

Einstein et Poincaré, une affaire de principes

L'année 2005, année de la physique, coïncide, non par hasard, avec le centenaire de *l'annus mirabilis* d'Einstein, l'année 1905, au cours de laquelle il publia cinq articles dont quatre ont décidé du cours ultérieur du développement de la physique. Le plus célèbre est sans aucun doute l'article « fondateur » de la théorie de la relativité restreinte (envoyé pour publication en juin), suivi d'un court *post-scriptum* où se trouve écrite la fameuse relation $E = mc^2$. Le plus cité dans la littérature, envoyé en mai, porte sur le mouvement brownien ; il est à l'origine des expériences effectuées par Jean Perrin en 1908 qui passent pour avoir convaincu les derniers énergétistes de la réalité des atomes. Le plus « révolutionnaire », aux dires d'Einstein lui-même, est l'article sur les quanta de lumière où il propose d'interpréter la loi de Planck (décrivant le rayonnement du « corps noir »), non pas en termes d'ondes (continues) mais en termes de grains d'énergie (discontinus), auxquels s'appliquent les méthodes de la mécanique statistique.

Il est clair que cette fracassante entrée dans la carrière d'un jeune homme de 26 ans a contribué à la construction du mythe du génie solitaire et marginal, mythe que le comportement d'Einstein, lorsqu'il fut devenu célèbre, n'a en rien démenti. Le centenaire de l'année 1905 est l'occasion de revenir sur le contexte intellectuel du moment et de remettre en perspective les travaux du jeune Einstein qui, loin d'être l'*outsider* qu'on a complaisamment décrit, était parfaitement au courant de ce qui se passait dans le monde universitaire auquel ses études le destinaient, même si le marché du travail l'avait placé à un poste subalterne d'expert auprès du Bureau des Brevets de Berne. Pour dépasser le mythe du génie solitaire, il convient de dresser un état des lieux de la physique aux alentours de 1900. Ce tableau permet de distinguer deux courants épistémologiques majeurs. L'un, dans la lignée des perfectionnements apportés à la théorie électromagnétique de Maxwell par la « physique continentale », met au premier plan le continu ; Hertz, Lorentz et Poincaré en sont les représentants les plus illustres. L'autre est issu des travaux de Boltzmann ; l'atome, particule discrète de matière est au centre de la théorie ; des méthodes statistiques (valeurs moyennes, fluctuations, etc.) permettent de « remonter » aux grandeurs macroscopiques de la thermodynamique, définissant un mode de passage du discontinu au continu. La théorie de la

relativité d'Einstein est l'aboutissement de ce type de raisonnement. La théorie de Poincaré, achevée quinze jours avant l'envoi par Einstein de son manuscrit à *Annalen der Physik*, est l'ultime perfectionnement apporté à la théorie de Maxwell selon l'autre mode d'appréhension de la nature. Dans ce qui suit, je me propose de développer cette thèse épistémologique, espérant ainsi rendre à Poincaré ce qui est à Poincaré et à Einstein ce qui est à Einstein¹.

Dans le milieu international de l'histoire des sciences, on n'a pas attendu l'année 2005 pour associer les noms de Poincaré, et Lorentz !, à celui d'Einstein en tant qu'« auteurs » de ce parachèvement de l'électromagnétisme qu'est la théorie de la relativité restreinte. Dès les années 60 – et même avant² – paraissaient dans les revues spécialisées d'histoire des sciences³, des articles qui, en analysant l'origine de la théorie de la relativité restreinte, textes à l'appui, portaient un sérieux coup à l'image d'Épinal du jeune Einstein produisant tout seul, dans son coin, un « travail [qui] semble surgir tout armé » (de son génial cerveau, probablement) et dont « la genèse paraît entourée de mystère⁴ ». On pourra se faire une idée des résultats auxquels ont abouti ces travaux publiés entre 1960 et 1990, en consultant les notes et commentaires rédigés par les éditeurs des *Collected Papers of Albert Einstein*, en marge du fameux article « fondateur » de 1905 « Sur l'électrodynamique des corps en mouvement ». Les *Collected Papers* représentent la partie éditoriale d'une entreprise plus vaste, *The Einstein Project*,

1. Le monde de la vulgarisation est actuellement en proie à une crise de nationalisme. Deux livres, aux titres évocateurs, « Comment le jeune et ambitieux Einstein s'est approprié la Relativité restreinte de Poincaré » de J. Hladik (Ellipses, 2004) et « La Relativité. Poincaré et Einstein, Planck, Hilbert. Histoire véridique de la Théorie de la Relativité » de J. Leveugle (L'Harmattan, 2004), se font les champions de la réhabilitation de Poincaré, l'une de nos gloires nationales, aux dépens de l'Allemand Einstein. Ces deux livres font grand bruit mais ne présentent guère d'intérêt. J. Leveugle va jusqu'à imaginer un complot ourdi par les « savants allemands » Hilbert et Planck, en vue de « doubler » le Français Poincaré sur le poteau. Ils n'auraient rien trouvé de mieux que d'écrire un article plagiant Poincaré qu'ils auraient donné à signer à un jeune ambitieux inconnu qui n'avait rien à perdre, Einstein.

2. Cf. l'ouvrage classique d'E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, publié en 1951, ne mentionne jamais Einstein ; la théorie de la relativité restreinte y est désignée comme « la théorie de Poincaré-Lorentz ».

3. Notamment les revues *Historical Studies in the Physical Sciences*, *Isis* et *Archive for History of Exact Sciences*. Auxquelles il faut ajouter l'*American Journal of Physics* qui, bien que non spécialisé en histoire des sciences, publie des articles qui en relèvent.

4. M. Paty, *Einstein philosophe*, Paris, PUF, 1994.

qui a pour objectif, outre de préparer une édition critique de tous les écrits d'Einstein, d'organiser et de synthétiser, ce qu'il est convenu d'appeler à l'américaine les « études einsteiniennes ». Les éditeurs procédant par ordre chronologique, c'est en 1989 qu'est paru le second volume⁵ de cette édition monumentale (où les textes d'Einstein sont en langue originale, en général l'allemand, et les notes et commentaires en anglais). L'appareil critique accompagnant dans ce volume n° 2 l'article d'Einstein (paru le 26 septembre 1905 dans la revue *Annalen der Physik*) reflète donc l'état d'avancement (en 1989) des travaux concernant la genèse de la théorie de la relativité. Je me propose ici, après avoir résumé la teneur de ces notes et commentaires, d'indiquer dans quelles directions s'est, au cours des quinze dernières années, de 1989 à 2004, poursuivie la recherche dans ce domaine.

Tout le monde sait qu'Einstein, dans son article de 1905, étend le principe de relativité, auquel sont soumis les mouvements décrits par la mécanique newtonienne, aux lois et phénomènes de l'électromagnétisme : « dans tous les systèmes de coordonnées où les équations de la mécanique sont valables, ce sont également les mêmes lois de l'optique et de l'électrodynamique qui sont valables ... nous allons élever cette conjecture, dont le nom sera dans la suite appelé 'principe de relativité', au rang de postulat. ». Einstein est-il le premier à avoir procédé à cette extension et, par là-même, défini ce que l'on appelle aujourd'hui le principe de relativité, valable pour toutes les lois de la physique ? C'est une question sur laquelle les éditeurs des *Collected Papers* restent prudents et se gardent bien de conclure. Ils font remarquer que l'expression « principe de relativité » (tout court, sans référence à aucune limitation de son domaine d'application) apparaît en deux occurrences dans les écrits de Poincaré antérieurs à 1905 : dans *La science et l'hypothèse* (paru en 1902) et dans « L'état actuel et l'avenir de la physique mathématique », conférence prononcée à Saint Louis (USA) le 24 septembre 1904 lors du Congrès International des Sciences et des Arts⁶. S'agissant de *La science et l'hypothèse*, on sait de façon sûre qu'Einstein a lu cet ouvrage et l'a étudié attentivement à Berne aux alentours de 1903. Poincaré y analyse ce qu'il appelle le « principe du mouvement relatif » dont il donne la définition suivante : « Le mouvement d'un système quelconque doit obéir aux mêmes lois, qu'on le rapporte à des axes fixes, ou à des axes mobiles entraînés dans un mouvement rectiligne et uniforme⁷ ». Plus loin (p. 281), après avoir exposé la théorie de Lorentz (1895-1904), Poincaré examine la question de savoir si « le principe de relativité est sauf ». Il n'indique pas

sa position et se contente de dire que pour « les partisans de Lorentz », la réponse est « oui ». On ne peut pas considérer cette substitution de « principe de relativité » à « principe du mouvement relatif » comme une simple commodité de langage, destinée à alléger l'écriture⁸. On peut en revanche, sans prendre grand risque, y voir l'indication que Poincaré était prêt à rebaptiser « principe de relativité » ce qu'il avait jusqu'alors appelé « principe du mouvement relatif »... si toutefois, il était démontré (comme il l'espérait) en théorie ou établi expérimentalement que le « principe du mouvement relatif » s'applique aussi à l'analyse des phénomènes électromagnétiques – ce qui n'était pas le cas en 1902.

A lire la conférence de Saint Louis, on pourrait croire qu'entre 1902 et 1904 la position de Poincaré a changé. En effet, il y consacre un long développement à discuter du destin de ce qu'il appelle cette fois-ci « le principe de relativité » tout court, « d'après lequel, dit-il, les lois des phénomènes physiques doivent être les mêmes, soit pour un observateur fixe, soit pour un observateur entraîné dans un mouvement de translation uniforme ». Il ne s'agit plus de mouvements mais bien de phénomènes physiques. Comme chacun peut le constater, cet énoncé et celui donné par Einstein un an plus tard sont formellement identiques. Deux questions se posent alors : 1) que s'est-il passé entre 1902 et 1904 qui autorise Poincaré à généraliser le principe de relativité des mouvements aux phénomènes ? 2) L'identité entre l'énoncé de Poincaré en 1904 est celui d'Einstein en 1905 est-elle plus que formelle. Autrement dit, les deux énoncés ont-ils le même statut épistémologique ; le mot « principe » a-t-il la même signification dans les deux cas ? Les éditeurs des *Collected Papers* dont le rôle n'est pas d'analyser les positions épistémologiques de Poincaré, ne soulèvent pas ces questions. Mais depuis 1989, dans les vingt dernières années, l'œuvre de Poincaré, jusqu'alors assez peu étudiée (pourquoi ?), a fait l'objet d'un regain d'intérêt de la part des philosophes et des historiens des sciences⁹. Et il est aujourd'hui possible d'examiner ces questions sur de nouveaux frais.

Poincaré a une conception très originale (déroutante pour les physiciens d'aujourd'hui) du rôle des principes en physique. Ce sont pour lui « des résultats d'expériences fortement généralisées », qui « semblent¹⁰ emprunter à leur généralité même un degré éminent de certitude » ; s'il est

5. *The Collected Papers of Albert Einstein*, volume 2. *The Swiss Years : Writings, 1900-1909*. J. Stachel éd., Princeton University Press, 1989.

6. Cette conférence a été prononcée en anglais. Le texte français est paru dans le *Bulletin des Sciences mathématiques* dès 1904 et repris dans *La valeur de la Science*, Paris, Flammarion, 1905, « Champs » 1970, (chapitres 7, 8 et 9).

7. H. Poincaré, *La Science et l'Hypothèse*, Paris, Flammarion, 1902, « Champs », 1968 ; p. 135-137 de l'édition originale.

8. A.I. Miller (in *Frontiers of Physics 1900-1911*, Boston, Birkhäuser, 1986) note que Poincaré avait déjà utilisé le mot « relativité » dans un contexte différent, dans le compte-rendu qu'il fit en 1899 du livre de B. Russell *An Essay on the Foundations of Geometry*, où Russell parlait de « relativity of space ».

9. Un colloque international autour de l'œuvre de Poincaré a été organisé en 1994 à Nancy ; ce colloque apparaît aujourd'hui à la fois comme la reconnaissance *de facto* du regain d'intérêt suscité par l'œuvre de Poincaré au niveau international et comme le point de départ de nombreuses études développées depuis. Voir J.L. Greffe, G. Heinzmann, K. Lorenz, *Henri Poincaré : science et philosophie*. (Actes du congrès international, Nancy, France, 1994), Berlin, Akademie Verlag, 1996.

10. C'est moi (FB) qui souligne.

possible qu'à force de vérifications, « ils finissent même par ne plus laisser de place au doute », il n'en reste pas moins que ce qui les caractérise c'est précisément de pouvoir être à tout instant adaptés aux données de l'expérience. Ils sont, par essence, généralisables, « élastiques » (c'est l'adjectif employé par Poincaré) et de cette élasticité vient qu'ils ne peuvent être « brisés » mais seulement « élargis ». L'« élargissement » du principe de relativité des mouvements aux phénomènes correspond donc à une évolution naturelle de ce principe en tant que tel. Cette élasticité s'explique par la manière « artificielle » dont les principes sont construits. « Comment une loi peut-elle devenir un principe ? Elle exprimait un rapport entre deux termes réels A et B. Mais elle n'était pas rigoureusement vraie, elle n'était qu'approchée. Nous introduisons arbitrairement un terme intermédiaire C plus ou moins fictif et C est *par définition* ce qui a avec A *exactement* la relation exprimée par la loi » ; l'élasticité du principe tient alors à ce qu'il est toujours possible de modifier, de « réviser » le rapport entre C et B, tout en maintenant rigoureusement la relation entre A et C¹¹.

Procéder à une telle généralisation dans le cas du principe de relativité, c'est ce à quoi Poincaré n'a cessé d'aspirer. En 1902, il avait encore l'espoir d'y arriver en dépit des contradictions manifestes entre ce principe et la théorie de Maxwell. En 1904, il en doute. D'une part la précision de plus en plus grande des expériences de type Michelson et Morley, mettant en évidence l'absence de mouvement de la Terre dans l'éther, parle en faveur d'un élargissement du principe de relativité aux phénomènes électromagnétiques ; d'autre part, du côté de la physique mathématique, la solution proposée par Lorentz en 1903 pour rendre les équations de l'électromagnétisme invariantes par changement de référentiel inertiel lui semble grevée de trop d'hypothèses *ad hoc*¹². Force est de conclure que « cette fois la physique expérimentale a été plus fidèle aux principes que la physique mathématique ». Le problème n'est plus, comme ce fut le cas dans le passé, de réduire l'écart entre C et B, de manière à rapprocher la relation expérimentale entre A et B de la relation idéale entre A et C ; le problème est de savoir si cette relation (relation rigoureuse, mathématique, d'essence théorique par définition, mais « plus ou moins fictive »), peut encore être maintenue. Le principe de relativité est « battu en brèche », « attaqué », en passe de « s'écrouler ».

Posons nous la question de savoir quel effet la lecture de la conférence prononcée par Poincaré à Saint Louis a pu produire sur Einstein. Il me semble inutile de débattre la question de savoir si Einstein, employé au Bureau des Brevets de Berne, a lu ou pas la conférence de Poincaré. Einstein, parallèlement à son travail alimentaire d'expert, collaborait à la principale revue de physique théorique de

l'époque, les *Annalen der Physik* ; même s'il avait été recruté sur la base de ses compétences en thermodynamique et mécanique statistique, on peut supposer qu'il n'avait aucun mal à se procurer les articles paraissant sur ce qui était pour lui un sujet de préoccupation majeur, la nécessaire révision de la conception usuelle de l'électromagnétisme de Maxwell. Si donc il n'a pas lu, de ses yeux lu, la conférence de Poincaré, il ne peut pas ne pas avoir eu connaissance de sa teneur. Entre Einstein et Poincaré, il y a l'écart d'une génération : Poincaré avait assisté « en direct » à l'évolution de l'électromagnétisme depuis ses origines maxwelliennes jusqu'aux premières années du XX^{ème} siècle¹³. Alors que Poincaré a enseigné l'électromagnétisme, Einstein, lui, a appris l'électromagnétisme en tant qu'étudiant au Polytechnicum de Zürich. Le point de vue d'un étudiant sur un corpus théorique ne peut pas être le même que celui d'un enseignant ; l'un cherche à comprendre, l'autre à faire comprendre ; l'un découvre et la théorie objet de cette découverte vient s'ajouter à un ensemble de connaissances quasi-vide, comme élément de construction d'une vision du monde (*Weltanschauung*) ; pour l'autre, la théorie en question doit s'insérer dans un ensemble déjà constitué de connaissances auxquelles il lui est demandé de s'adapter. Il est donc normal que l'étudiant Einstein, confronté aux développements de l'électromagnétisme dans les quinze années qui ont précédé 1905, ait cherché à compléter sa vision du monde en y incorporant, à côté des derniers développements de l'électromagnétisme, d'autres éléments théoriques au fur et à mesure qu'augmentait le domaine de ses connaissances. On comprend qu'il ait désiré confronter la théorie électromagnétique à cet autre grand corpus théorique bâti à la fin du XIX^{ème} siècle : la mécanique statistique de Boltzmann et son interprétation de la thermodynamique.

Or, Boltzmann avait une conception des principes différente de celle de Poincaré, plus conforme d'ailleurs à la conception actuelle, post-einsteinienne. Boltzmann fonde son épistémologie sur celle de Hertz, selon laquelle nos concepts sont des « images » (*Scheinbilder* est le mot employé) des objets, avec lesquels ils entretiennent une relation qui n'est pas de pur étiquetage, qui s'apparente plutôt à celle des lettres avec les mots ou des notes d'une partition avec les sons musicaux¹⁴. Ces « images » ne peuvent jamais refléter qu'une partie des objets « réels ». On a alors le choix, selon Boltzmann, entre deux voies : ou bien garder les « images » dans un flou organisé qui leur permette de s'adapter aux nouvelles données expérimentales ; ou bien

11. Voir à ce sujet E. During, *La Science et l'Hypothèse*. Poincaré, Paris, Ellipses, 2001.

12. « Si Lorentz s'en est tiré, ce n'est qu'en accumulant les hypothèses » (conférence de Saint Louis) : temps local, états correspondants, etc.

13. Voir à ce sujet J.Z. Buchwald, *From Maxwell to Microphysics. Aspects of Electromagnetic Theory in the Last Quarter of the Nineteenth Century*, Chicago et Londres, The Chicago University Press, 1985. Voir aussi (et surtout, plus récemment) O. Darrigol, *Electrodynamics from Ampère to Einstein*, Oxford, Oxford University Press, 2000.

14. Voir, par exemple, les conférences « Vorlesungen über die Principe der Mechanik » publiées en 1897 et 1904 ; trad. angl. in L. Boltzmann, *Theoretical Physics and Philosophical Problems*, B. McGuinness éd., Dordrecht, D. Reidel, 1974.

les rendre aussi précises que possible, ce qui permet de fonder sur les concepts ainsi définis une véritable théorie mathématique, au risque de devoir introduire plus d'hypothèses *ad hoc* que souhaité (ou souhaitable) dès lors que de nouveaux faits expérimentaux se présentent. Pour Boltzmann, en 1897, il ne fait pas de doute que les difficultés rencontrées par ses contemporains (et lui-même) dans l'application des principes de la mécanique proviennent de ce que l'on n'a pas défini ces principes de façon rigoureuse, c'est-à-dire en leur accordant d'emblée le statut d'images mentales hypothétiques, mais que l'on a trop cherché à les faire dériver des lois expérimentales. Conception du statut des principes antagoniste (pour le moins) de celle exposée par Poincaré. Il est clair que c'est cette conception-là, celle de Boltzmann, qu'Einstein adopte lorsqu'il parle, dans son article de 1905, d'« élever » (c'est le terme utilisé) le principe de relativité au rang de postulat. Certes l'énoncé du principe de relativité est le même chez Einstein et chez Poincaré. Mais pour Einstein il s'agit d'une « image mentale » hypothétique (pas n'importe laquelle évidemment, elle est suggérée par l'expérience), à laquelle on accorde le statut de postulat, postulat sur lequel on fonde une théorie. Pour Poincaré, la théorie doit s'adapter au principe de relativité, non pas parce qu'elle serait fondée sur ce principe, mais bien parce que la théorie doit en premier lieu expliquer les phénomènes et que les phénomènes se sont avérés conformes au principe de relativité (« La physique expérimentale a été plus fidèle aux principes que la physique mathématique »).

Adapter la théorie au principe de relativité, c'est ce que fera Poincaré, dans une communication enregistrée à l'Académie des Sciences de Paris le 5 juin 1905¹⁵, reprise le 6 juillet 1905 devant le Cercle de Mathématiques de Palerme. Le fait que l'article « fondateur » d'Einstein, contenant formellement les mêmes résultats, soit parvenu à *Annalen der Physik* le 30 juin 1905 a évidemment beaucoup échauffé les imaginations. Mais à supposer même qu'Einstein ait eu vent, entre le 5 et le 20 juin, de l'avancement des travaux de Poincaré, il est probable qu'il n'y aurait pas vu la solution du problème auquel il travaillait depuis déjà plusieurs années. Pour deux raisons, l'une épistémologique et l'autre directement liée à l'avancement de la réflexion d'Einstein en ce printemps 1905, les deux raisons n'étant bien sûr pas sans rapport.

La raison épistémologique découle directement de ce qui a été dit plus haut. Car il faut savoir que le rapport de Poincaré de juin 1905 se présente comme une rectification de la théorie que Lorentz avait développée depuis plusieurs années. Cette théorie relève de ce que l'on a appelé la

conception électromagnétique (par opposition à mécanique) de la nature, parfois nommée conception du « tout électromagnétique ». Il s'agissait d'expliquer la matière, et en particulier l'électron, en termes de concentration d'énergie électromagnétique. L'objectif était donc de construire une théorie de l'électron en conformité avec les données expérimentales, parmi lesquelles Poincaré incluait le principe de relativité. La théorie élaborée en juin 1905 par Poincaré, à partir des travaux de Lorentz, correspond à la définition de ce qu'Einstein appellera, plus tard, en 1919¹⁶, une « théorie constructive », théorie de type synthétique qui tâche « d'élaborer sur la base d'un formalisme relativement simple, une représentation des phénomènes complexes » à partir d'éléments de construction hypothétique. Il s'agit en somme de « reconstituer » les phénomènes et on peut dire avoir compris un phénomène lorsqu'on a trouvé une théorie constructive qui l'englobe. A ces théories, Einstein oppose les « théories à principe » où l'« on ne part pas d'éléments de construction hypothétiques mais des propriétés universelles des processus naturels, trouvés empiriquement, de principes dont on tire ensuite des critères formulés mathématiquement et auxquels les divers processus ou leurs représentations devront satisfaire ». Il est clair qu'Einstein expose là (en 1919) une reformulation, à la lumière de sa propre expérience, des idées de Boltzmann qu'il avait tant admiré dans sa jeunesse. Pour intéressante et fructueuse finalement qu'elle soit (puisque les équations de la théorie de la relativité restreinte se trouvent aussi dans le mémoire de 1905 de Poincaré), la démarche de Lorentz-Poincaré n'intéressait pas Einstein. On peut penser que, plus jeune que Lorentz et Poincaré qui venaient de consacrer vingt ans de leur vie à « bâtir » une théorie constructive, Einstein voyait dans la durée même de ces tentatives l'indice de ce que ce n'était pas la voie à emprunter pour résoudre la « crise » (ce mot est de Poincaré, pas d'Einstein évidemment).

L'autre raison qui poussait Einstein à ne pas suivre la voie adoptée par Lorentz et Poincaré concerne l'éther. En deux mots : Einstein, dans les premiers mois de l'année 1905, avait achevé de se convaincre de l'inutilité de la notion d'éther et était donc décidé à l'éliminer de la théorie, de toute la théorie ; alors que Poincaré, suivant le chemin inverse, était passé d'une position profondément sceptique à l'égard de la réalité de ce concept dans les années 1880, à une attitude de plus en plus conciliante, au point d'être parvenu, aux alentours de 1905, à se persuader que le recours à l'éther n'était pas en soi une tare permettant d'invalider une théorie. En 1889, dans la préface à l'édition de ses cours sur la théorie mathématique de la lumière, Poincaré avait écrit : « Peu nous importe que l'éther existe réellement ; c'est l'affaire des métaphysiciens. L'essentiel pour nous c'est que tout se passe comme s'il existait et que cette hypothèse est commode pour l'explication des phénomènes. Après tout,

15. H. Poincaré, « Sur la dynamique de l'électron ». C'est dans ce « rapport » que Poincaré démontre la structure de groupe des transformations (qu'il baptise « de Lorentz », bien qu'il soit le premier à leur avoir donné leur forme exacte) qui laissent invariantes les équations de Maxwell lors d'une translation uniforme par rapport au milieu électromagnétique, autrement dit, l'éther.

16. A. Einstein, « Qu'est-ce que la théorie de la relativité ? », article publié le 23/11/1919 dans le *Times* de Londres, in *Œuvres Choisies d'Albert Einstein*, Paris, Seuil/ CNRS, vol. 5, 1991, p. 96 et sv.

avons-nous d'autre raison de croire à l'existence des objets matériels ? Ce n'est là aussi qu'une hypothèse commode ; seulement elle ne cessera jamais de l'être, tandis qu'un jour viendra sans doute où l'éther sera rejeté comme inutile¹⁷. » Et Poincaré allait même jusqu'à penser à l'époque que la théorie de Hertz permettait d'éliminer l'éther. Si donc l'éther s'avérait nécessaire à la construction de la théorie, ce ne pouvait être qu'au titre d'être fantomatique : il devait être impossible de détecter le mouvement des objets dans l'éther et celui-ci ne devait être associé à aucune propriété mécanique. Autrement dit, pour Poincaré, les principes de la physique (dont le principe « du mouvement relatif » devenu par la suite « de relativité ») ne devait s'appliquer qu'à la matière seule, pas à l'éther¹⁸. Mais quatorze ans plus tard, dans un texte de 1902, Poincaré, qui entre temps a approfondi ses conceptions épistémologiques, écrit : « C'est dans les relations seulement que l'objectivité doit être recherchée... La seule réalité objective, ce sont les rapports des choses d'où résulte l'harmonie universelle... On peut dire par exemple que l'éther n'a pas moins de réalité qu'un corps extérieur quelconque... Dire que l'éther existe, c'est dire qu'il y a une parenté naturelle entre tous les phénomènes optiques¹⁹ ». On ne s'étonnera pas, dans ces conditions, qu'en 1905 dans « Sur la dynamique de l'électron », Poincaré fasse intervenir un référentiel fixe, l'éther, dans lequel sont écrites les équations de Maxwell, le point important (en ce qui concerne le principe de relativité) étant qu'il existe une transformation (celle de Lorentz-Poincaré) qui laisse invariantes ces équations lors du passage à un référentiel en translation uniforme par rapport à lui. Ce référentiel privilégié est nécessaire en tant qu'intermédiaire : les lois de la physique sont les mêmes entre deux référentiels qui sont en translation uniforme par rapport à lui, donc aussi l'un par rapport à l'autre. Il ne contredit pas le principe de relativité puisqu'il joue le rôle d'intermédiaire muet.

Einstein, lui, avait suivi une toute autre voie. Durant les années 1900-1904, il n'avait cessé de s'intéresser à la thermodynamique, prototype de ce qu'il appellera plus tard une théorie à principes – et plus précisément à ses fondements et aux explications atomistes (et donc statistiques) des propriétés macroscopiques des corps. Dans une série de trois articles publiés en 1902, 1903 et 1904, Einstein, croyant que « personne n'[était] encore parvenu à dériver les théorèmes concernant l'équilibre thermodynamique et le second principe de la seule explication des équations de la mécanique et du calcul des probabilités » (ce qui n'est pas vrai, Boltzmann l'avait fait), avait commencé par établir cette dérivation, une autre interprétation de la probabilité W figurant

dans le fameux $S = k \ln W$: Boltzmann, lui aussi, utilisait une interprétation probabiliste, mais en considérant W comme une permutableté alors qu'Einstein en a fait une véritable probabilité. Puis Einstein avait montré que le même résultat pouvait être obtenu indépendamment de la théorie cinétique, sur la base d'hypothèses de type plus général ; ce qui l'avait conduit à s'intéresser²⁰ au corps noir, espace vide siège d'un rayonnement thermique. De ces trois articles naîtra le fameux article « Sur un point de vue heuristique concernant la production et la transformation de la lumière » où, inversant la formule de Boltzmann, il remonte de la forme mathématique de W à la structure quantifiée du rayonnement. Cet article a été envoyé à *Annalen der Physik* en mars 1905. C'est dire qu'à l'époque où Poincaré révisait la théorie de Lorentz – théorie de l'électron il faut le rappeler, dont l'objectif était d'expliquer la masse de l'électron en considérant ce dernier comme une concentration d'énergie électromagnétique – Einstein, lui, au lieu de chercher à décrire le microscopique (l'électron) en termes macroscopiques continus (les champs) s'intéressait au passage du macroscopique (le rayonnement) au microscopique (les « quanta de lumière »). Si l'on ajoute à cette considération le fait que l'existence pressentie de quanta d'énergie lumineuse *indépendants les uns des autres*, ne pouvait que l'inciter à éliminer l'éther²¹ en tant que milieu, on comprendra qu'en mars 1905, Einstein s'était persuadé que la théorie électromagnétique, « telle qu'on la conçoit habituellement aujourd'hui²² », ne convient pas (à tout le moins) dans le domaine microscopique et que l'éther, support et véhicule du continu dans cette théorie, devait être radicalement supprimé, d'autant plus que par ailleurs son existence posait des problèmes à la généralisation du principe de relativité.

Il est tentant de conclure qu'Einstein et Poincaré étaient en 1905 sur deux planètes éloignées. Ce qui ne les a pas empêchés d'aboutir aux mêmes équations, celles de transformation des coordonnées d'espace et de temps lors d'un changement de référentiel inertiel. Dans un livre attachant parce que de facture assez peu académique, mais résultat d'un travail minutieux, Yves Pierseaux soutient qu'il existe une « structure fine » de la relativité restreinte (désignée par lui sous le sigle RR) : « Il y a non pas une mais deux RR, écrit-il : la RR avec éther de Poincaré et la RR sans éther

17. H. Poincaré, *Théorie mathématique de la lumière*, Cours professé à la Sorbonne, 1887-1888, J. Blondin éd., Paris, G. Carré, 1889 ; cité par O. Darrigol, *op. cit.*, p. 356.

18. Dans tout ce passage, je reprends à mon compte l'argumentation développée par O. Darrigol dans *Electrodynamics from Ampère to Einstein*, *op. cit.*, p. 356.

19. H. Poincaré, « La valeur objective de la science », repris dans *La valeur de la science*, *op. cit.* p. 183.

20. Pour des raisons quasiment techniques : Einstein avait établi une relation entre l'écart quadratique moyen de l'énergie d'un système et le carré de l'énergie moyenne de ce même système. Le corps noir présente cette particularité que les deux quantités y sont du même ordre de grandeur, rendant les fluctuations temporelles en énergie importantes.

21. Einstein, si l'on peut dire, vend déjà la mèche en mars 1905, lorsqu'il glisse dans son article sur les quanta, après avoir fait le calcul de la densité spectrale d'énergie du corps noir dans le cadre de la théorie électromagnétique : « Cette relation ... indique également que, dans ce modèle, il est hors de question qu'il y ait partage de l'énergie entre l'éther et la matière ». D'où l'idée d'abandonner les équations de Maxwell au niveau microscopique, tout en les conservant au niveau macroscopique.

22. Citation extraite de la première phrase de l'article d'Einstein « Sur l'électrodynamique des corps en mouvement », 1905.

d'Einstein-Planck-Minkowski²³ ». Et de faire passer entre ces deux théories la frontière classique/quantique, « la plus importante de la physique du XX^{ème} siècle ». Ce qui, d'un point de vue logique, n'a guère de sens, sauf à supposer que la frontière en question était déjà là, invisible, avant 1905. Une chose est sûre en tout cas : Poincaré n'a jamais accepté « l'hypothèse des quanta ». A preuve, une conférence prononcée à la fin de sa vie en 1912 à Londres, reprise dans le recueil posthume *Dernières pensées*²⁴ : « Avouerai-je que je n'ai pas été entièrement convaincu de cette nouvelle hypothèse [de Planck] ? », avant de conclure « La discontinuité va-t-elle régner sur l'univers physique et son triomphe est-il définitif ? ou bien reconnaîtra-t-on que cette discontinuité n'est qu'apparente et dissimule une série de processus continus ? Le premier qui a vu un choc a cru observer un phénomène discontinu... ». Poincaré avait pourtant essayé de comprendre ; on peut même dire qu'il a passé la dernière année de sa vie à trouver une alternative à l'« hypothèse des quanta ». Dans une conférence prononcée le 11 avril 1912 à la Société de Physique de Paris²⁵, il fait le récit d'un de ces essais : « M. Einstein a étudié l'action de la lumière sur les molécules ; ces molécules subissent, en effet, quelque chose

qui ressemble à la pression de radiation. M. Einstein ne s'est pas toutefois placé tout à fait à un point de vue aussi simple ; il a assimilé ses molécules à de petits résonateurs mobiles, susceptibles de posséder à la fois de la force vive de translation et de l'énergie due à ces oscillations électriques ... Quant à moi, je ferai l'inverse, c'est-à-dire que j'étudierai l'action des molécules sur la lumière... » On ne peut être plus clair sur la différence de point de vue : pour Poincaré, c'est le continu qui prime (le rayonnement du corps noir est considéré comme un effet de la pression de radiation électromagnétique et le phénomène est décrit comme la perturbation induite par les molécules sur l'énergie électromagnétique), et la température n'intervient pas. Et Poincaré, modèle d'honnêteté et de « méthode » scientifique, ajoute : « J'ai été conduit par cette analyse à la loi de Rayleigh [limite haute température et basses fréquences de la formule de Planck] ; cela, je le savais bien d'avance ; mais j'espérais qu'en voyant *comment* je serais conduit à la loi de Rayleigh, j'apercevrais plus clairement quelles modifications il faut faire subir aux hypothèses pour retrouver la loi de Planck », avant de conclure : « C'est cet espoir qui a été déçu .»

23. Y. PIERSEUX, *La « structure fine » de la Relativité Restreinte*, Paris, L'Harmattan, 1999 ; p. 20.

24. H. POINCARÉ, *Dernières pensées*, Paris, Flammarion, 1913.

25. Reprise également dans *Dernières pensées*.