or, cette clarification et cette distinction supposent une attention aux 'méta-concepts', et

¹⁸ Einstein 1917, éd. allemande, p. 14.

¹⁹ Cassirer 1921, p. 419.

²⁰ Cassirer 1921, p. 420. Sur la pensée einsteinienne des concepts d'espace et de temps, voir Paty, à paraître (a), chapitres 2 et 4.

²¹ Cf. Granger 1988.

manifestent à l'évidence la sensibilité philosophique du scientifique qui les effectue, ou aussi bien la part de philosophie dans ce travail théorique.

L'énoncé des significations, voire leur ordonnancement selon une perspective qui les rattache à l'unité de la connaissance, fait partie en droit de la démarche du physicien, qui reçoit par là une dimension directement philosophique. Ce qui, bien entendu, n'enlève rien au travail ultérieur du philosophe au sens propre qui est de parachever le dévoilement des significations dans un dessin plus ample. Mais le clivage n'est plus aussi net, et l'on voit que la physique, pour peu qu'elle soit fondamentale, est aussi philosophie.

LA TEXTURE DU QUESTIONNEMENT SCIENTIFIQUE

Par-delà cette activité sur les concepts, il est d'autres aspects philosophiques consubstantiels à la science - ni extérieurs à elle, ni venant après -, qui participent également de la pensée et du travail scientifiques, prenant chair avec eux, et qui constituent même, pour ainsi dire, l'étoffe du questionnement scientifique de tous les jours²². Telles sont, notamment, les questions concernant la nature et la validité de la connaissance scientifique, la structure formelle ou logique des théories, l'assignation de leur rapport à l'expérience. Telles sont également certaines dispositions qu'Einstein attribue au chercheur, dont la réunion paraîtrait éclectique au regard du 'philosophe systématique', mais qui, sans aucunement constituer à chacune un système, n'en sont pas moins philosophiques: le projet de représenter une réalité indépendante, la part de convention dans cette construction, la justification de celle-ci par son rapport aux expériences des sens, le choix du critère de simplicité logique...²³ La philosophie de la connaissance peut, certes, les considérer en faisant abstraction de la pratique particulière de tel chercheur relativement à un problème donné, pour atteindre - ou non, du moins pour mettre en problème - des caractères généraux de cette forme de pensée qu'est la science. Mais, d'un autre côté, ces conceptions, qu'elles soient conscientes et critiques ou informulées et simplement héritées, participent du matériau avec lequel le chercheur est aux prises: incorporées à son 'outillage intellectuel', elles influent sur sa recherche même, jouent, selon les cas, un rôle heuristique ou de blocage... Elles constituent des éléments de son "programme"²⁴, et c'est souvent en référence à elles qu'un scientifique juge du caractère de réussite ou non de ce à quoi il est parvenu (lui-même, ou la science à laquelle il s'attache).

Comme telle, la philosophie se trouve *dans* la science, dans son mouvement et sa texture, et non pas seulement dans l'évaluation après coup de ses résultats. Et l'on comprend dès lors comment l'activité philosophique - même au sens d'une simple attitude, comme prédisposition ou sensibilité particulière à ces aspects - peut être présente au sein du travail scientifique même. Elle peut être très explicite et s'avérer, par la réflexion critique du chercheur sur les questions

²² Cf. Wartofsky 1968, p. 16-19. L'ontologie, ou la logique considérée en elle-même, sont, par exemple, des aspects philosophiques extérieurs à la science.

²³ Einstein 1949. Voir Paty, à paraître (a), chapitre 8.

²⁴ Sur la notion de programme épistémologique, voir Paty 1988, chapitre 1.

épistémologiques de cette nature (conceptuelles ou méthodologiques), d'une importance décisive dans son travail²⁵. Dans ce cas, le philosophe et le savant ne font qu'un, non par l'occasion, mais par la nature de la connaissance scientifique même.

En sorte que pensée physique et pensée philosophique entretiennent une relation étroite, de l'activité créatrice aux débats sur l'interprétation. Mais, sur la nature exacte de cette relation, les considérations générales sont encore imprécises, et seul l'examen des situations effectives, et de la pensée des savants eux-mêmes, dans leur diversité, pourra nous instruire.

RATIONALITE DE LA DECOUVERTE.

Revenons sur la question de la découverte et de son rapport à la philosophie. La philosophie, comme pensée critique, ne doit-elle porter son attention, comme la plupart des philosophes des sciences contemporains l'ont considéré, que sur les propositions finales d'une science (finales, en vérité, dans un sens toujours provisoire, c'est-à-dire pour autant que leur formulation les ait momentanément stabilisées)? Ne devrait-elle pas, de manière tout aussi légitime, se proposer l'examen de l'élaboration même de la formulation des problèmes scientifiques, considérée dans ses moments constitutifs, transitoires et singuliers? (Moments transitoires, puisque ces problèmes et leurs solutions se verront reformulés, et singuliers, puisque cette élaboration est le fait de pensées individuelles).

Nous l'admettrons, contre l'opinion de ceux qui, avec Reichenbach, renvoient cette considération à une psychologie de la découverte, enlevant par principe un tel objet à l'approche critique de la philosophie²⁶. Renoncer à se porter aussi sur les problèmes de découverte, ce serait, pour la philosophie, délaisser un champ immense de problèmes qui relèvent de la connaissance rationnelle, recouvrant la phase d'élaboration d'une science entre ses premiers tâtonnements et sa formalisation; cette phase se trouve d'ailleurs parfois étendue sur une gamme temporelle large (comme, par exemple, dans le cas de la théorie quantique). Or bien peu de travaux philosophiques portent réellement sur la découverte: sociologues et historiens ('relativistes') des sciences contemporains ont beau jeu de s'en saisir sur le terrain autorisé, loin de la rationalité²⁷.

Karl Popper lui-même, dans sa *Logique de la recherche*, ou de la

²⁵ "Dans des moments de ce genre", écrit M. Wartofsky à ce propos, "le chercheur scientifique peut fort bien devenir, dans son travail, philosophe des sciences. Il peut le faire mal, s'il est philosophiquement naïf ou non critique. Ou il peut faire oeuvre de philosophie au niveau des Descartes, Newton, Leibniz, Planck ou Einstein, qui tous ont aidé à re-dessiner non seulement les cadres de pensée de la science mais aussi bien les concepts fondamentaux de la philosophie" (Wartofsky 1968, p. 19).

²⁶ La distinction entre "contexte de découverte" et "contexte de justification", proposée par Reichenbach (Reichenbach 1938), a été largement admise par la suite. "L'épistémologie s'occupe seulement de construire le contexte de justification", ré-affirme Reichenbach dans *L'avènement de la philosophie scientifique* (Reichenbach 1951, p. 6-7).

²⁷ Cf. par exemple Kuhn 1962. J'entends ici 'relativistes' au sens du relativisme sociologique.

découverte, scientifique, ne considère que les développements de la science, non la découverte elle-même²⁸. Il exclut cette dernière de l'"analyse logique" de la science tout autant que le font les positivistes et empiristes logiques, et la renvoie, lui aussi, à la "psychologie empirique". Popper rejette d'ailleurs également tout essai de reconstruire le processus de l'"inspiration", invoquant ce qu'il contient d'"élément irrationnel"²⁹. Ce rejet a partie liée à son épistémologie: il n'y a pas de logique de la découverte, puisqu'il n'y a pas d'induction, c'est-à-dire d'inférence logique d'une proposition générale à partir d'assertions singulières.

Mais si l'on peut convenir, pour cette raison précisément, qu'il n'y a pas une '*logique*' de la découverte à proprement parler, le problème d'une *rationalité* de la découverte, et donc de sa pertinence pour la philosophie des sciences, reste entier. Le terme '*logique*', à se fixer sur lui, entraîne une vue trop étroite, ne laissant d'autre choix qu'entre un schéma obligatoire fixé, rigide, à une seule voie, et un facteur ou élément irrationnel dont on ne peut rien dire³⁰. Poser, au lieu de celle de la *logique*, la question de la *rationalité* - dont la logique n'est que le squelette - de la découverte permet, au contraire, de prendre en considération un objet aux déterminations plus complexes, d'admettre le rôle de l'intuition, du moins dans une certaine acception du terme et, tout en accordant leur part aux éléments contingents ou irrationnels, de faire droit au caractère fondamentalement rationnel du travail de création scientifique. Au surplus, ce caractère s'avère immédiatement en ceci que la phase de l'élaboration comporte à chaque pas, de la part du chercheur, des réorganisations rationnelles (sinon des '*reconstructions*'), comme mises en ordre des éléments qu'il étudie, pour les comprendre. En un sens, la tentative de Lakatos³¹ de rendre compte du développement de la science et de son progrès en proposant sa "méthodologie des programmes scientifiques de recherche", maintient une '*logique de la découverte*' (du moins pour les périodes de "crise"), qui revient à de telles réorganisations, commandées par un programme. Mais la "reconstruction" de Lakatos, injectant la rationalité dans son objet d'étude plus qu'elle ne cherche à l'y trouver, prend des libertés avec l'exactitude historique, et laisse largement ouverte la question de la rationalité du processus effectif de découverte et du travail scientifique³².

²⁸ Le titre en allemand de la première édition de 1935 est en réalité *Logique de la recherche* [*Forschung*], dont il a ensuite fait, en traduction anglaise, *Logique de la découverte* [*discovery*] *scientifique* (Popper 1935, trad. angl. augm., 1959. Trad. fr., 1973).

²⁹ Popper 1935, éd. angl. 1968, p. 31-32, 40.

³⁰ C'est d'ailleurs cette attention exclusive à la logique, et non à une rationalité plus large, qui fait l'étroitesse du critère de démarcation popperien de la scientificité par la réfutabilité ou '*falsifiabilité*'.

³¹ Lakatos 1970, 1978.

³² Elie Zahar a récemment proposé (Zahar 1989; voir aussi Zahar 1983), dans la même ligne de pensée, une méthodologie plus précise de l'heuristique des programmes de recherche qui, tout en faisant davantage droit à l'exactitude historique, se propose de réduire, dans le travail menant à la découverte, la part laissée à l'irrationnel, en montrant comment, à partir de métaprinces universellement acceptés, ce travail est, pour une part importante, de nature déductive. Son approche, tout en différant de celle que j'ai moi-même adoptée (il veut illustrer une méthodologie, alors que j'adopte un point de vue historique, il privilégie l'aspect logique - déductif -, alors que je me fais une conception plus fluide de la rationalité), converge cependant avec elle par l'affirmation de l'importance de la rationalité dans la découverte (cf. Paty, à paraître (a)).

De fait, tandis que les philosophes des sciences édictaient des interdits ou débattaient du principe³³, l'histoire des sciences, aussi bien que l'observation - sur le vif - des travaux de la science contemporaine, faisaient apparaître la rationalité dans le champ des problèmes et dans le travail d'élaboration, sans qu'il fût nécessaire d'attendre le moment des réorganisations ou des "reconstructions rationnelles".

Lorsqu'on examine la phase d'élaboration, l'on n'y rencontre pas moins de questions pertinentes du point de vue de l'épistémologie et de la philosophie de la connaissance que lorsque l'on s'interroge sur des propositions fixées, avec cet avantage supplémentaire de pouvoir éventuellement saisir quelque chose de la dynamique des problèmes qui fait le mouvement de la science, et de la réalité de la pensée scientifique au travail. Les rapports entre des concepts qui ne sont pas encore stabilisés sont pourtant déjà rationnellement structurés, et cela est aussi vrai de leur lien aux données d'expérience, même si la logique de ces connexions est moins transparente; pour différente qu'elle soit de la forme finale, cette structuration provisoire s'éclaire à l'analyse d'éléments de signification qui permettent de mieux cerner le caractère rationnel de la pensée scientifique, aussi bien que certains traits de l'évolution des concepts et des théories. Les débats sur l'interprétation, qui accompagnent le plus souvent l'apparition d'une nouvelle conception, ou théorie, sans attendre la formulation finale, sont à cet égard révélateurs³⁴.

Concluons que la rationalité ne cesse pas d'imprégner la démarche intellectuelle du chercheur, même si, dans son mouvement effectif, celle-ci est tributaire d'autres facteurs. Le problème n'est pas d'expliquer ou de rendre compte en totalité du processus de découverte, mais d'en éclairer la rationalité (sans la 'reconstruire rationnellement' pour autant).

Par ailleurs, l'étude des conditions de possibilité d'une conception théorique, ou d'une science, ne peut faire l'économie de la considération des circonstances qui ont présidé à leur fondation. Ceci est d'autant plus vrai que la philosophie de la connaissance ne se propose plus de nos jours, à la différence de la philosophie transcendantale, de fonder une science constituée et aux propositions intangibles, mais s'interroge sur sa signification et son contenu de vérité, la considérant telle qu'elle est donnée, comme contenu (provisoire) et comme processus, sachant qu'elle est toujours en genèse. Il y va de la légitimité même d'une philosophie de la connaissance qu'elle puisse s'interroger sur cette genèse de la science, et que celle-ci soit à quelque degré rationnelle.

Nous admettons également que la philosophie n'est pas seulement à trouver par le regard qu'elle porte sur les sciences de l'extérieur, soit qu'elle les considère dans leurs propositions statiques ou dans le mouvement qui établit et

³³ Mentionnons l'étude récente d'Angelo Maria Petroni (Petroni 1988) consacrée à l'examen de plusieurs travaux philosophiques sur la question de la découverte. Outre l'oeuvre de Popper, dont il remarque que ses positions postérieures à la *Logik der Forschung*, par exemple dans *Objective knowledge* (Popper 1972), tiennent davantage compte de la complexité des données du problème, il s'agit des recherches de Norwood R. Hanson et de Herbert Simon qui portent sur la possibilité, ou non, d'une logique de ce processus. A.M. Petroni diagnostique et critique, lui aussi, la réduction du problème à la seule logique et invoque la notion plus ample de rationalité.

³⁴ Par exemple, dans le cas de la thermodynamique ou de la théorie quantique.

transforme ces propositions; elle se rencontre aussi - sinon toujours et de manière systématique, du moins dans des cas nombreux et significatifs -, comme attitude et comme activité, dans le mouvement même de la connaissance scientifique, et tout particulièrement dans le moment où apparaît un élément de 'nouveau' qui va s'avérer décisif³⁵.

Mais cette hypothèse est reliée à la considération précédente: s'il est une 'rationalité de la découverte', et si la clarification des problèmes soumis à l'examen, la mise au jour et l'ordonnement de significations en participent, n'est-ce pas alors que le travail qui y correspond est aussi bien à quelque degré de nature philosophique? Dans ce cas, la philosophie se trouverait présente dans le mouvement même qui établit les propositions fondamentales de la science. C'est ce qu'il faut examiner à travers l'oeuvre de scientifiques, et le philosophe, par là, doit se faire aussi historien des sciences.

PROBLEMES DE SCIENCE, OBJETS DE REFLEXION PHILOSOPHIQUE.

L'on se trouve ainsi amené à s'interroger, à partir de l'oeuvre de chercheurs, sur la nature profonde de la connaissance scientifique. Quelle forme de pensée la physique représente-t-elle? quel genre de travail est celui du physicien? qu'est-ce, exactement, qu'un objet de science? quel type de questions se pose le chercheur scientifique sur cet objet? quelle est, en profondeur, sa nature? Il n'est pas indifférent que ce même objet suscite, outre son élucidation par une science, l'intérêt de la philosophie, qui s'interroge, précisément sur la *connaissance* de cet objet de science: s'y intéresserait-elle autant, et de la manière qu'elle fait, s'il n'était déjà imprégné par naissance et constitution de ses questions?

La philosophie qu'implique l'activité scientifique se présente donc et dans le mouvement même de cette dernière - il comprend le temps de la 'découverte' -, et dans l'interprétation de ses problèmes, résultats et propositions, aux différents niveaux où l'on peut envisager cette interprétation.

Peut-être est-ce la conscience de cette double implication de leur objet d'étude qui donne à la pensée des 'savants philosophes' son intérêt particulier. Ce n'est pas une coïncidence qui les fait en même temps chercheurs dans une science et philosophes, et l'on verrait, à étudier plusieurs cas, que la dépendance entre ces aspects de leur pensée joue dans les deux sens: ce n'est pas une philosophie initiale qui détermine leur travail scientifique, ni ce dernier qui entraîne, par voie de conséquence, leurs conceptions philosophiques³⁶. Il semble, plus profondément, tout en faisant la part des conceptions héritées - en particulier, celle des présuppositions de nature philosophique dans leur formation scientifique -, que l'activité scientifique et l'interrogation philosophique qui l'accompagne chez ces penseurs se manifestent ensemble, sans décalage important de l'une sur l'autre, comme si elles surgissaient d'un seul lieu de problèmes dont la nature serait au début indistincte, à la fois philosophique et scientifique, bien que l'attention se soit portée sur un objet de science circonscrit et précis; cet objet excède la simple

³⁵ Sur la 'nouveau' en science, cf. Paty 1989, chapitre 1.

³⁶ Voir, p. ex., Paty 1986.

positivité de sa description aussi bien que celle du résultat dont il est l'occasion.

Cela n'enlève rien à la nécessité de distinguer ces deux caractères, et il appartient à l'épistémologie de marquer ce qui, dans l'étude d'un problème ou d'un concept, relève strictement de la discipline scientifique considérée et ce qui apparaît comme sa dimension ou ses implications proprement philosophiques: la clarification est nécessaire si l'on veut assurer l'autonomie de la théorie scientifique dans son champ propre - sans autonomie, la science considérée serait, par rapport à la philosophie, dans un état de dépendance arbitraire. Mais c'est un fait que, dans un contexte où une situation inédite se dessine pour les éléments théoriques - et notamment lorsqu'en apparaissent de nouveaux, irréductibles aux anciens -, la distinction n'est souvent pas possible immédiatement; elle ne l'est qu'après une décantation, qui correspond à l'assimilation de la nouveauté ou de la différence. Malgré leur différence de nature, science et philosophie s'accompagnent étroitement, au point de paraître être produites l'une avec l'autre, sinon l'une par l'autre, indissociablement: un même mouvement les porte dans leur surgissement. Cela semble du moins être le cas dans les moments profondément créateurs des sciences particulières.

Bien entendu les problèmes scientifiques ne sont pas tous homogènes et certains sont plus que d'autres prédisposés à une attention philosophique. L'on note d'ailleurs une diversité correspondante chez les scientifiques, surtout à l'époque des spécialisations marquées, où la technicité peut masquer une portée plus vaste. Mais, en vérité, ni *spécialisation* ni *technicité* ne s'opposent à *portée générale* (au sens de signification dans une totalité) ou *philosophique*. S'il est une opposition à trouver entre une démarche scientifique correspondant à une 'pratique philosophique' et une autre qui y correspondrait moins ou lui serait étrangère, ce n'est pas en ces termes qu'on l'exprimera.

Nous ne préjugerons pas de la nature réelle d'une telle opposition, ou de ce qui fait la différence entre diverses attitudes, ou *styles*, scientifiques. Il nous suffira, sans faire d'identification entre science et philosophie, de rechercher ce qui les rapproche, dans le cas d'une pensée créatrice particulière, en tentant de voir comment un problème réputé scientifique s'avère comporter quelque chose qui a la nature d'un problème philosophique, et l'inverse. Et, peut-être, contribuer par là à élucider la nature de la science en tant qu'elle est une forme de pensée.

UNE COMMUNE ORIGINE DE QUALIFICATION DANS LA PENSÉE CRÉATRICE.

Cette commune origine de qualification se manifeste aussi bien à considérer l'objet d'investigation lui-même qu'à examiner la motivation du chercheur et le 'style' de sa recherche.

Le *style* est ce qui constitue la marque propre de l'individualité d'un chercheur dans son approche d'un problème scientifique. Son travail, tendu vers l'objectivité, n'est pas de nature seulement logique et déductive. L'objet de sa recherche, même lorsqu'il est assez précisément circonscrit - par exemple, vers 1900-1905, la nécessité, pour la théorie physique, d'une formulation 'satisfaisante' de l'électrodynamique -, ne se laisse pas décrire de façon univoque: la diversité de ses déterminations possibles définit plutôt un 'champ de rationalité', dans lequel le

travail scientifique individuel s'effectue³⁷.

L'examen comparatif de travaux de chercheurs différents portant, à la même époque, sur un même problème (ou objet), permet de caractériser les différences d'approche entre ces chercheurs, la particularité de chacun de leurs 'styles'. Une telle étude indique comment des choix différents, dans la diversité de ceux qui étaient possibles parmi les éléments susceptibles de conduire à la détermination de l'objet, ont été faits, qui doivent peu au hasard et à l'irrationnel, et permet de mettre ainsi en évidence la 'rationalité' de la 'découverte'. Mais ces choix n'existent pas dans un espace idéal abstrait, ils se proposent à des pensées individuelles, et à chacune d'elle sous des modalités différentes: chacune voit différemment ce qui, considéré de manière globale, apparaît comme un même problème. La démarche de chaque chercheur est délibérément rationnelle, orientée vers un objet qui lui est extérieur, et en même temps marquée par les caractères qui font sa propre individualité: le 'style' correspond à cette intégration de l'individuel dans un travail de la pensée qui vise à l'objectivité.

Cette notion, telle que l'a développée G. Granger dans sa *Philosophie du style*³⁸, est propre à faire voir la dialectique de l'individuel et de l'objectif dans le processus du travail intellectuel, préservant ainsi la rationalité, au lieu de la dissoudre comme le fait la conception 'objectivante'³⁹ qui s'en tient à une dualité statique et close du logique et de l'irrationnel. Les niveaux d'individuation de la pratique scientifique où se marquent les effets de style se rapportent d'une part à la multiplicité des "structures" (ou représentations théoriques) possibles, d'autre part à la "caractérologie" des approches scientifiques (différences des profils intellectuels, choix méta-théoriques, etc.), enfin à la contingence des situations⁴⁰.

On peut considérer que le style du chercheur est la chair même de la rationalisation⁴¹, laquelle aboutit à cristalliser une structure, une théorie constituée, autour d'un objet ainsi redessiné, à partir de celui qui était initialement visé. Le style a à voir de manière évidente avec les significations⁴², notamment quant à l'interprétation des propositions théoriques. Dans le cas des sciences à contenu empirique comme la physique, les structures ou représentations théoriques

³⁷ Sur la notion de 'champ de rationalité', ainsi que sur la question des 'styles', cf. Paty 1989, chapitre 4.

³⁸ Granger 1968, ed. 1988. G. Granger définit la notion de style comme "modalité d'intégration de l'individuel dans un processus concret qui est travail" (ce dernier étant conçu comme "dialectique effective et efficace des formes et des contenus", p. 8). Le style se marque, dans les oeuvres, par les éléments redondants (de manière analogue à ce qu'il est dans le langage d'un individu), le "résidu non exploité", dont la détermination ne dépend pas univoquement de la structure (objet de la visée scientifique); par rapport à elle, "l'effet de style n'est que la conséquence seconde d'une contrainte d'individuation" (p. 299).

³⁹ Je l'entends au sens où elle fige et réduit les éléments qu'elle considère: soit des propositions achevées, soit une "pensée créatrice" conçue comme purement subjective et irrationnelle.

⁴⁰ Dans ce sens, Granger parle du savant comme "acteur qui se saisit pratiquement d'une conjoncture" (Granger 1968, p. 15).

⁴¹ Le style peut être vu "comme une certaine manière d'introduire les concepts d'une théorie, de les enchaîner, de les unifier", et "comme une certaine manière de délimiter l'apport intuitif dans la détermination de ces concepts" (Granger 1968, p. 20).

⁴² Granger note que "les variantes stylistiques correspondent très généralement à des différences de signification" (Granger 1968. Cf. p. 301-302).

possibles correspondant à un problème donné sont multiples, et il est particulièrement intéressant de mettre en relation le style propre du chercheur et le type de théorie à laquelle il s'attache ou qu'il établit, munie de sa signification. Si l'analyse de style, qui concerne des significations, appartient à la philosophie, il n'en est pas moins vrai que le style lui-même, avec les significations qu'il entraîne, comprend la philosophie pratique du chercheur, et que nous retrouvons avec lui l'imprégnation philosophique, plus ou moins consciemment marquée, de l'activité scientifique.

REFERENCES

- BOUVERESSE (Renée, dir.) 1989. *Karl Popper et la science d'aujourd'hui*. Actes du Colloque de Cerisy, 1-11 juillet 1981, Aubier, Paris, 1989.
- CASSIRER (Ernst) 1921. *Zur Einstein'schen Relativitätstheorie*, Bruno Cassirer, Berlin, 1921. Trad. angl., *Einstein's theory of relativity considered from the epistemological standpoint*, in Cassirer 1923 (ed. 1953), p. 347-460.
- CASSIRER (Ernst) 1923. *Substance and function and Einstein's theory of relativity*. Trad. angl. par William Curtis Swabey and Mary Collins Swabey, Open Court, Chicago, 1923; Dover, New York, 1953 [édition utilisée].
- EINSTEIN (Albert) 1917. *Ueber die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*, Gemeinverständlich, Vieweg, Braunschweig, 1917. Tr. fr. par Maurice Solovine, *La théorie de la Relativité restreinte et générale*, Gauthier-Villars, Paris, 1921 [Nouv. ed. avec appendices, 1954, 1969].
- EINSTEIN (Albert) 1949. "Reply to criticism", in Schilpp 1949, p. 663-693.
- GRANGER (Gilles Gaston) 1968. *Essai d'une philosophie du style*. Armand Colin, Paris, 1968 ; éd. revue, Odile Jacob, Paris, 1988.
- GRANGER (Gilles Gaston) 1987. "Leçon inaugurale, chaire d'épistémologie comparative, Collège de France (leçon faite le 6.3.1987)", Collège de France, Paris, 1987; également: *Fundamenta scientiae* 8, 1987, 131-146.
- GRANGER (Gilles Gaston) 1988. *Pour la connaissance philosophique*, Odile Jacob, Paris, 1988.
- GRANGER (Gilles Gaston) 1989. "Peut-on assigner des frontières à la connaissance scientifique?", in Bouveresse 1989, p. 47-61.
- GUSDORF (Georges) 1966. *De l'histoire des sciences à l'histoire de la pensée (Les sciences humaines et la pensée occidentale, 1)*, Payot, Paris, 1966.
- HOLTON, Gerald 1978. *The scientific imagination: case studies*, Cambridge University Press, Cambridge, 1978.
- HOLTON, Gerald 1981. *L'imagination scientifique*. Trad. de l'anglais par Jean-François Roberts, Gallimard, Paris. [Cf. Holton 1978.]
- KUHN (Thomas) 1962. *The structure of scientific revolutions* (1962). Second ed. enl., University of Chicago Press, Chicago, 1970. Trad. fr., *La structure des révolutions scientifiques*, Flammarion, Paris, 1972.
- LAKATOS (Imre) 1970. "Falsification and the methodology of scientific research programmes", in Lakatos, Musgrave 1970, p. 91-196.
- LAKATOS (Imre) and MUSGRAVE (Alan) (eds.) 1970. *Criticism and the growth of knowledge. Proceedings of the International Colloquium in the philosophy of science, London, 1965, vol. 4*, Cambridge University Press, Cambridge, 1970.
- PATY (Michel) 1986. "Mach et Duhem: l'épistémologie de savants-philosophes", *Manuscrito* (Campinas), 9, 1986 (n° 1, avril), 11-49; également in Olivier Bloch (dir.), *Epistémologie et*

matérialisme, Klincksieck, Paris, 1986, p. 177-217.

PATY (Michel) 1988. *La matière dérobée. L'appropriation critique de l'objet de la physique contemporaine*, Archives contemporaines, Paris, 1988.

PATY (Michel) 1990. *L'analyse critique des sciences, ou le tétraèdre épistémologique*, L'Harmattan, Paris, 1990.

PATY (Michel) à paraître (a). *Einstein philosophe. La physique comme pratique philosophique*, Presses Universitaires de France, Paris.

PATY (Michel) à paraître (b). *La pensée physique d'Einstein et les quanta* (à paraître).

POPPER (Karl R.) 1935. *Logik der Forschung. Zur Erkenntnistheorie der modernen Naturwissenschaft*, Springer Verlag, Wien, 1934. Ré-éd. avec additions, 1959; 1968. Trad. angl., *The logic of scientific discovery*, 1959; 1968. Trad. fr. par Nicole Thyssen-Rutten et Philippe Devaux, *La logique de la découverte scientifique*, Payot, Paris, 1973.

POPPER (Karl R.) 1972. *Objective knowledge, an evolutionary approach*, Clarendon Press, Oxford, 1972. Trad. fr. (partielle) par C. Bastyns, *La connaissance objective*, Complexe, Bruxelles, 1978.

REICHENBACH (Hans) 1938. *Experience and prediction*, University of Chicago Press, Chicago, 1938.

REICHENBACH (Hans) 1949. "The philosophical significance of the theory of relativity", in Schilpp 1949, p. 289-311.

REICHENBACH (Hans) 1951. *The rise of scientific philosophy*, University of California Press, Berkeley, 1951; ré-ed. 1973. Trad. fr., *L'avènement de la philosophie scientifique*, Flammarion, Paris, 1955.

SCHILPP (Paul-Arthur, ed.) 1949. *Albert Einstein: philosopher-scientist*, The library of living philosophers, Open Court, LaSalle (Ill.), 1949. Ré-ed. 1970.

WARTOFSKY (Marx) 1968. *Conceptual foundations of scientific thought. An introduction to the philosophy of science*, Mac Millan, London, 1968.

WITTGENSTEIN (Ludwig) 1921. *Logisch-Philosophische Abhandlung*, [paru tout d'abord dans les] *Annalen der Naturphilosophie*, 1921. Trad. angl. par D.F. Pears et B.F. Mc Guinness, *Tractatus logico-philosophicus*, Routledge and Kegan Paul, London, 1961.

ZAHAR (Elie) 1983. "Logic of discovery or psychology of invention?", *The British Journal for the philosophy of science* 34, 1983,.

ZAHAR (Elie) 1989. *Einstein's revolution. A study in heuristics*, Open Court, La Salle (Ill.), 1989.