

Faut-il réviser l'histoire de la relativité ?

Par Olivier Darrigol

Directeur de recherche au CNRS

Laboratoire de Recherches épistémologiques et historiques sur les sciences exactes et les institutions scientifiques du CNRS (Rehseis, UMR 7596) Paris

(Texte extrait de La Lettre de l'Académie des sciences n° 14 hiver 2004)

Nous fêtons bientôt le centenaire de la théorie de la relativité. Au seuil de cet événement, se multiplient les écrits partisans qui font de Henri Poincaré le seul et véritable auteur de cette théorie. Dès 1951, le physicien mathématicien britannique Edmund Whittaker parlait de la "théorie de Lorentz et Poincaré" et écartait délibérément le nom d'Einstein. Ce jugement dérivait d'une conception de la théorie physique qui mettait en avant son appareil formel (le groupe de Lorentz-Poincaré) et négligeait son architecture conceptuelle. Mais des forces plus obscures, telles que le chauvinisme, l'esprit d'école ou même l'antisémitisme, animent souvent les champions de la priorité de Poincaré, dont la gloire se passe de ces prétendus redresseurs de torts. Leurs méthodes relèvent de la propagande : les citations de Poincaré sont artificiellement isolées de leur contexte, le jeune Einstein est accusé de malhonnêteté, et l'on va même jusqu'à prêter aux scientifiques allemands de sombres machinations nationalistes.

A l'opposé de cette tendance, les historiens des sciences ont souvent fait d'Einstein le seul découvreur de la relativité. Contrairement à Whittaker, ils ont relégué l'appareil formel au second plan et considéré la nouvelle cinématique d'Einstein comme l'essentiel de la relativité (oubliant en cela que les fondateurs présumés d'autres théories, Maxwell ou Schrödinger par exemple, ont donné les équations fondamentales sans connaître leur interprétation définitive). Ces historiens ont jugé les écrits pertinents de Poincaré confus et même contradictoires, faute d'avoir compris que celui-ci se situait dans un cadre conceptuel cohérent mais incompatible avec celui d'Einstein. Par une lecture trop rapide du mathématicien français, ils ont manqué quelques étapes cruciales de l'histoire de la relativité. Cet autre genre d'aveuglement s'explique aisément par le caractère éblouissant de la physique d'Einstein, par l'étrangeté des vues de Poincaré aux yeux des lecteurs einsteiniens que nous sommes, et par son style elliptique et parfois imprécis.

Pour échapper à toute caricature, il faut abandonner l'idée absurde d'une justice posthument rendue aux grands hommes du passé. Un but plus légitime de l'historien de la relativité est de comprendre la genèse de cette théorie en restituant les contextes et les problématiques pertinentes, en analysant les motivations et les interactions de tous les acteurs impliqués, et en évitant de trop spéculer quand les sources font défaut. C'est seulement au bout d'une telle recherche, systématique et désintéressée, que l'on peut faire la part des contributions de Lorentz, Poincaré et Einstein à la théorie de la relativité. Ce qui suit est un exposé schématique des résultats de l'enquête menée par les historiens cités dans la bibliographie.

La théorie de Maxwell, telle qu'on la comprenait encore au début des années 1890, n'avait que peu à voir avec ce que nous entendons aujourd'hui sous ce nom. Son objet était une

description purement macroscopique des états d'un milieu mécanique subtil, l'éther, éventuellement modifié par la présence de matière et accompagnant celle-ci dans ses mouvements. Elle ramenait tout autre concept électrique, dont la charge, le courant et la polarisation, à de tels états. Le Maxwell historique voulait certes réduire l'optique à l'électromagnétisme, comme le fait "notre" Maxwell. Mais il n'y parvenait qu'en négligeant plusieurs classes de phénomènes, dont la dispersion, les effets magnéto-optiques et l'optique des corps en mouvement.

En 1892, le théoricien néerlandais Hendrik Lorentz parvint à inclure ces divers phénomènes dans une théorie microphysique qui trahissait Maxwell sur bien des points. Lorentz supposait un éther rigoureusement stationnaire, dans lequel les ions (ou électrons) constituant la matière pouvaient circuler librement. Il interprétait charge, courant électrique et polarisation respectivement comme une accumulation, une circulation, ou un déplacement d'ions. Et il réduisait l'ensemble des phénomènes optiques et électromagnétiques à des interactions entre ions et éther réglées par les équations de Maxwell-Lorentz.

Dans ce cadre simple et général, Lorentz expliquait certains faits de l'optique des corps en mouvement qui avaient jusqu'alors échappé à la théorie de Maxwell. Le caractère stationnaire de son éther rendait compte de l'aberration des étoiles. L'interférence entre une onde primaire et les ondes secondaires créées par les vibrations sympathiques des ions d'un corps transparent rendait compte de l'indice optique n et de ses variations avec la fréquence (dispersion). Mieux encore, elle impliquait un entraînement partiel des ondes lumineuses par un corps transparent en mouvement (par rapport à l'éther), avec le coefficient $1-1/n^2$. Comme Augustin Fresnel l'avait noté en 1818, ce coefficient permettait d'éviter que le vent d'éther altérât les lois de la réfraction dans une expérience terrestre. Une expérience de Hippolyte Fizeau avait confirmé sa valeur en 1850.

Plus généralement, Lorentz démontrait l'absence d'effet du vent d'éther sur les expériences d'optique terrestre au premier ordre en u/c , où u désigne la vitesse de la terre à travers l'éther et c la vitesse de la lumière. Sa théorie permettait aussi d'expliquer le résultat négatif d'une expérience du second ordre réalisée en 1887 par Albert Michelson et Edward Morley, à condition d'admettre une contraction des corps solides dans le sens du vent d'éther et dans le rapport $\sqrt{1-u^2/c^2}$. Afin d'établir l'absence d'effets du mouvement de la terre au premier ordre, Lorentz écrivait d'abord les équations fondamentales dans le repère de l'éther, puis passait dans un repère terrestre par une transformation de Galilée $x'=x-ut$, et enfin effectuait un nouveau changement de variables impliquant, au premier ordre, le "temps local" $t'=t-ux'/c^2$, de telle sorte que les équations fondamentales reprenaient la forme qu'elles avaient dans le repère de l'éther. Il est important de noter que ce nouveau temps n'était pour lui qu'une variable auxiliaire dénuée de signification physique.

Au bout d'une série de cours sur les théories mathématiques de la lumière et de l'électromagnétisme, Henri Poincaré jugea que la théorie de Lorentz était la meilleure disponible, tout en formulant un certain nombre de critiques. Selon lui, l'éther n'était qu'une sorte de métaphore commode pour décrire les phénomènes de propagation

électromagnétique, et ne devait donc pas jouer le rôle d'un corps matériel dans l'application du principe de relativité. Autrement dit, Poincaré pariait pour une indétectabilité absolue du vent d'éther. Ce point de vue, qu'il était le seul à soutenir au tournant du siècle, lui fit reprocher à Lorentz une série de "coups de pouces" dont ne résultait qu'une validité approximative du principe de relativité.

Dans un mémoire de 1900 offert à Lorentz pour son jubilé, Poincaré donna de plus une nouvelle interprétation physique des transformations de Lorentz. Selon lui, les champs et les coordonnées transformés n'étaient autres que ceux mesurés par des observateurs terrestres, moyennant certaines conventions naturelles. En particulier, le temps local de Lorentz n'était autre que le temps mesuré par des observateurs synchronisant leurs horloges grâce à l'échange de signaux lumineux et ignorant leur mouvement par rapport à l'éther. Cette remarque de Poincaré simplifiait énormément l'usage des transformations de Lorentz, car elle permettait d'associer directement l'invariance des équations de Maxwell-Lorentz à une invariance des phénomènes électromagnétiques et optiques.

Lorentz ne réagit pas à cette dernière innovation. En 1904, il parvint cependant à dépasser les coups de pouce que lui reprochait Poincaré en obtenant l'invariance exacte des équations de Maxwell-Lorentz, sauf pour les termes sources. L'année suivante, Poincaré corrigea cette dernière imperfection, et il réaffirma la validité générale du principe de relativité (que Lorentz n'admettait toujours pas) ainsi que le lien entre ce principe et la symétrie des équations fondamentales par rapport au groupe de Lorentz. Il jugea que toute théorie future devrait satisfaire à cette symétrie au nom du principe de relativité. Il obtint les équations de la dynamique relativiste pour un modèle spécifique de l'électron. Et il suggéra une modification de la loi de la gravitation de Newton qui la rendit compatible avec l'invariance de Lorentz.

Poincaré maintint cependant l'éther jusqu'à sa mort, en tant que repère privilégié dans lequel les horloges donnaient le "temps vrai" et la lumière se propageait à vitesse vraiment constante. Il qualifiait les temps et les espaces mesurés par des observateurs en mouvement d'appareils, bien que le principe de relativité interdît toute différence mesurable entre le repère de l'éther et un repère en mouvement. Sans doute préférait-il maintenir des concepts d'espace de temps excellentement adaptés à l'expérience ordinaire plutôt que de les modifier au nom de phénomènes nécessitant des vitesses extrêmes.

Seul Einstein eut l'audace de déclarer que les divers référentiels inertiels étaient entièrement équivalents, que les temps et les espaces mesurés dans chacun d'entre eux étaient tous sur le même pied. Il se persuada d'une exacte validité du principe de relativité vers 1901, avant d'avoir lu Poincaré. Contrairement à ce dernier, il accompagnait cette conviction du rejet du concept d'éther, au nom d'un principe épistémologique d'univocité des représentations théoriques : à un seul et même phénomène devait correspondre une seule représentation théorique. La théorie de Lorentz ne satisfaisait pas à ce critère car, par exemple, elle donnait deux explications différentes du phénomène d'induction due au mouvement relatif d'une bobine et d'un aimant, selon que c'était la bobine ou l'aimant qui se déplaçait par rapport à l'éther.

Au nom du même principe épistémologique, il fallait se représenter la propagation de la lumière d'une manière analogue dans tous les référentiels inertiels. En 1905, Einstein comprit que cela était possible à condition de poser la constance de la vitesse de la lumière comme principe (et non plus comme conséquence de l'existence d'un milieu de propagation) et de redéfinir les concepts d'espace et de temps en conformité avec ce principe et celui de relativité. Il établit alors que les espaces et les temps mesurés dans deux référentiels distincts se trouvaient reliés par une transformation de Lorentz. Il en déduisit la contraction des longueurs et la dilatation des temps. Il démontra l'invariance des équations de Maxwell-Lorentz. Il déduisit quelques phénomènes de l'optique des corps en mouvement. Et il obtint la dynamique relativiste d'un corpuscule sur la seule base de l'invariance de Lorentz et de l'accord asymptotique avec la mécanique newtonienne.

Il est possible que l'interprétation de Poincaré du temps local de Lorentz ait joué le rôle de déclencheur du train de raisonnements d'Einstein. Et il est vrai que les théories d'Einstein et de Poincaré partagent le principe de relativité et une même structure mathématique, ont les mêmes conséquences vérifiables expérimentalement, et exigent toutes deux l'invariance de Lorentz de l'ensemble des lois de la physique. Mais la structure conceptuelle à laquelle aboutit Einstein, fondée sur deux principes, déductive et sans éther, est bien différente de celle de Poincaré. Elle ressemble beaucoup plus à ce que nous entendons aujourd'hui par théorie de la relativité. Tout préjugé présentiste mis à part, elle bénéficie d'une clarté supérieure d'exposition. On ne peut donc pas dire que la contribution d'Einstein est superflue. Elle est même essentielle pour le philosophe qui voit dans la réforme de l'espace et du temps un geste capital.

En conclusion, l'historien ne peut comprendre la construction de la théorie de la relativité que comme un processus graduel et collectif. Lorentz, Poincaré et Einstein (et d'autres acteurs à un moindre degré) y ont participé dans des mesures comparables, si tant est que les sauts conceptuels puissent se mesurer. Einstein fut cependant le seul à franchir la dernière étape, emblématique de la relativité : le bouleversement des concepts ancestraux d'espace et de temps.

Bibliographie

Olivier Darrigol

- Henri Poincaré's criticism of *fin de siècle* electrodynamics
Studies in history and philosophy of modern physics 26 (1995) 1-44
- The electrodynamic origins of relativity theory
Historical studies in the physical and biological sciences 26 (1996) 241-312
- Poincaré, Einstein, et l'inertie de l'énergie
Académie des sciences, Comptes rendus, IV: 1 (2000) 143-153
- Electrodynamics from Ampère to Einstein
Ed. Oxford University Press (2000)
- The mystery of the Einstein-Poincaré connection
Isis (décembre 2004)

Albrecht Fölsing

Albert Einstein : Biographie

Ed. Suhrkamp, Frankfurt am Main (1995) - traduction anglaise, New York, (1997)

Peter Galison

Einstein's clocks, Poincaré's maps : Empires of time

Ed. New York (2003)

Arthur Miller

Albert Einstein's special relativity: Emergence and early interpretation (1905-1911)

Ed. Reading (1981)

Abraham Pais

'Subtle is the Lord' : The science and life of Albert Einstein

Ed. Oxford (1982)

Michel Paty

Einstein philosophe : La physique comme pratique philosophique

Ed. Les Belles Lettres, Paris (1993)