

La pensée créatrice et la relativité d'Einstein

Michel PATY

Einstein a formulé sa théorie de la relativité en deux temps, qui correspondent à deux formes distinctes, la théorie de la relativité restreinte, obtenue en 1905 (mais “ ruminée ” pendant près de dix ans), et la théorie de la relativité générale, dont la première idée lui vint en 1907, exprimée dans sa forme achevée en 1915. La seconde peut être vue comme un prolongement ou une radicalisation de la première. Les deux sont aujourd'hui pleinement incorporées à l'ensemble des connaissances de la physique. Mais il n'en fut pas ainsi au début, dans la période qui suivit leur apparition, car elles apportaient des éléments de *nouveauté*, voire d'étrangeté, par rapport à la compréhension antérieure de cette science. Elles demandaient un certain bouleversement et une réorganisation des représentations ; il fallait aussi que ces nouvelles idées se montrent justifiées de manière incontestable : tout ceci demanda du temps.

La nouveauté comme invention

Le surgissement de cette nouveauté dans les conceptions physiques n'était pas *prévisible* auparavant ; de même, nous ignorons aujourd'hui les chemins de notre science future. C'est que les changements dans les sciences ne suivent pas un simple déroulement logique qui aurait déjà été contenu en puissance dans les prémisses, c'est-à-dire dans les connaissances antérieures. Et cependant, ils correspondent à la mise en place de représentations *rationnelles*. Entre les diverses étapes de ces connaissances rationnelles, il y a comme une sorte de *saut*, une *discontinuité* de la précédente à la suivante. C'est le saut de l'*invention*, de la *création*.

Il peut paraître paradoxal de parler d'*invention*, et même de *création*, à propos de *science*, et notamment à propos de la physique, puisque celle-ci est censée décrire *le monde tel qu'il est*, certes avec les moyens de nos possibilités de représentation, c'est-à-dire *la pensée symbolique* qui a pour siège le cerveau. Et cette création doit être d'un genre particulier, puisqu'il lui faut se confronter en permanence à ce qui est, qui nous apparaît sous les formes de ce qui nous est donné, connu par les sens et par l'expérience. Mais, de toutes façons, en quelque sorte, les représentations du monde «tel qu'il est» ne se trouvaient pas à l'origine dans notre cerveau. Elle s'y sont formées par l'enseignement et par la compréhension individuelle et, au départ pour chaque nouvelle étape, par l'invention de quelque chose *qui n'était écrit nulle part*. Le rôle de la création dans la formation des connaissances scientifiques n'a pas toujours été évident dans

l'histoire des idées, et l'on peut même dire que la conscience en est très récente : elle date à peu près du début du vingtième siècle (voir *Encadré 1*).

Il en est ainsi de la théorie de la relativité d'Einstein, ou plutôt de ses deux théories découvertes successivement, qui constituent de véritables *inventions* et *créations scientifiques* au sens propre. En quoi s'agit-il d'invention, de création ? Et de quelle manière est-il possible d'en suivre le processus dans la pensée du créateur scientifique ? Pour répondre à ces questions, le mieux est de tenter de comprendre ce qui s'est effectivement passé... dans la tête de l'auteur de ces travaux, pour autant que cela soit possible. Bien entendu, il serait illusoire de prétendre pouvoir rendre compte de la genèse de ces idées dans toute sa complexité : les aspects psychologiques, en particulier, en demeureront inaccessibles, du moins ceux qui ne restent pas à un niveau superficiel et qui ont à voir avec le travail sur les idées elles-mêmes. Mais il est cependant possible de suivre des éléments significatifs du travail de la pensée qui a mené à ces découvertes.

Suivre ces éléments, c'est discerner en eux un raisonnement. Mais la marche d'une pensée créatrice peut-elle être rationnelle, si elle fait, à un moment ou à un autre, le saut de l'invention d'une radicale nouveauté ? Nous devons donc dépasser cette opposition apparente entre la rationalité et l'invention créatrice : non pas pour ramener (et réduire) la seconde à la première, mais pour comprendre ce qu'enseigne la seconde dans son rapport à la première (la rationalité). Disons tout de suite que l'invention créatrice en sciences part de la rationalité, s'appuie sur elle, et la retrouve au terme, dans son résultat, avec un champ d'application élargi.

L'identification d'une difficulté

La théorie de la relativité (restreinte) telle que l'a élaborée Einstein a été la réponse qu'il a trouvée à des difficultés posées par la *mécanique classique* et par la *théorie électromagnétique*, toute deux très puissantes cependant, chacune dans son domaine respectif, à savoir : les propriétés des corps en mouvement pour la première, les phénomènes électriques, magnétiques et lumineux pour la seconde. Les problèmes surgissaient quand on voulait rendre compte des phénomènes électromagnétiques pour les corps en mouvement, c'est-à-dire au point de rencontre des deux théories. Quels étaient ces problèmes ? Il est possible de les formuler de manière rationnelle, mais on doit remarquer que cette formulation n'était pas unique (Voir *Encadré 2*).

Einstein était conscient des difficultés de la théorie de la lumière pour rendre compte des phénomènes liés au mouvement. Il les formulait de la manière suivante : les expériences d'optique des corps en mouvement, en ne montrant pas, contrairement à l'attente générale, le mouvement absolu par rapport à l'éther immobile, ne faisaient qu'*exprimer la relativité des mouvements pour l'optique*, c'est-à-dire pour les systèmes d'éther et de matière. Cette relativité n'était jusqu'alors conçue et formulée que pour la mécanique, c'est-à-dire les mouvements des corps matériels. Fallait-il l'étendre à l'optique et même à l'électromagnétisme ? Une raison fondamentale l'empêchait jusqu'alors : la différence entre l'éther (électromagnétique et lumineux) et les corps. Le premier étant supposé être en repos absolu (comme on l'admettait depuis la théorie de l'optique ondulatoire de Fresnel, comme l'avait confirmé l'expérience de Fizeau, et comme la théorie des électrons en

vibration de Lorentz l'avait généralisé), il s'opposait au mouvement relatif des corps selon la mécanique. En somme, les expériences d'optique sur le mouvement indiquaient la relativité du mouvement, alors que la base même de la théorie électromagnétique de la lumière, l'éther, y était contraire.

Mais ce n'était pas tout, et Einstein s'interrogeait aussi sur le comportement des champs électrique et magnétique en mouvement, et sur la théorie électromagnétique, qui relie entre elles les variations dans le temps de ces champs. Il s'interrogeait depuis quelque temps sur le phénomène d'*induction électromagnétique* et sur l'effet, en général, d'un circuit électrique fermé en mouvement sur un aimant et celui, réciproque, d'un aimant en mouvement sur un circuit électrique fermé. Il avait eu l'occasion de faire de nombreuses fois ces expériences en laboratoire, et il savait que l'on obtient le même résultat net, si c'est le circuit fermé ou l'aimant qui est en mouvement : ce qui compte, c'est le *mouvement relatif*.

Et cependant la théorie électromagnétique en donne, dans les deux cas, une explication différente puisque les champs électrique et magnétique y sont conçus comme des ébranlements d'un éther immobile (un courant électrique en mouvement engendre une force électromotrice qui agit sur le champ magnétique, tandis qu'un champ magnétique en mouvement engendre un courant induit dans le circuit fermé). L'éther en repos absolu, lieu et support supposé des champs, introduisait une dissymétrie dans l'explication des phénomènes, qui ne correspondait pas à la nature.

Nous ne voyons jusqu'ici rien que de très rationnel, et cependant, selon des formulations qui n'auraient pas été nécessairement évidentes pour tout le monde : la rationalité n'est pas univoque, elle caractérise non pas *une* mais *des* façons de voir diverses. On voit déjà qu'une plus ou moins grande finesse d'analyse, un discernement particulier, entraîne une façon de voir originale. Devant un problème, ou une difficulté, la manière de raisonner n'est pas unique (et nous pourrions essayer d'analyser pourquoi les uns raisonnent de telle façon et les autres d'une autre). Mais poursuivons.

“L'idée que deux cas essentiellement différents fussent en jeu, écrivit plus tard Einstein à ce propos, m'était insupportable” : ce ne pouvait être qu'une différence de points de vue, non une différence réelle. Or la théorie portait, à ses yeux, sur les *phénomènes physiques réels*, et devait s'abstraire d'un point de vue particulier sur eux. On voit ici que la formulation du problème théorique par Einstein était orientée par un programme d'*objectivité* qui, en un sens, *surdéterminait* sa pensée physique par rapport à une simple préoccupation pour des données empiriques et des équations (ce qu'on appelle souvent aujourd'hui une *modélisation*). Mais elle ne cessait pas, pour autant, d'appartenir au champ de la rationalité.

Deux principes en conflit

Quoiqu'il en soit, cette exigence «méta-théorique» lui fit expliciter deux idées théoriques corrélatives l'une de l'autre, et les poser comme fondamentales : celle d'un principe de *relativité* étendu de la mécanique à l'électromagnétisme, et celle d'*invariance* des lois dans les mouvements relatifs. Si l'éther immobile de la théorie électromagnétique lui paraissait ainsi en cause, il restait de cette théorie une

propriété fondamentale qui, pour Einstein, en quelque sorte la résumait : la *constance de la vitesse de la lumière dans le vide*, quelque soit le mouvement des corps qui l'ont émise. Einstein l'érigea donc aussi en principe physique fondamental. Il pouvait dès lors traduire la difficulté de la théorie électromagnétique comme la confrontation des deux principes (ce dernier, et celui de relativité). Car ces principes étaient incompatibles, ou du moins ils paraissaient l'être. En effet, la vitesse constante de la lumière est considérée par rapport à l'éther, en repos absolu ; dans un système en mouvement, elle serait différente, et l'on pourrait, par elle, distinguer un référentiel au repos d'un qui serait en mouvement.

Cette formulation «logico-conceptuelle» du conflit entre la théorie électromagnétique et les propriétés du mouvement, fruit d'un travail conceptuel de la pensée physique, exprimait d'une manière singulièrement «économique» la contradiction entre la théorie électromagnétique et la mécanique. Par contrecoup, elle posait les conditions d'une réforme, l'une par l'autre, de ces deux théories, chacune représentée par son principe physique le plus fondamental.

De la confrontation des deux propositions surgit la solution, qui consista à réformer l'espace et le temps. Le fil d'une rationalité directe (même non univoque) ne semble plus suffisant, ici, pour guider seule le mouvement de la pensée : la *difficulté* était, de fait, un réel *obstacle*, qui demandait, pour aller de l'avant, un véritable saut conceptuel. Einstein ne nous en a pas dit plus, et lui-même n'aurait sans doute pas su reproduire exactement la suite de réflexions qui accompagna chez lui la prise de conscience de la difficulté. Nous ne connaissons que le moment de la sortie : *l'espace et le temps*, qui servent à exprimer les phénomènes physiques et les mouvements des corps, devaient être conçus comme des *grandeurs* pleinement *physiques*, donc *soumises elles-mêmes aux deux principes physiques* énoncés, ce qui devait amener à modifier leur définition.

Comment la réflexion d'Einstein est-elle passée de l'énoncé de la difficulté de concilier les deux principes à cette solution ? Par un processus de pensée complexe, assurément, qui se manifesta chez lui par une illumination soudaine : la difficulté provenait d'une définition arbitraire, non physique, contraire aux deux principes choisis pour base fondamentale, des concepts d'espace et de temps et, partant, des vitesses.

Comment la pensée débrouille un noeud conceptuel

C'est que les deux principes apparemment inconciliables n'étaient pas seuls, mais constituaient un complexe conceptuel avec les propriétés des grandeurs qui les accompagnaient. L'obstacle posé à la pensée était, en fait, un noeud de concepts imbriqués, dont rien ne permettait à première vue d'identifier ceux des fils qui permettraient de dénouer la pelote serrée. Seule une sorte de saisie synthétique immédiate, plus intuitive qu'analytique, fit voir, soudainement, après plusieurs semaines d'efforts infructueux, la voie de la sortie, les brins à tirer. Einstein se rendit compte que les deux principes n'étaient inconciliables que parce qu'une proposition implicite se tenait entre eux : la règle d'addition galiléenne des vitesses. Et, dès lors, ce n'étaient pas deux, mais trois propositions qui, prises ensemble, étaient inconciliables. Si l'on dispose d'une règle de composition des vitesses qui n'altère en aucun cas la vitesse de la lumière, la difficulté s'évanouit et la conciliation des deux principes est immédiate.

Comment trouver cette autre règle ? Simplement en renversant la perspective théorique : partant des deux principes supposés acquis, et reformulant les grandeurs physiques en fonction d'eux, notamment les distances et les durées, c'est-à-dire les concepts d'espace et de temps, contre leurs définitions absolues admises depuis Newton. Dans ces définitions, d'autres propositions implicites se tenaient, comme le lien entre l'idée d'une simultanéité absolue et d'une action instantanée à distance entre les corps. Einstein commença à réformer le temps et l'espace absolus en effectuant une critique de la simultanéité absolue, pour laquelle il s'aida de l'idée (présente depuis Faraday) d'une propagation des actions de proche en proche. Il exprimerait plus tard l'idée que la théorie de la relativité restreinte n'était rien d'autre que l'ajustement logique des grandeurs définies par Newton à l'idée de champ introduite par Faraday.

Du nouveau sens physique des coordonnées d'espace et de temps Einstein déduisit directement les formules de transformation que Lorentz et Poincaré avaient, de leur côté, trouvé par une voie plus empirique. La théorie de la relativité (plus tard appelée restreinte) d'Einstein avait trouvé sa formulation, comme une nouvelle cinématique appropriée à l'invariance relativiste, suivie des conséquences tant sur la forme des équations de l'électromagnétisme que sur les celles de la mécanique elle-même.

Dans la résolution du noeud de la difficulté, où principes, concepts, contenus et formes de ces derniers sont étroitement imbriqués, participa sans aucun doute tout un réseau de réflexions où des acquis antérieurs, des influences et des lectures, auront eu un rôle (entre autres, les analyses critiques de Mach sur l'espace et le temps absolus de Newton), mais ramassés dans un appel synthétique de l'intuition.

Intuition et création

Nous avons décelé, dans le mouvement de la pensée d'Einstein (analysé à partir de divers écrits, contemporains de son travail ou postérieurs), une ligne rationnelle de mises en problème, mais qui, pour être rationnelles, n'en portent pas moins la marque d'originalité de son « style » et d'un esprit créateur. (On peut parler, je crois, de création dans ces mises en problèmes). Nous avons trouvé aussi, en suivant son travail, au bout d'une formulation qui lui est propre, une difficulté qui ne peut être résolue sans un saut de la pensée : c'est qu'elle tient aux limitations des théories et des concepts selon lesquels le chercheur pensait jusqu'ici « naturellement ». Ici intervient la rupture avec cette pensée antérieure, pour atteindre un autre domaine conceptuel tout autant rationnel. Un saut conceptuel a été nécessaire pour gagner en intelligibilité : le processus de pensée qui y correspond échappe à une détermination exacte. Un tel saut correspond à un degré supérieur de la créativité. Sans doute cet état de chose est-il dû à ce que « du nouveau » est apparu, qui n'était pas contenu, même implicitement, dans la connaissance précédente.

Dans ce travail, l'intuition, tient un grand rôle : entendons-là dans le sens de perception (intellectuelle) *synthétique* d'un ensemble complexe de concepts en relation entre eux. Ajoutons que le *raisonnement*, plus explicite, et l'intuition, conçue dans ce sens, ne sont pas deux modes de pensée en opposition car, dans le choix de ses chemins, le raisonnement est souvent guidé par l'intuition (il l'est à

l'évidence dans le cas ici étudié).

Einstein devait lui-même tirer l'une des conséquences philosophiques de son expérience de la pensée physique, de sa créativité scientifique (renouvelée, sous une forme plus riche encore, et plus radicale conceptuellement, avec l'invention de la relativité générale, voir *Encadré 4*), en invoquant le caractère de *libre création* des concepts, des principes et des théories physiques (et scientifiques, d'une manière générale). Pour lui, si la physique se base sur l'expérience, ses idées théoriques ne sont pas le fruit d'une sorte d'induction logique à partir des données de l'expérience, mais sont des créations ou constructions, effectuées à partir du matériau empirique, mais d'une manière libre d'un point de vue logique par rapport à celui-ci. La légitimité de ces constructions quant à leur caractère physique tient à leur adéquation d'ensemble aux données sur le monde réel.

BIBLIOGRAPHIE.

Oeuvres d'Einstein.

Les textes fondateurs de ces théories ont été republiés dans l'édition critique des Oeuvres complètes d'Einstein actuellement en cours : Albert Einstein, *The Collected Papers of Albert Einstein*, Edités par John Stachel, Martin Klein et coll., Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1987-1998 (8 vols. Parus), vols. 2, 3, 7.

Pour une traduction en français des textes principaux, voir :

Albert Einstein, *Oeuvres choisies*, traduites en français par le groupe de trad. de l'ENS Fontenay-St-Cloud et coll., édition publiée sous la direction de Françoise Balibar. Seuil/éd. du CNRS, Paris, 6 vols., 1989-1993, vols. 2 et 3.

On consultera aussi la correspondance, répartie dans plusieurs volumes de ces éditions.

Pour des études approfondies par l'auteur sur les sujets abordés ici, voir :

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

Michel Paty, «Le style d'Einstein, la nature du travail scientifique et le problème de la découverte», *Revue philosophique de Louvain*, 94, 1996 (n°3, août), 447-470.

Michel Paty, «La création scientifique selon Poincaré et Einstein», in Michel Serfati, (éd.), *La recherche de la vérité*, Coll. L'écriture des Mathématiques, ACL-Éditions du Kangourou, Paris, 1999, p. 241-280.

Michel Paty est directeur de recherche au Centre National de la Recherche Scientifique.

Courriel : paty@paris7.jussieu.fr

ENCADRE 1

LA PHILOSOPHIE ET L'IDEE D'INVENTION SCIENTIFIQUE

(L'invention : un no man's land philosophique)

Le thème de l'invention scientifique (et de la création) est relativement nouveau dans l'histoire des idées et en particulier en philosophie, même si depuis très longtemps les philosophes ont fait une place importante à l'«intuition» dans l'acquisition des connaissances. Descartes, par exemple, admet l'invention comme capacité de l'intellect, mais il désire la soumettre à des critères normatifs, à la «méthode» ; s'il insiste sur l'expérience «subjective» de la connaissance, il cherche essentiellement à comprendre les fondements de la certitude à quoi elles aboutissent. Au XVIII^e siècle, nombreux sont les penseurs qui s'attachent à décrire les processus cognitifs ou à établir leurs conditions, en faisant la part des impressions des sens et de la sensibilité dans la formation des idées, de Locke à Condillac, Berkeley, Diderot, d'Alembert, Hume, Kant. Le XIX^e siècle voit cette préoccupation se développer en direction des processus physiologiques d'acquisition des connaissances (avec notamment von Helmholtz et Ernst Mach), et de leurs aspects psychologiques (Charles S. Pierce, William James, Théodore Ribot, Henri Bergson, Edouard Le Roy, ...). Mais si le thème de l'invention retenait ainsi l'attention, c'était surtout sous l'angle des mécanismes de la pensée considérés pour eux-mêmes, plutôt que les effets de cette invention sur la connaissance.

Henri Poincaré et Albert Einstein, tous deux scientifiques et philosophes, sont à compter parmi les quelques penseurs dont l'épistémologie porte au premier chef sur le rapport de l'invention et de la création scientifiques aux contenus rationnels des connaissances ainsi produites. Peu de philosophes les ont suivi sur ce terrain. On peut mentionner, parmi les exceptions, Abel Rey, qui parlait, en s'inspirant de la pensée de Poincaré, des mathématiques comme d'«inventions primordiales de [la] raison théorique», ou Emile Meyerson, qui s'attachait à pénétrer «l'énigme du cheminement de la pensée» dans l'activité scientifique comme dans la pensée commune. Gaston Bachelard indiquait, quant à lui, l'importance des effets d'obstacles épistémologiques sur l'établissement de connaissances nouvelles, mais les caractérisait en référence à la psychologie.

En somme, si l'univers philosophique avait fait désormais sa place à l'idée d'une *invention* des formes théoriques, ce fut rarement en concevant qu'il pouvait s'agir là d'un champ d'investigation pour la philosophie elle-même. Ce thème devait même être absolument banni par le positivisme et l'empirisme logiques, qui restreignaient le domaine de la philosophie de la connaissance aux propositions scientifiques logiquement formulées.

C'est, d'une manière générale, la contradiction apparente entre *invention* ou *création* et *objectivité* qui a retenu ces philosophes de considérer la création scientifique parmi les problèmes de la philosophie de la connaissance. Ils la renvoyaient (comme, par exemple, Karl Popper) à un moment irrationnel, relevant de la psychologie, et la philosophie ne devait porter que sur les connaissances une fois formulées, non sur le mouvement de la pensée qui les fait naître. La distinction entre un «contexte de découverte», et un «contexte de justification» (Hans Reichenbach), ce dernier étant considéré comme seul digne de l'attention de la philosophie, resta largement acceptée jusque récemment. Pour que les propositions scientifiques puissent être étudiées par la philosophie de la connaissance, il fallait

les “reconstruire rationnellement” (Imre Lakatos), après leur découverte, ce qui revenait à les considérer comme fort peu rationnels dans leur surgissement.

C'est ainsi que la philosophie de la connaissance contemporaine, dans la lignée de l'empirisme et du positivisme logiques qui ont fleuri au XX^e siècle, a évacué l'invention et la création scientifiques comme des moments irrationnels, nécessaires, mais incontrôlables et passagers. Ce thème fut ainsi abandonné à un *no man's land* philosophique, sans prendre en compte la rationalité qui guide les processus de la pensée, et diverses doctrines s'en emparèrent, de l'histoire sociologique à «paradigmes» de Thomas Kuhn à la «théorie anarchiste de la connaissance» de Paul Feyerabend et aux «relativismes post-modernes» associés à des études dites «socio-anthropologiques» de pratiques scientifiques sans égard pour les contenus de pensée correspondants. Mais le thème de la découverte et de l'invention scientifique semble heureusement être l'objet d'un intérêt nouveau de la part de travaux d'épistémologie récents.

MP.

(raccourci à la publication)

ENCADRE 2

LE DEVELOPPEMENT DES SCIENCES ET L'IDEE D'INVENTION SCIENTIFIQUE
(La naissance du conventionalisme)

L'évolution des sciences elles-mêmes, notamment de la physique et des mathématiques, au cours du XIX^e siècle, a grandement contribué à la prise de conscience de l'invention et de la création dans l'activité scientifique. Les mathématiques y sont de plus en plus conçues indépendamment de la «nature», on y développe des géométries qui paraissaient contredire l'« évidence » de l'expérience commune (les géométries non-euclidiennes), des disciplines abstraites comme l'algèbre (plus abstraite que la géométrie), et des notions abstraites et d'objet plus général comme celle de groupe.

La physique, se développe alors également, dans ses divers domaines (optique, électricité, magnétisme, thermodynamique), à travers l'élaboration de théories de plus en plus mathématisées, analytiques et algébriques. Elle laisse voir avec sans cesse plus d'évidence la distance entre les données de l'expérience immédiate et l'abstraction de la théorie formalisée, faisait appel à des concepts d'expression mathématique abstraits comme le champ, l'énergie, le potentiel, et le caractère de construction de ces théories est plus visible que les formulations antérieures. On prend également conscience de ce que les concepts de la physique, à commencer par ceux de la mécanique classique, longtemps pris pour des absolus et considérés comme “naturels”, sont modifiables et susceptibles d'évolution : c'est qu'il sont *construits* par la pensée.

Ces constructions sont, pour Poincaré ou pour Einstein, des “libres créations par la pensée”, à partir du donné de l'expérience, mais soumises à des contraintes : elles sont orientées, pour la physique, vers une représentation descriptive et explicative des phénomènes de la nature ; dans le cas des mathématiques, vers la consistance interne des systèmes d'objets construits et de leurs contenus propres.

MP

ENCADRE 3

DIVERSES FAÇONS DE FORMULER UN PROBLEME : L'ELECTRODYNAMIQUE

Hendryk Lorentz, Henri Poincaré et d'autres, que préoccupaient les mêmes questions sur l'électromagnétique et le mouvement qu'Einstein abordait avec sa théorie de la relativité restreinte, les voyaient différemment, et ces points de vue différents étaient *a priori* tous autant légitimes les uns que les autres. Ils concernaient, d'une part, la lumière et l'éther lumineux, milieu supposé nécessaire pour concevoir des vibrations lumineuses, lesquelles étaient conçues, depuis James Clerk Maxwell, comme des ondes électromagnétiques, émises par les variations dans le temps de champs électromagnétiques. Ils concernaient, d'autre part, les champs magnétiques et électriques emportés par des corps en mouvement.

Lorentz et Poincaré insistaient sur les phénomènes lumineux et sur les expériences portant sur le mouvement qui les concernaient (expériences de Fizeau et de Michelson-Morley). La *théorie* de Maxwell-Lorentz (d'électrons en vibration émettant la lumière) proposée en 1895 et l'*expérience* de grande précision de Michelson-Morley (datant de 1886) étaient en désaccord : telle était la difficulté selon leur manière de la formuler. La solution qu'ils trouvèrent était directement marquée par cette formulation (je ne fais ici que l'indiquer) : il fallait ajouter à la théorie une «contraction» des corps dans la direction de leur mouvement, supposée résulter d'une transformation des coordonnées et du temps variables quand on passe du repos au mouvement (transformations «de Lorentz»). Cette transformation tenait, selon Lorentz et Poincaré, à la dynamique qui gouvernait les phénomènes électromagnétiques ; elle était compatible avec le principe de la relativité du mouvement et avait pour conséquence l'invariance de la vitesse de la lumière. Elle entraînait une formulation nouvelle des équations entre les champs électrique et magnétique qui, cette fois, rendait compte des expériences.

MP

(supprimé dans la publication)

ENCADRE 4.

A PROPOS DE L'INVENTION DE LA RELATIVITÉ GÉNÉRALE

(De la relativité restreinte à la relativité générale)

On pourrait suivre la genèse, dans la pensée d'Einstein, de la théorie de la relativité générale comme extension du principe de relativité et généralisation de la théorie de la relativité restreinte aux mouvements quelconques, en tentant d'en faire ressortir les rapports de la création d'idées aux contenus de rationalité. La constitution de cette théorie comporte, elle aussi, plusieurs phases, que l'on peut retracer plus aisément que pour la relativité restreinte, car chacune fut ponctuée par des publications importantes et par des réflexions et des remarques de l'auteur accompagnant sa démarche auxquelles s'ajoutent d'autres, rétrospectives, qui éclairent sur certains aspects caractéristiques de son travail, en particulier sur ses intentions «programmatisques».

Mais là non plus, une reconstitution complète n'est pas possible. Si un fil de rationalité claire court au long du travail d'élaboration de cette théorie d'un genre nouveau (une théorie des invariances conduisant à une sorte de géométrie de la gravitation), il se perd à plusieurs reprises dans des nœuds complexes que seules une intuition de génie et l'acquisition d'une habileté dans le maniement du formalisme mathématique pouvaient résoudre. La création, ici plus peut-être qu'ailleurs, se rend manifeste, et Einstein en fut pleinement conscient.

La conscience de ce saut de la pensée créatrice pour édifier de toutes pièces (ou quasiment) une théorie physique qui paraissait alors radicalement neuve fut fondamentale sur sa pensée physique et épistémologique. Elle radicalisa la conception qu'il se faisait de la nature du travail théorique, et réorienta en partie sa manière d'aborder les problèmes physiques, en modifiant sa conception du rôle des mathématiques dans la pensée physique des phénomènes. (Il s'agit ici du calcul tensoriel et de la géométrie non euclidienne de Bernhard Riemann).

MP

ELEMENTS BIBLIOGRAPHIQUES POUR L'ANNEXE 1

BERGSON, Henri [1934]. *La pensée et le mouvant*, Alcan, Paris, 1934 ; in *Oeuvres*. Edition du centenaire, éd. par André Robinet, Presses Universitaires de France, Paris, 1959 ; 1963.

FEYERABEND, Paul [1975]. *Against Method*. Trad. fr. par Baudouin Jurdant et Agnès Schlumberger, *Contre la méthode, esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance*, Seuil, Paris, 1979.

HADAMARD, Jacques [1945]. *An essay on the psychology of invention in the mathematical field*, Princeton University Press, Princeton (N.J.), 1945. Trad. fr. par Jaqueline Hadamard, *Essai sur la psychologie de l'invention dans le domaine mathématique*, Gauthier-Villars, Paris, 1975.

HOLTON, Gerald [1978]. *The Scientific Imagination. Case Studies*, Cambridge University Press, 1978.

JAMES, William [1907]. *Pragmatism : a new name for old ways of thinking*, 1907. Trad. fr. par E. Le Brun et M. Paris, Préface de Henri Bergson, *Le pragmatisme*, Flammarion, Paris, 1911.

KUHN, Thomas L. [1962]. *The Structure of Scientific Revolutions* (1962), 2nd rev. enlarged ed., University of Chicago Press, 1970. Tr. fr., *La Structure des Révolutions Scientifiques*, Flammarion, Paris, 1972.

LAKATOS, Imre [1978]. *The methodology of scientific research programmes. (Philosophical papers, vol. 1)*, Edited by John Worrall and Gregory Currie, Cambridge University Press, Cambridge, 1978.

MEYERSON, Emile [1931]. *Du cheminement de la pensée*, 3 vols., Alcan, Paris, 1931.

POINCARÉ, Henri [1908a]. *Science et méthode*, Flammarion, Paris, 1908 ; 1918.

POPPER, Karl [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.

REICHENBACH, Hans [1938]. *Experience and prediction*, University of Chicago Press, Chicago, 1938.

RIBOT, Théodule [1900]. *Essai sur l'imagination créatrice*, Paris, 1900.

(Non retenu à la publication)