

Le style d'Einstein, la nature du travail scientifique et le problème de la découverte*

Michel PATY**

RESUME

Il semble que la science, au sens de l'activité des scientifiques, ne soit pas vraiment la même que celles dont s'occupent, chacune de leur côté, la réflexion philosophique et la recherche historique. Les scientifiques eux-mêmes ne sont pas toujours sensibles au lien que leur travail entretient avec la philosophie et avec l'histoire des sciences, bien qu'il concerne des significations et soit en situation d'état provisoire, entre une connaissance passée et des développements ou des interprétations futures. Cependant, les leçons de la découverte et du travail scientifique, telles que ceux-ci se révèlent à travers la formulation par Einstein de la théorie de la relativité restreinte, cas étudié ici à titre d'exemple, montrent les rapports réciproques et nécessaires entre ces diverses dimensions de ce qu'on appelle la science. Cette mise en relation permet d'aborder d'une manière renouvelée certains problèmes ou certaines apories traditionnelles de la pensée de la connaissance scientifique.

* Ce texte est basé sur les notes pour une conférence donnée au Séminaire de Philosophie des sciences de la nature (ISP 3132), Institut Supérieur de Philosophie, Université de Louvain-la-Neuve (Belgique), le 4.2.1994, sous le titre "La découverte scientifique entre l'histoire et la philosophie. A propos de la théorie de la relativité". J'ai modifié le titre pour le présent article. Je remercie Michel Ghins pour son intérêt porté à ce travail. Sur les aspects philosophiques et méthodologiques plus généraux de la question de la découverte, je renvoie à un autre travail préparé en parallèle, sous le titre "La découverte scientifique entre l'histoire et la philosophie" [à paraître].

** Equipe REHSEIS (UPR 318, CNRS) et Université Paris 7-Denis Diderot, Paris. Adresse postale: 27 rue Damesme, F-75013 Paris, France.

INTRODUCTION

Par son existence même et par ses renouvellements incessants, la science nous instruit d'une leçon qui paraît évidente mais ne l'est pourtant pas toujours aux yeux du philosophe: qu'elle ne se réduit pas au contenu de ses propositions fixées, à des structures prises comme objectives, mais qu'elle est avant tout pensée, et mouvement de cette pensée. En se préoccupant de décrire et d'expliquer, la science invente de nouvelles formes d'intellection. Par son mouvement, elle concerne l'histoire; par sa fonction d'intellection et son appel à des significations, elle tient à la philosophie. Et cependant, le rapport de la science à la philosophie aussi bien qu'à l'histoire est, par delà les controverses inévitables et les débats nécessaires, l'objet de véritables malentendus.

Considérons d'abord la question du rapport entre la science et la philosophie. Certes, il est peu de philosophes qui n'aient tenu compte, dans leurs élaborations, d'éléments provenant des renouvellements des sciences contemporaines, et notamment de la physique. Mais la manière de le faire et la conception des incidences de la science sur la philosophie sont, d'un philosophe à l'autre, bien différentes. Il s'agit, pour les uns, de tirer les leçons philosophiques des connaissances scientifiques, tandis que, pour les autres, c'est la philosophie qui indique de quelle façon les propositions de la science doivent être interprétées. Quant aux non philosophes, une certaine image de la science, fréquente chez les scientifiques eux-mêmes, conforte volontiers l'idée qu'elle n'a rien à recevoir de la philosophie: si les deux, autrefois, avaient partie liée, ce ne serait plus le cas désormais, la science étant parvenue à la maturité et ayant définitivement affirmé son autonomie.

Il ressort de ces diverses positions que les sciences et la philosophie paraissent aux yeux de beaucoup séparées par des cloisons presque étanches, comme si elles étaient étrangères et extérieures l'une à l'autre dans le mouvement qui les porte. La philosophie aurait abandonné à la science le soin de la description objective du monde et des aménagements de ce dernier permis par la technique; et la science, croulant sous la somme de ses savoirs, aurait décidé d'abandonner d'être une pensée critique. De son côté, la science aurait laissé à la philosophie la tâche - vaine au regard du savoir positif - de penser les conditions de possibilité de la connaissance et peut-être de dire le sens.

Telle est, en gros, la division du travail traditionnellement acceptée entre

la science et la philosophie, depuis Kant jusqu'à nos jours. Il existe bien une relation entre science et philosophie, mais elle est marquée par d'étroites frontières. Les oeuvres scientifiques importantes ont des incidences fortes sur la philosophie, mais d'une manière indirecte, par la réorganisation des conceptions philosophiques que permet une science fournissant la connaissance des structures du monde et les outils intellectuels de cette connaissance.

C'est ainsi, par exemple, que l'on a généralement ramené l'aspect philosophique de l'oeuvre d'Einstein aux commentaires que les philosophes pouvaient faire après coup sur les incidences, dans leur domaine de pensée, des nouvelles connaissances regardées comme acquises, négligeant de considérer que leur élaboration elle-même avait peut-être à voir avec la philosophie, tant directement, par le cheminement même de la pensée scientifique au travail, que de manière réflexive, par l'interrogation sur le sens des résultats obtenus et sur la nature du processus de pensée qui y a conduit. Car ce dernier, à vrai dire, est avant tout, comme en philosophie, fait de problèmes posés et d'un incessant questionnement sur leur contenu et leur signification.

Si l'on passe maintenant à l'histoire, on constate que les relations entre les sciences et l'histoire des sciences sont également - quoique selon des modalités différentes - l'objet de controverses, mais aussi, et cela est plus grave, de malentendus. Nous nous en tiendrons ici à en évoquer deux aspects.

Le premier concerne la définition même d'une science, ou d'une connaissance donnée, qui semble dictée, même aux historiens des sciences - du moins dans une tradition encore souvent présente -, par la manière dont les scientifiques eux-mêmes la reconnaissent, c'est-à-dire par son état présent, quand le travail passé qui l'a constitué a été effectué et les découvertes assimilées. A suivre cette vue, il y aurait, par la nature même de la science, une sorte de nécessité qui affecterait les faits historiques la concernant et aboutirait à estomper cet état de fait pourtant indéniable que quelque chose de nouveau à un certain moment apparaît, un impensé qui se donne jour à partir d'éléments pensés et structurés préalables. Cette nouveauté qui, comme telle, est souvent insaisissable immédiatement, se voit alors banalisée à la manière d'un développement qui aurait été attendu, prévisible, comme par une pensée finaliste. Les débats sur la continuité ou la discontinuité dans le mouvement des sciences, ou sur la nature des "révolutions scientifiques", s'accordent de fait sur des versants opposés d'une même attitude qui revient à nier de fait qu'il y ait un moment de l'invention, de la création, le moment étrange du surgissement de la nouveauté.

Le second aspect est d'apparition plus récente. A en croire de nombreux protagonistes d'une "nouvelle histoire des sciences", qui poussent à l'excès la prise en considération des contextes - certes nécessaire mais non de manière unilatérale - l'histoire des sciences n'aurait pas tant à connaître des idées et des contenus de connaissances que de questions d'ordre sociologique ou anthropologique, versant dans un relativisme total à l'égard des propositions et représentations scientifiques qui pourraient finalement être oubliées sans dommage ou qui du moins seraient dénuées de toute légitimation rationnelle. Dans cette conception réductionniste d'une histoire-sociologie où toute dimension épistémologique est bannie comme illusoire, l'idée de vérité scientifique - vérité relative, pourtant, et non point absolue - se voit purement et simplement remplacée par celle de "consensus".

Or la question de l'apparition de nouveauté dans la découverte et de la

création en science touche directement à la nature de la science, à l'histoire des sciences et à la philosophie des sciences, sur lesquelles elle est susceptible de jeter d'utiles éclairages. Elle les concerne, en particulier, dans leurs rapports mutuels. La découverte, et plus communément le *travail* scientifique, dont elle est un moment privilégié, se tiennent à la jonction de la science et de l'histoire des sciences, et ces dernières peuvent être vues comme des champs de problèmes pour la philosophie des sciences.

L'étude d'un travail comme celui d'Einstein en relativité restreinte. constitue un exemple - parmi de nombreux autres possibles - d'un essai de réflexion dans cette direction. Elle ne manquera pas de nous éclairer sur la nature du travail scientifique, de la découverte, de ce "nouveau" qui la caractérise, et sur la démarche créative en science. Elle nous donnera également des indications sur le rapport entre science et philosophie dans la démarche et le travail scientifiques mêmes, problème longtemps laissé en dehors de l'attention de la philosophie, qui se portait plutôt sur les propositions achevées d'une science accomplie, voire fermée.

L'oeuvre scientifique d'Einstein a eu d'importantes répercussions sur la philosophie contemporaine. Les notions nouvelles sur l'espace et le temps et sur la causalité, la question de la géométrie de l'espace physique (savoir si elle est euclidienne ou non, c'est-à-dire si l'espace est plat ou courbe), celle de la finitude ou non de l'Univers, les débats sur les conceptions de la mécanique quantique et de son interprétation, mais aussi les nouvelles perspectives sur la connaissance et sur le monde ouvertes par les théories de la physique moderne, ainsi que l'importance prise depuis lors par la science dans la vie sociale, tout ceci a lié de manière durable et indissoluble le nom d'Einstein à notre modernité. Ces questions ont été au centre des débats philosophiques contemporains, et le nom d'Einstein s'est trouvé par là-même étroitement lié à la philosophie dans la diversité de ses courants et de ses domaines d'intérêt.

Pourtant, le savant est compris comme un demiurge plutôt que comme un penseur, et les philosophes se sont intéressés aux idées produites plutôt qu'au processus qui les a fait apparaître, par le travail d'une pensée. La technicité requise par l'activité de recherche scientifique fait oublier que celle-ci est bien un travail de la pensée, et que cette pensée possède un côté qui intéresse directement le philosophe, qu'elle est peut-être même, par certains aspects, philosophique.

Or, à étudier l'oeuvre scientifique d'Einstein on s'aperçoit, précisément, qu'elle est indissociable d'une attitude philosophique, qui le poussait à se poser des problèmes sur les phénomènes de la nature et sur les théories d'une manière qui, au fond des choses, touche directement à ce qui intéresse avant tout la philosophie. Attitude qui le poussait aussi à s'interroger sur des problèmes de la connaissance aussi fondamentaux que la nature des concepts par lesquels la science se propose de décrire les phénomènes et d'en donner la raison, la nature et la fonction des théories, leur relation aux données d'expérience, le rapport des mathématiques et de la physique... Et encore, sur la possibilité de se représenter la réalité, sur l'origine et la portée de la connaissance scientifique, sur le mouvement qui la mène, et aussi bien sur le lien et la différence entre science et philosophie... Ces préoccupations, chez lui, n'étaient pas secondaire et marginales. Elles participaient de sa démarche de pensée, non pas seulement quand il réfléchissait sur les résultats obtenus, mais dans le moment même où il s'intéressait à des problèmes scientifiques précis. C'est ce que je voudrais montrer dans ce qui suit, en suivant quelques uns des fils de ses

raisonnements dans son travail en physique.

PREMIERS TRAVAUX, APPROCHES FONDAMENTALES

Dès ses premiers travaux en physique, Einstein développa un style de recherche qui lui est propre, orienté avant tout vers une analyse des bases fondamentales des théories et du contenu physique des grandeurs qu'elles font intervenir, c'est-à-dire des concepts en jeu dans les phénomènes considérés.

Ses premiers travaux publiés, portant sur la thermodynamique et la mécanique statistique¹, nous le montrent s'interrogeant à la fois sur des phénomènes physiques précis et sur la théorie proposée pour en rendre compte: il veut savoir la signification des grandeurs intervenant dans les équations, qui n'est pas toujours claire. A la probabilité qui figure dans la formule de Boltzmann donnant l'entropie d'un système, il fait correspondre la fréquence des états par lesquels le système passe au cours du temps, et en déduit l'existence de fluctuations autour de la valeur moyenne de la fréquence. Cette *réinterprétation statistique* de la *probabilité* - prise auparavant dans la formule de manière seulement mathématique - conditionne ses recherches ultérieures sur la théorie moléculaire aussi bien que sur la théorie du rayonnement lumineux émis et absorbé par des corps. C'est elle qui le conduit directement à deux de ses trois grandes découvertes de l'année 1905: l'explication du mouvement aléatoire des molécules en suspension (mouvement brownien), qui contribua à fournir la preuve de l'existence physique des atomes², et la quantification de l'énergie du rayonnement³.

Cette dernière ouvre l'ère de la physique des quanta, qui devait conduire, comme on le sait, à des modifications fondamentales de la mécanique et de la physique classiques. Einstein lui-même le pressentit très peu de temps après ce travail, contre l'avis de Planck et des autres physiciens. Ses contributions ultérieures, décisives, à l'élaboration de la théorie quantique, doivent d'ailleurs beaucoup à l'utilisation de sa méthode de calcul de fluctuations - ces dernières correspondant à des phénomènes effectifs. C'est par elle, en particulier, qu'il mit en évidence la dualité onde-corpuscule de la lumière en 1909⁴, ou la statistique non-classique des "gaz parfaits monoatomiques", dite de Bose-Einstein, en 1924-1925⁵, directement liée à la naissance de la mécanique ondulatoire.

Le troisième résultat de son "année d'or" est d'une nature bien différente : c'est la théorie de la *relativité restreinte* - dénommée ainsi plus tard -, qui renouvelle d'emblée, par un autre côté, la mécanique newtonienne et l'étude des propriétés du mouvement des corps en relation aux phénomènes physiques dont ils sont le siège. Si les phénomènes concernés et les théories correspondantes diffèrent

¹ Dès 1902. Einstein publia en 1902, 1903 et 1904, dans les *Annalen der Physik*, plusieurs articles sur les fondements de la thermodynamique et le deuxième principe et sur la théorie cinétique.

² Einstein [1905a]. Voir Paty [1988a], chapitre 3.

³ Einstein [1905b].

⁴ Einstein [1909].

⁵ Einstein [1924, 1925a et b]. Voir, p. ex., Jammer [1966], Paty [à paraître, a].

des précédents, on constate toutefois que c'est une démarche parente qui le mène : elle consiste, ici aussi, à considérer l'aspect fondamental du problème du point de vue théorique, en accordant une place centrale à des propositions portant sur des propriétés générales portées au rang de "principes". Il s'agissait, dans les premières recherches mentionnées plus haut, du deuxième principe de la thermodynamique et du "principe de Boltzmann" ; l'on a affaire ici au *principe de relativité* et au *principe de constance de la vitesse de la lumière* (indépendamment du mouvement de sa source).

Dans ces différents travaux, comme d'ailleurs dans ceux qui allaient suivre, tant dans la direction de la théorie quantique que dans celle de la théorie de la relativité générale, Einstein se guide sur une recherche de principes fondés soit dans les lois générales des phénomènes de la nature, soit dans certaines exigences théoriques qui lui paraissent fondamentales. Sa manière de parvenir à des résultats théoriques (ce que l'on peut appeler son 'style' de physicien théoricien⁶), c'est de tirer toutes les conséquences et implications de ces principes pour les grandeurs physiques en jeu et pour la théorie qui les fait intervenir. Cette préoccupation première pour le "fondamental" est en soi-même tout un programme. Nous allons y regarder de plus près, pour voir comment fonctionne cette pensée.

LA PERSPECTIVE D'EINSTEIN ET LA CARACTERISATION DE LA THEORIE DE LA RELATIVITE RESTREINTE

La théorie de la relativité restreinte d'Einstein, telle qu'elle est exposée dans son article de 1905, prend son point de départ dans l'énoncé du "principe de relativité", exprimant que les lois des phénomènes physiques ne dépendent pas du mouvement des corps qui sont le siège de ces phénomènes (les mouvement considérés étant rectilignes et uniformes, encore appelés "d'inertie"). Einstein étend, par cet énoncé, la validité du dit principe, considéré jusqu'alors comme valable pour la mécanique, à l'optique et à l'électromagnétisme et, d'une manière générale, à l'ensemble des phénomènes physiques, pour des raisons qui sont, à y bien regarder, à la fois expérimentales et théoriques. En effet, constatant que les *phénomènes* optiques et électromagnétiques ne changent pas quand on passe du repos au mouvement, il en infère que la théorie rendant compte de ces phénomènes (la théorie électromagnétique issue des travaux de Maxwell) doit respecter le principe de relativité; comme elle ne le fait pas, il la réforme en conséquence.

Tel est son objectif: obtenir une théorie de l'électrodynamique des corps en mouvement qui soit en accord avec les propriétés effectives des champs électrique et magnétique et des ondes lumineuses, qui se manifestent dans des phénomènes connus par l'observation et l'expérience et exprimés par des relations théoriques. Il ne s'agit pas, pour lui, de formuler d'emblée une "théorie de la relativité", dont nul alors n'aurait pu dire ce que cela pourrait signifier, et encore moins de modifier au départ les concepts d'espace et de temps de la mécanique classique au motif qu'ils étaient déjà l'objet de critiques sérieuses comme celle de Mach, ou pour rendre compte du résultat négatif de l'expérience de Michelson et

⁶ Sur la notion de style scientifique, cf. Granger [1968], Paty [1990], chapitre 4, Paty [1993], chapitre 1.

Morley sur le vent d'éther. De telles interprétations - fréquentes dans la littérature des manuels de physique et des commentaires philosophiques -, correspondent à une perspective reçue sur ce que peut être la découverte scientifique, revue en fait à partir des connaissances postérieures que l'on a de ses effets.

Si l'on abandonne une telle vue finaliste, on constate, en s'en tenant strictement à l'analyse des textes - situés, bien entendu, dans leur contexte - qu'Einstein se propose, certes, un but, mais que celui-ci est au début tout autre: il ne veut que réformer la meilleure théorie disponible, celle de "Maxwell-Lorentz"⁷.

Cela étant, la compréhension, et de son propos et de son approche effective - et, en fin de compte, de la nature de ses résultats -, suppose que l'on admette la légitimité, en histoire des sciences, de la considération des contenus scientifiques dans une certaine autonomie par rapport à d'autres instances auxquelles on aime en général rapporter l'histoire: du moins, juste ce qu'il faut d'autonomie pour assurer la possibilité de produire des significations, par l'attention à la rationalité des contenus. Non pas que ces significations préexistent: elles se constituent dans l'historicité même du travail scientifique - qui est ici essentiellement un travail de la pensée -, et c'est l'attention à cette historicité qui peut seule nous permettre de les saisir dans leur établissement, dans leur constitution, offrant dès lors à la philosophie la possibilité de tirer des leçons de la *constitution de nouvelles significations* dans son processus même.

En suivant l'élaboration de ce qu'il sera convenu d'appeler la "théorie de la relativité restreinte", nous accompagnons la constitution d'un objet théorique auparavant non formulé et non existant, et d'ailleurs difficile à énoncer en toute clarté, comme les difficultés ultérieures de réception et d'interprétation de la théorie le font voir: à commencer par celle qui consiste à formuler exactement ce qui fait l'originalité de la théorie d'Einstein par rapport à celles, contemporaines, parallèles et équivalentes quant aux formules et aux tests expérimentaux, de Lorentz et de Poincaré⁸.

Rappelons brièvement quelle est la démarche d'Einstein telle qu'elle apparaît dans son article. Très tôt préoccupé par la théorie électromagnétique et par son rapport à la question du mouvement, Einstein trouvait insatisfaisante par certains aspects la formulation - pourtant la meilleure à ses yeux⁹ - qu'en avait donnée Lorentz en 1895¹⁰, à partir de la théorie de Maxwell. D'un côté, en effet, les phénomènes électromagnétiques (tels que l'induction mutuelle d'un courant électrique et d'un champ magnétique en mouvement relatif) et optiques (expérience de Fizeau, absence d'anisotropie par rapport au mouvement de la Terre manifestée dans l'aberration des étoiles et dans des expériences comme celle de Michelson et Morley¹¹) respectaient le principe de relativité de la mécanique pour les

⁷ Pour une analyse détaillée de ces circonstances, cf. Paty [1993a], chapitres 2 à 4.

⁸ Lorentz [1904] et Poincaré [1905]. La théorie dynamique de l'électron de Poincaré obtient exactement les mêmes formules que la théorie d'Einstein. La théorie de Lorentz diffère légèrement des deux (en particulier, elle n'a pas la formule relativiste d'addition des vitesses, voir plus bas) : celle de Poincaré, qui adopte pratiquement les mêmes pré-supposés, la corrige.

⁹ Tel était aussi l'avis de Poincaré. Rappelons que les travaux d'Einstein et les siens étaient totalement indépendants.

¹⁰ Lorentz [1895].

¹¹ Ajoutons également les expériences sur l'ensemble des lois de l'optique effectuées par Eleuthère Mascart en 1972-1974 montrant qu'elles étaient les mêmes dans les systèmes au repos et en

mouvements d'inertie (rectilignes et uniformes). D'un autre côté, la théorie de Lorentz s'appuyait sur l'idée d'un éther immobile, lieu et support des champs électromagnétiques, qu'elle distinguait des autres systèmes d'inertie. Ce privilège d'immobilité absolue du référentiel de l'éther contredisait le principe de relativité, pour lequel tous les repères d'inertie sont équivalents.

Dans son travail de 1905 "Sur l'électrodynamique des corps en mouvement", Einstein propose donc, pour réformer la théorie, de considérer que le principe de relativité est universellement valide, et d'admettre la constance de la vitesse de la lumière (que nous dénoterons c) indépendamment du mouvement de sa source, propriété résultant des équations de Maxwell qui établissent la lumière comme une onde électromagnétique. Ces deux propositions fondamentales appartiennent respectivement à la mécanique et à l'électromagnétisme. Le principe de relativité, formulé comme tel par Huygens et repris par Newton, était depuis lors considéré comme inhérent à tous les phénomènes mécaniques, et la constance de c constituait, aux yeux d'Einstein notamment, la part inaltérable de la théorie de Maxwell, en raison de son rôle dans l'équation des ondes électromagnétiques. Einstein les érige donc en principes dont la validité transcende ces deux théories et qui peuvent dès lors servir de guides pour la reformulation de ces dernières.

Deux éléments de cette démarche apparaissent déjà ici très notables: tout d'abord, l'idée très précise d'un certain rapport d'adéquation entre la théorie et les phénomènes; ensuite, une exigence sur le rôle que jouent, dans une théorie, des propositions générales comme ces *principes*, qui sont conçus comme étant soit une sorte de résumé de traits caractéristiques de phénomènes de la nature - donnés dans l'expérience ou stipulés dans la théorie -, soit une contrainte à laquelle la théorie est appelée à se soumettre. Il est certain, d'après ce que nous savons de l'état des réflexions d'Einstein avant la publication de son travail, que cette pensée - cette formulation du problème de l'électrodynamique - fut bien l'axe directeur de ses recherches dans ce domaine pendant une période assez longue (une année au moins).

Pour poursuivre le rapide exposé de la théorie formulée par Einstein, indiquons qu'il entra dans la voie de la solution du problème qu'il se posait, c'est-à-dire d'une réforme de l'électrodynamique, lorsqu'il lui apparut que ses deux propositions, choisies comme indispensables et fondatrices, principielles, ne sont incompatibles que tant que l'on conserve l'addition galiléenne (classique) des vitesses. Einstein s'interrogea alors sur le caractère physique des concepts d'espace et de temps tels qu'ils sont formulés - par la mécanique depuis Newton: espace et temps absolus, séparés, simultanéité de l'espace, unicité du temps - et proposa de les redéfinir en tenant compte des nouvelles exigences qu'il avait formulées d'entrée, c'est-à-dire les deux principes postulés.

On aperçoit, dans ces éléments de l'invention qui le conduisent à formuler ce qui va être une nouvelle théorie - appelée non seulement à modifier l'électrodynamique, mais à remplacer la mécanique elle-même -, une cohérence logique qui se marque dans la critique de théories et de notions considérées auparavant comme acquises. Cependant - nous y reviendrons - cette suite de

mouvement relatif à l'ordre de l'aberration (premier ordre en $\frac{v}{c}$, v étant la vitesse du système en mouvement). Cf Pietrocola [1993], Paty [à paraître, b].

considérations n'est pas réductible à des éléments qui s'enchaîneraient simplement de manière logique, par déduction: il s'agit de *raisonnements*, et qui, comme tels respectent, certes, les règles de la logique, mais dont les termes ne sont pas tous donnés univoquement au départ, et qui impliquent des *choix*, qui échappent à l'*induction* entendue comme *inférence logique*¹².

Les jugements sur les coïncidences spatiales (ajustement des coordonnées) et sur la synchronisation des horloges (détermination des temps) font intervenir la transmission de signaux à vitesse finie (par exemple, celle de la lumière). Cela entraîne tout d'abord la relativité de la simultanéité (un jugement de simultanéité dépend de l'état de mouvement du système où l'on se trouve). Il s'ensuit que les coordonnées et les temps dans un système d'inertie donné sont reliés à ceux relatifs à un autre par une loi de transformation différente de celle de Galilée (pour laquelle le temps est unique, et donc le même pour toutes les transformations de coordonnées dans lesquelles il figure: $x' = x - vt$, $t' = t$). L'expression des coordonnées d'espace et du temps redéfinis par les deux principes dans un même repère de coordonnées et d'horloges synchronisées, puis dans un système en mouvement relatif par rapport à celui-ci, permet de déduire directement les équations de transformation des coordonnées d'espace et du temps qui font passer du premier système au second, c'est-à-dire d'un état de repos ou de mouvement relatifs à un autre. Ces équations, appelées formules de "transformations de Lorentz"¹³, font apparaître une dépendance mutuelle des coordonnées d'espace et du temps ($x' = \gamma(x - vt)$, $t' = \gamma(t - \frac{vx}{c^2})$)¹⁴.

Cette dépendance correspond à la modification de l'idée de simultanéité entre des événements (elle n'est pas universelle et dépend du mouvement), et entraîne la suppression du temps absolu. Elle entraîne également un comportement pour les distances spatiales (contraction: $\Delta l = \frac{1}{\gamma} \Delta l'$) et pour les durées (dilatation: $\Delta \tau = \gamma \Delta t'$) dans un système de corps en mouvement par rapport au même système au repos, très différent des conceptions classiques héritées de Newton (pour lesquelles les distances et les durées, même dans les mouvements relatifs, sont constantes). Par la manière même dont elles ont été déduites à partir des coordonnées d'espace et du temps construits pour être des grandeurs physiques, la contraction des longueurs et la dilatation des durées sont des propriétés physiques, mais de nature cinématique.

Einstein déduit ensuite directement des équations de transformation des coordonnées et du temps (par dérivation des coordonnées), la nouvelle formule de composition des vitesses (en considérant un point matériel en mouvement dans un premier système et en calculant sa vitesse par rapport au second). La formule ne correspond plus, comme Einstein l'avait soupçonné au départ, à la simple addition

¹² Sur toute la différence qui existe entre une "logique" ou une "rationalité" de la découverte scientifique, voir Paty [1990a], chapitre 4 et [1993a], chapitre 1.

¹³ Dans son travail de 1904, ignoré alors d'Einstein, Lorentz les posa par un raisonnement de nature toute différente, repris par Poincaré en 1905.

¹⁴ Ces notations ($x, t, \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$) sont celles prises communément aujourd'hui. Einstein en utilise

d'autres, équivalentes.

en grandeur et direction (dans le cas d'une même direction: $u = v + w$), admise depuis Galilée. La nouvelle loi de composition est plus complexe (pour des vitesses colinéaires, v et w : $u = \frac{v + w}{1 + \frac{vw}{c^2}}$). Cette loi montre que toute vitesse composée avec

la vitesse de la lumière donne encore la vitesse de la lumière, c'est-à-dire que cette dernière est une limite absolue. Elle montre aussi la parfaite symétrie des mouvements, qui exprime exactement le principe de relativité.

Les transformations spatio-temporelles - qui font du temps une sorte de "quatrième dimension de l'espace" quand on s'en tient à considérer les formules¹⁵ - sont telles que les systèmes ne sont jamais qu'en mouvement relatif, aucun d'eux n'étant davantage en mouvement ou en repos qu'un autre. Autrement dit, il n'y a pas d'espace absolu de Newton, ou d'éther optique ou électromagnétique. Il reste des champs électromagnétiques se propageant dans l'espace au cours du temps, cet espace et ce temps étant relatifs. Einstein obtient ensuite les équations de transformation des grandeurs électromagnétiques et des équations de l'électromagnétisme, qui trouvent dès lors une forme parfaitement symétrique et sont invariantes de Lorentz.

Einstein déduit également de la nouvelle cinématique, dans un autre article publié peu après, la relation d'équivalence de la masse et de l'énergie, $E = mc^2$, qui devait connaître, mais seulement beaucoup plus tard, de nombreuses applications¹⁶.

C'est ainsi que les principes énoncés lui ont servi de guides dans la formulation qu'il projetait de donner à la théorie électrodynamique. Mais, en se conciliant mutuellement par la définition d'une nouvelle cinématique, ils ne devenaient plus que l'expression d'un seul et même principe: le principe de relativité ainsi élargi assurait que la vitesse de la lumière est isotrope et, inversement, l'isotropie de c garantissait que les phénomènes (et la théorie) électromagnétiques respectent le principe de relativité. En fin de compte, le principe de relativité fournit une condition que doivent respecter les grandeurs physiques et les équations qui relient ces dernières : cette condition fut appelée ensuite "covariance", assurant l'invariance des équations sous les transformations qui résultent du mouvement. L'énoncé physique du principe trouvait son exact équivalent dans une expression formelle, la condition de covariance ("de Lorentz").

L'essentiel de la théorie de la relativité restreinte d'Einstein est contenu dans les propriétés que nous venons d'énoncer: elles concernent une nouvelle "cinématique", c'est-à-dire une nouvelle façon de concevoir et de formuler les propriétés générales du mouvement des corps dans l'espace et dans le temps. Appliquée aux grandeurs de la théorie électromagnétique (champs électrique et magnétique, etc.), la nouvelle cinématique entraîne une modification de cette

¹⁵ La formulation de cette définition du temps revient en fait à Mikowski, qui la proposa en 1908, avec sa théorie de l'espace-temps, pour exprimer le temps physique de la relativité au sens d'Einstein, tout en reprenant la notation de Poincaré, choisie par ce dernier en 1905 pour la simplicité d'expression qu'elle permet des grandeurs invariantes (mais Poincaré ne pense pas en termes d'espace-temps; le temps et l'espace ne sont pas reliés directement, mais tiennent chacun leur forme de la dynamique électromagnétique). Pour Minkowski [1908], ils ne forment plus qu'une seule entité, physique et mathématique.

¹⁶ Einstein [1905d].

théorie, à titre d'application de propriétés considérées comme universelles (la covariance qui résulte du principe de relativité restreinte).

Dans les conceptions d'autres savants de l'époque, qui aboutirent (parfois avant lui) à des résultats proches, comme Hendryk A. Lorentz et Henri Poincaré, la modification de la théorie résultait de considérations intrinsèquement liées à la dynamique électromagnétique, et non à une propriété de covariance conçue comme plus générale et indépendante des particularités de cette dernière. Les transformations spatio-temporelles de la dynamique électromagnétique pouvaient encore coexister avec un espace physique (ou éther) et un temps conformes à ceux de la mécanique classique, tels que Newton les avait énoncés, et toujours valides dans le domaine de la mécanique.

PROBLEME ET DIFFICULTE

Nous venons d'essayer de caractériser dans ses grandes lignes la théorie de la relativité restreinte telle qu'on peut d'emblée la comprendre à partir du travail d'Einstein. Quelques aspects des circonstances effectives de sa genèse méritent maintenant d'être examinés plus en détail, parce qu'ils éclairent le type de pensée qu'est la *création* scientifique. Les présentations qui en sont souvent données - dans les manuels de physique, ou dans les interprétations postérieures de scientifiques et de philosophes - sont à cet égard trompeuses, faisant peu de cas de la réalité historique, et conduisant à des vues partiales sur la signification d'un tel travail.

Rappelons, tout d'abord, que la modification des concepts d'espace et de temps n'a pas été le premier pas ni la motivation du travail d'Einstein. Elle n'est venue qu'à titre de solution d'un problème de physique de nature à première vue très différente, celui de formuler une "électrodynamique des corps en mouvements" qui soit totalement satisfaisante, dans le sens que nous avons évoqué plus haut. C'est à propos de ce problème de physique très précis, technique même, et à première vue éloigné de considérations générales ou philosophiques, que nous voyons la pensée du savant, créateur en science d'une représentation nouvelle, prendre dans ce mouvement de création, précisément, une direction qui ouvre des perspectives plus larges, riches d'incidences immédiatement philosophiques. Ce problème ne cesse pas, pour autant, d'appartenir totalement à la physique.

Si Einstein se propose de réformer la théorie "de Maxwell-Lorentz", c'est parce qu'elle lui semble présenter une difficulté. La terminologie employée est ici particulièrement éclairante. Einstein justifie en effet la motivation de son travail et la voie qu'il a prise en parlant de la rencontre d'une *difficulté*. Ce terme est épistémologiquement signifiant, puisqu'il se réfère à l'énoncé d'un *problème*. La caractérisation d'un problème et d'une difficulté ne saurait être réduite à une vue "consensuelle" - à laquelle invite au contraire, par son appel à une interprétation normative, la notion kuhnienne d'*anomalie* -, ne serait-ce que parce que les approches parallèles faites à l'époque par d'autres physiciens sont bien différentes, et dans la formulation du problème et dans le diagnostic de ses difficultés. *Difficulté* renvoie donc à *problème*, lequel témoigne indiscutablement que l'on se tient dans un *champ de rationalité*, celui-ci ne se laissant pas dissoudre dans les contextualisations sociologiques ou psychologiques.

Pour Lorentz et Poincaré, l'insuffisance de la théorie électrodynamique (de Maxwell-Lorentz) était de ne pas rendre compte d'une expérience de haute précision (au deuxième ordre en $\frac{v}{c}$) sur l'optique des corps en mouvement (l'expérience de Michelson et Morley), qui aurait dû, selon les conceptions en vigueur, mettre en évidence le mouvement absolu de la Terre par rapport à l'espace absolu ou à l'éther. Ils proposèrent de leur côté (dans leurs travaux de 1904 et 1905, dont celui d'Einstein est indépendant) des modifications théoriques adaptées à ce résultat précis: une équation de transformation des coordonnées et du temps adéquate au résultat expérimental qui implique une contraction (d'origine dynamique inexpliquée) des longueurs et un changement de variable pour le temps ("temps local"). Le principe de relativité et la modification des équations de l'électromagnétisme s'ensuivaient.

Einstein raisonna autrement, en considérant le problème d'une manière plus générale. Reprenons, en les explicitant quelque peu, les éléments de son raisonnement. Il constatait, en premier lieu, que la théorie électromagnétique, dans sa formulation présente, ne s'accordait pas avec une propriété générale des corps en mouvement, déjà assurée pour la mécanique, vraie expérimentalement pour l'optique, et qui semblait bien caractériser également les actions électromagnétiques comme l'action réciproque des courants sur les aimants, propriété qu'il formula comme étant le principe de relativité. D'un autre côté, il estimait que la propriété la plus fondamentale de la théorie électromagnétique, qui devait demeurer même dans une théorie plus satisfaisante, était la constance de la vitesse de la lumière indépendamment du mouvement de sa source. Cette propriété était considérée dans la théorie comme valable pour l'éther, siège supposé des vibrations électromagnétiques. Si elle l'était pour ce système au repos, elle ne pouvait plus l'être, selon les conceptions classiques, pour un système en mouvement. Cette différence, qui impliquait une différence de statut entre le repos et le mouvement pour l'électromagnétisme, était contraire au principe de relativité, auquel Einstein considérait qu'il fallait soumettre la théorie.

L'IDEE DU PHENOMENE: INTUITION ET CONTENU

Il semble bien que la considération déterminante dans sa décision de formuler le problème de la théorie électrodynamique en ces termes fut celle concernant la réciprocité des actions d'un courant électrique et d'un aimant en mouvement relatif. La formulation qu'il en donne, dans l'article de 1905, reprise et explicitée dans des textes ultérieurs, l'apparente à ces *expériences de pensée* qui tiennent par ailleurs une place si importante dans la pensée physique d'Einstein, car elles explicitent de manière tangible - phénoménale - certaines propriétés d'une théorie à travers celles de ses grandeurs, et rendent, pour ainsi dire, *intuitifs* les contenus physiques correspondants. Cette place de l'intuition dans le mouvement de la pensée créatrice, soulignée par d'autres auteurs - parmi lesquels, au premier rang, Henri Poincaré lui-même - et la nature même de cette intuition dans le cas qui nous occupe, illustrent bien que cette pensée est directement axée sur son objet,

dont elle se donne une vue *synthétique* - dans le sens kantien -, en prise directe sur le *phénomène*, que la théorie se propose de représenter¹⁷.

En fait, l'expérience en question correspond à un phénomène effectivement observé (et il est hautement probable qu'Einstein en ait lui-même fait l'expérience en laboratoire quand il était étudiant): les phénomènes électromagnétiques dans leur rapport au mouvement (l'action réciproque d'un courant sur un aimant est la même que ce soit l'aimant ou, au contraire, le circuit parcouru par un courant, qui se meuve). Cependant, l'explication littérale donnée par la théorie dans l'un et l'autre cas en faisait deux phénomènes différents bien que l'effet global fut le même: c'est en cela que la description rappelle les expériences de pensée, et que son rôle est bien le même, remplissant cette fonction commune aux expériences réelles et aux expériences de pensée, de fournir l'intelligence intuitive, synthétique, du contenu physique, et mettant les termes théoriques en rapport à des termes phénoménaux¹⁸.

Il touchait alors du doigt, pour ainsi dire, l'insuffisance de la théorie, dans les termes mêmes de celle-ci : les phénomènes étant les mêmes pour tout mouvement relatif, la théorie devrait respecter ce fait, qui n'est autre que le principe de relativité, dont nous connaissons la validité universelle en mécanique. D'un côté, observait-il, les phénomènes de l'optique et de l'électromagnétisme (dont la théorie est la même, à savoir celle de Maxwell) obligent à dépasser la mécanique, par les propriétés des champs rapportés à l'éther (et que d'une certaine façon résume la constance de la vitesse de la lumière). Mais ils doivent cependant continuer de respecter cette propriété fondamentale de la mécanique qu'est le principe de relativité. D'un autre côté, il faut modifier la théorie électromagnétique, puisqu'elle ne respecte pas ce principe de relativité, tout en maintenant sa propriété centrale, la constance de la vitesse de la lumière.

Tel est donc son énoncé du problème de l'électrodynamique. Tout en étant formulé rationnellement, il relève d'une vue sur les théories en question et leurs contenus qu'Einstein possède en propre et qui correspond à son intelligibilité de la physique et de ses phénomènes - on peut l'appeler *intuitive*. Cet énoncé, rationnel, du problème, se rapporte, en même temps, à des choix, qui participent de la particularité de son *style* de physicien et de chercheur.

Einstein se proposa donc de réformer l'une par l'autre les deux théories insuffisantes, l'électromagnétisme et la mécanique, en gardant de chacune sa propriété la plus fondamentale, étendue au-delà de son domaine initial et érigée en principe universel, de sorte que les deux théories les respectent, et soient désormais cohérentes entre elles.

CRITIQUE DE L'EVIDENCE

Pour résumer, deux théories, la mécanique et l'électromagnétisme, étaient en conflit dans les phénomènes physiques considérés. Chacune comportait cependant l'énoncé d'un fait général qui la dépasse: pour la mécanique, le principe

¹⁷ Il est important ici de distinguer "phénomène" et "mesure" ou "expérience" : cf. à ce propos, Paty [1994].

¹⁸ Paty [1994].

de relativité, pour l'électromagnétisme, le principe de la constance de la vitesse de lumière. Le problème se trouvait, dès lors, simplifié dans sa formulation, puisqu'il se ramenait à celui de la compatibilité de ces deux principes: le principe de relativité, vu de cette manière, demandait que la vitesse de la lumière soit constante quelque soit l'état de mouvement ou de repos des corps émettant ou recevant la lumière. Par là-même, la direction de la reformulation théorique qu'il avait en vue se voyait dessinée: elle dépassait le problème de départ et le seul cas de la théorie électromagnétique, en posant l'exigence d'une condition qui transcende les théories particulières.

Cependant, tout en formulant le problème de cette manière, Einstein le voyait impossible à résoudre, car il impliquait une contradiction qui semblait inéluctable. A ce stade de sa réflexion critique - dont nous savons, par divers documents, qu'il l'avait mûrie pendant de longues années -, Einstein identifiait en effet la difficulté du problème tel qu'il le posait : les deux principes étaient à première vue incompatibles. Selon la théorie de Maxwell, dans la formulation qu'en avait donné Lorentz (en 1895) pour l'étendre à la considération du mouvement, la vitesse de la lumière est constante et indépendante du mouvement de la source pour l'éther (immobile), ce qui conférait un privilège à ce système d'inertie particulier, au repos "absolu". Elle ne pouvait donc être la même dans un système en mouvement d'inertie par rapport à celui-ci : tel était l'obstacle, et il paraissait insurmontable.

Le pas essentiel fut, à vrai dire, d'avoir su énoncer le problème théorique à résoudre sous la forme de cette difficulté précise (et Einstein fut le seul à le faire de cette manière): la solution devait, en effet, découler de la réflexion sur la nature de cette difficulté, qu'Einstein "rumina" (selon sa propre expression) pendant de longs mois.

Tout semblait indiquer que si la vitesse de la lumière est constante dans un système considéré comme étant au repos, sa valeur doit être différente dans un système en mouvement... C'était l'évidence, et elle aveuglait... jusqu'au moment où sa nature se laissa identifier. Car ce qui nous paraît évident n'est souvent que l'effet d'une ancienne habitude, dont les justifications ne sont plus nécessairement valables aujourd'hui, les réorganisations de nos connaissances ayant pu, à notre insu, remuer les sables profonds sur lesquels s'ancrent les théories et les concepts, et transformer en sol mouvant un terrain ferme autrefois.

Le problème, posé de la manière indiquée, ne paraissait conduire qu'à une impasse. Cependant, Einstein persistait à considérer les choses de cette façon, cherchant une issue - et donc imaginant qu'une issue était possible -: il les formula une fois de plus, un jour, devant l'ami Besso. La lueur se fit alors en lui, comme nous le savons de son propre témoignage¹⁹. L'impossibilité d'égaliser la vitesse de la lumière dans un système au repos et dans un système en mouvement tenait à la loi d'addition des vitesses de Galilée. Les deux principes n'étaient contradictoires que parce qu'entre eux se tenait la proposition implicite que la formule d'addition galiléenne des vitesses, admise pour vraie par la mécanique classique, est universellement vraie. Ils pourraient éventuellement être rendus compatibles si l'on abandonnait cette considération qui paraissait pourtant guidée par le simple bon sens, l'expérience quotidienne... et trois siècles de mécanique.

¹⁹ Voir Paty [1993a], chapitres 2 et 3.

Il fallait donc s'interroger sur la validité de la loi d'addition des vitesses, c'est-à-dire sur la signification physique de la vitesse. Qui dit vitesse en mécanique classique dit rapport de l'espace parcouru au temps mis pour le parcourir, et renvoie aux définitions des concepts d'espace et de temps toujours admises telles que Newton les avait formulées: un espace et un temps indépendants l'un de l'autre et absolus - indépendants des corps et des phénomènes matériels. Ces caractères, comme on le sait, avaient fait l'objet de critiques, de la part de philosophes et de physiciens à diverses époques - et relativement récemment par Ernst Mach et Henri Poincaré, dont Einstein avait lu les ouvrages d'épistémologie, *La Mécanique* pour le premier, *La science et l'hypothèse* pour le second²⁰.

Einstein examina en premier lieu la notion de simultanéité, sans doute en pensant au rôle particulier de la vitesse de la lumière, liée, dans la théorie de Maxwell, à la notion de champ - à la propagation des champs électromagnétiques. L'idée que les actions entre les corps sont instantanées lui apparaissait comme une des limitations de la mécanique newtonienne. Or l'idée de simultanéité absolue, sous-jacente au temps absolu de Newton, qui paraissait alors évidente au sens commun allait, en fait, de pair avec celle d'action instantanée. Si la théorie électromagnétique remplace l'action instantanée par la propagation à vitesse finie - celle de la lumière - des champs, porteurs des actions dynamiques, que devient alors l'idée de simultanéité ?

La question de la définition du temps posait immédiatement celle des jugements de simultanéité. Ces derniers font intervenir la transmission de signaux (par exemple, optiques) d'un point à un autre de l'espace : dès que la vitesse de ces signaux n'est plus infinie, la simultanéité ne va plus de soi. Des événements qui nous paraissent simultanés en tel endroit, à tel moment, ne sont pas nécessairement perçus comme tels à un autre endroit, parce que les signaux, par lesquels nous jugeons du temps auquel un événement s'est produit, mettent un certain temps à nous parvenir. Notre notion du temps auquel un événement, en un certain lieu, s'est produit est tributaire du parcours d'un signal de ce lieu jusqu'à nous, et ce parcours dépend du mouvement relatif entre le système lié à ce lieu et nous (si nous nous rapprochons, il sera plus court, si nous nous éloignons, il sera plus long). Les jugements de simultanéité sur des événements (déterminés par des temps d'horloges liées à chaque système) dépendent donc de l'état de mouvement ou de repos. La simultanéité n'est pas absolue et, dans ce cas, l'on doit reconstruire aussi bien la signification physique du concept de temps que celle des coordonnées d'espace si l'on veut qu'ils correspondent à des situations réelles.

Il s'agissait, dès lors, de donner de nouvelles définitions des coordonnées spatiales, qui indiquent la position des corps dans l'espace physique, et du temps, en les soumettant au fait que tout déplacement dans l'espace se fait à vitesse finie. La notion de corps et celle d'événement, qui sont nécessaires pour parler d'espace et de temps d'un point de vue physique, invitent à prendre comme contrainte pour leur définition les deux propriétés générales (ou principes) auxquelles sont supposés soumis les phénomènes de toute nature. C'est pourquoi, dans sa nouvelle construction de l'espace et du temps, Einstein imposa à ces derniers de respecter les deux propositions, jusqu'ici indépendantes, de la relativité des mouvements et de constance de la vitesse de la lumière - cette dernière propriété

²⁰ Mach (1883), Poincaré (1902).

étant, par symétrie du point de vue de son propos théorique, érigée par lui, comme la première, en principe. Il put alors déduire immédiatement de ces considérations les équations de transformation qui font passer d'un système de coordonnées d'espace et de temps à un autre en mouvement relatif (transformations de Lorentz) ainsi que toutes les propriétés des distances et des durées que nous avons mentionnées, avant d'appliquer ces résultats à la théorie électromagnétique (partie "dynamique" de son article, après la partie "cinématique").

Cette description du cheminement de la pensée d'Einstein qui le mena à la découverte de la théorie de la relativité restreinte est, certes, un essai de reconstitution: essai qui reste toutefois au plus près des faits et semble ainsi satisfaire à l'exigence d'objectivité historique²¹. Elle nous a suggéré, chemin faisant, plusieurs réflexions sur la nature de la création scientifique et ses chemins, sur le caractère rationnel du travail de la pensée, sur l'originalité du "style" qui l'exprime, correspondant à un programme²² et effectuant des choix qui tiennent à une modalité particulière de l'intelligibilité et à la compréhension "intuitive" que se fait un auteur, dans l'unité de sa pensée. Sans omettre la dimension philosophique évidente de cette pensée, fondamentale pour comprendre la nature réelle du "travail scientifique".

LA DIMENSION PHILOSOPHIQUE

Il semble difficile de dire strictement ce qui revient respectivement à la physique et à la philosophie, dans ce travail de la pensée où la question des significations, caractéristique d'un questionnement de nature philosophique, est centrale et omniprésente, dans la manière de formuler le "problème", d'énoncer la "difficulté", et d'entrevoir la possibilité de lui trouver une solution. Probablement physique et philosophie, dès lors qu'il s'agit de pensée, au-delà d'une technicité particulière, sont-elles intimement liées dans l'acte même de la création d'idées. Certes, ensuite, l'"objet" scientifique une fois mis au jour, la distinction entre les deux reprend ses droits, à l'une la fonction de description et d'explication, à l'autre celle de signification dans un sens plus ample que celui de "signification physique", pour des contenus particuliers. Mais ces deux fonctions semblent bien n'en faire qu'une dans la pensée créatrice, qui est en même temps critique, analytique et intuitive, dans le moment même où ses objets sont à l'état naissant.

On voit comment la réforme - radicale - de l'espace et du temps telle qu'il l'a proposée vient s'imposer, dans le travail d'Einstein, comme solution du problème de physique initialement considéré. Cette solution est plus générale que ce problème, et concerne, pour les raisons évoquées, l'ensemble des phénomènes et des lois de la physique. On peut mesurer aussi de quelle manière, de ce problème théorique précis et "technique", le mouvement de la pensée s'élargit en une analyse critique de grande portée, qui met en jeu non seulement des concepts dont les implications vont au-delà de la seule physique, mais des considérations "méta-théoriques" sans lesquelles il n'y aurait pas de pensée scientifique.

Par ces divers aspects, le travail de la pensée qu'est la création

²¹ Voir Paty (1993a), chapitre 2.

²² Sur la notion de "programme épistémologique", voir Paty [1988a], chapitre 1.

scientifique dépasse de très loin les seuls éléments “positifs” et descriptifs, auxquels on ramène souvent la science, même si ces éléments sont aussi riches d’implications au plan général des idées que l’espace et le temps. L’acte de création intellectuelle qui aboutit à mettre au jour une nouveauté conceptuelle - orientée vers une représentation du monde -, fait appel à toutes les capacités de la pensée rationnelle dans l’unité du sujet - sans en omettre l’imagination et l’intuition.

Cet aspect de la dimension philosophique de la pensée scientifique d'Einstein a, par rapport à la conception courante des rapports entre science et philosophie telle que nous l'avons évoquée en commençant, l'intérêt considérable de faire voir une autre face des choses, trop souvent cachée : le lien vivant, en perpétuelle tension - séparation et commun surgissement -, de la philosophie et de la science dans la pensée au travail. En l'occurrence, dans une oeuvre qui fut créatrice d'un style scientifique profondément original où physique et philosophie, tout en étant distinguées, se rejoignent d'une manière significative. N'est-il pas, d'ailleurs, naturel que l'on trouve, au soubassement du travail de recherche scientifique créatif, une attitude d'esprit qui participe de tout le mouvement qui anime la pensée et la personne de son auteur ? Il s'agissait, dans le cas d'Einstein, d'une recherche personnelle et d'une véritable "quête", au sens philosophique et même métaphysique, dont rien n'assure qu'elle conduira à un résultat tangible.

Einstein savait, mieux que bien d'autres, quel travail de la pensée la construction de la science représente, et que ce travail n'est jamais achevé - ce qui interdit de réduire la science à ses contenus les plus définitifs en apparence. Sa réflexion philosophique proprement dite, sur la nature, sur la pensée - et aussi sur l'homme -, se nourrissait naturellement de sa propre expérience de la pensée scientifique - marque d'une unité profonde, celle de toute une attitude de vie.

Cette dimension totale de la pensée dans ses actes les plus particuliers et précis, et la présence de la pensée philosophique au coeur le plus profond de la pensée scientifique créatrice, nous permettent peut-être de comprendre pourquoi, malgré l'accumulation des savoirs et le progrès des connaissances qui la distinguent décidément de la philosophie, la science partage avec cette dernière la propriété de remettre inlassablement en chantier ses constructions et ses questions.

REFERENCES

ABRAHAM, Henri et LANGEVIN, Paul 1905. *Les quantités élémentaires d'électricité: ions, électrons, corpuscules*, Gauthier-Villars, Paris, 2 vols., 1905.

EINSTEIN, Albert [1905a]. Ueber die von der molekular kinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen, *Annalen der Physik*, ser. 4, XVII, 1905, 549-560. Trad. fr.: Mouvement des particules en suspension dans un fluide au repos impliqué par la théorie moléculaire cinétique de la chaleur, in Einstein 1989 a, p.55-64.

- [1905b]. Ueber einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt, *Annalen der Physik*, ser. 4, XVII, 1905, 132-148. Trad. fr.: Un point de vue heuristique concernant la production et la transformation de la lumière, in Einstein [1989-1993], vol. 1, p. 39-53.

- [1905c]. Elektrodynamik bewegter Körper, *Annalen der Physik*, ser. 4, XVII, 1905, 891-921. Trad. fr.: Sur l'électrodynamique des corps en mouvement, in Einstein [1989-1993], vol. 2, p. 31-58.

- [1905d]. Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig ?, *Annalen der Physik* , ser. 4, XVIII, 1905, 639-641. Trad. fr.: L'inertie d'un corps dépend-elle de sa capacité d'énergie?, in Einstein [1989-1993], vol.2, p. 60-62.
 - [1909]. Zum gegenwärtigen stand des Strahlungsprobleme, *Physikalische Zeitschrift* X, 1909, 185-193. Trad. fr. par E. de Prunelé: Exposé des idées actuelles sur la théorie de la lumière, *Annales de la Fondation Louis de Broglie* 4, 1979 (n°2), 151-171.
 - [1924]. Quantentheorie des einatomigen idealen Gases, *Preussische Akademie Wissenschaften, Phys. Math. Klasse, Sitzungsberichte* 22, 1924, 261-267. Trad. fr.: Théorie quantique du gaz parfait monoatomique, in Einstein [1989-1993], vol. 1, p. 172-179.
 - [1925a]. Quantentheorie des einatomigen idealen Gases. Zweite Abhandlung, *Preussische Akademie Wissenschaften, Phys. Math. Klasse, Sitzungsberichte*, 1925, p. 3-14. Trad. fr. : Théorie quantique du gaz parfait monoatomique. Deuxième mémoire, in Einstein [1989-1993], vol. 1, p. 180-192.
 - [1925b]. Quantentheorie des idealen Gases, *Preussische Akademie Wissenschaften, Phys. Math. Klasse, Sitzungsberichte* , 1925, p. 18-25.
 - [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. Seuil/éd. du CNRS, Paris, 6 vols., 1989-1993.
- EINSTEIN, Albert , LORENTZ, Hendryk Antoon, MINKOWSKI, Hermann, WEYL, Hermann [1923]. *The principle of relativity*, with notes by Arnold Sommerfeld, transl. by W. Perrett and G.B. Jeffery, Methuen, London, 1923; Dover, New York, 1952.
- GRANGER, Gilles Gaston [1968]. *Essai d'une philosophie du style*. Armand Colin, Paris, 1968 ; éd. revue, Odile Jacob, Paris, 1988.
- JAMMER, Max [1966]. *The conceptual development of quantum mechanics*, Mc Graw-Hill, New York, 1966.
- LORENTZ, [1895]. *Versuch einen Theorie der elektrischen und optiken Erscheinungen in bewegten Körpern*, Brill, Leiden, 1895. Egalement in Lorentz 1935-1939, vol. 5, p. 1-137. Trad. fr. d'extraits in Abraham et Langevin 1905, p. 430-476.
- [1904]. Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity smaller than that of light, *Verlagen Konignklijke Akademie van Wetenschappen* (Amsterdam). *Proceedings of the section of science* 6, 1904, 809-831. Egalement in Einstein et al. 1923 (ed. 1952, p. 9-34). Egalement in Lorentz 1935-1939, vol. 5, p. 172-197. Trad. fr. par Paul Langevin: Phénomènes électromagnétiques dans un système qui se meut avec une vitesse quelconque inférieure à celle de lumière, in Abraham, Langevin 1905, p. 477-495.
 - [1935-1939]. *Collected papers*, Nijhoff, La Haye, 9 vols., 1935-1939.
- MACH, Ernst [1883]. *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch Dargestellt*, Leipzig, 1883; autres éditions augm. de 1888 à 1933. Trad. fr. (sur la 4 ème éd. allemande) par E. Bertrand, *La mécanique. Exposé historique et critique de son développement*, Hermann, Paris, 1904; ré-éd., 1923.
- MINKOWSKI, Hermann [1908]. Raum und Zeit, *Physikalische Zeitschrift* 10, 1909, 104-111. Trad. angl.: Space and time, in Einstein et al. [1923], p. 73- 91.
- PATY, Michel [1988a]. *La matière dérobée. L'appropriation critique de l'objet de la physique contemporaine*, Editions des Archives contemporaines, Paris, 1988.
- [1990a]. *L'analyse critique des sciences, ou le tétraèdre épistémologique*, L'Harmattan, Paris, 1990.

- [1993a]. *Einstein philosophe*, Presses Universitaires de France, Paris, 1993.
 - [1994]. Mesure, expérience et objet théorique en physique, in Beaune, Jean-Claude (dir.), *La mesure, instruments et philosophies*, Champ Vallon, Seyssel (01), 1994, p. 159-174.
 - [1996]. Poincaré et le principe de relativité, , in Greffe, Jean-Louis; Heinzmann, Gerhard et Lorenz, Kuno (eds.), *Henri Poincaré. Akten des Internationalen Kongresses in Nancy, 14-18 mai 1984*, Akademie Verlag, 1996, p. 143-202.
 - [à paraître, a]. *Einstein, les quanta et le réel*.
 - [à paraître, b]. La découverte scientifique entre l'histoire et la philosophie.
 - [à paraître, c]. Poincaré et la relativité des mouvements pour l'optique, *Revue d'Histoire des sciences*.
- PIETROCOLA DE OLIVEIRA, Mauricio P. [1993]. *E. Mascart et l'optique des corps en mouvement*, Thèse d'épistémologie et d'histoire des sciences, Université Paris 7, 30.6.1993.
- POINCARÉ, Henri [1902]. *La science et l'hypothèse* (1902), Flammarion, Paris, 1902 ; 1968.
- [1905]. Sur la dynamique de l'électron [reçu le 23 juillet 1905]), *Rendiconti del Circolo matematico di Palermo XXI*, 1906, p. 129-176. Egalement in Poincaré [1950-1965] vol. 9, p. 494-550.
 - [1950-1965]. *Oeuvres*, Gauthier-Villars, Paris, 11 vols., 1950-1965.