

Holland, Amsterdam, 1970), p.315.

19. H. Poincaré, *Jour. Phys. Théor. Appl.*, 5ème série, 2, 347 (1912).

20. H.A. Lorentz, *The Theory of Electrons and its Application to the Phenomena of Light and Radiant Heat* (Columbia U. P., New York, 1909 ; Dover, New York, 1952) ; pp. 229-230 de la réédition Dover.

21. W. Heisenberg, *Physique et Philosophie*, Trad. française J. Hadamard, (Albin Michel, Paris, 1961), p.124.

22. A. Einstein, *The Meaning of Relativity*, 6th ed. (1922 ; rep. ed. : London, Chapman and Hall, 1967), p. 2.

23. L. Kostro, *An Outline of the History of Einstein's Relativistic Ether Concept*, in *Studies in the History of General Relativity*, J.Eisenstaedt & A.J. Kox, eds., 3, 260 (1992).

24. G. Holton, *On the Origin of the Special Theory of Relativity*, in G. Holton, *Thematic Origins of Scientific Thought : Kepler to Einstein* (Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass. 1973), p. 171.

25. A. Einstein, *Ann. Physik*, 17, 891 (1905).

26. A. Einstein, *Relativity, The Special, The General Theory*, (Chicago, 1951), p. 18.

27. H. Poincaré, *Rev. Métaphys. Morale*, 6, 1 (1898)

28. F. Selleri, *Physics Essays*, 8, 342 (1995)

29. H. Reichenbach, *The Philosophy of Space & Time* (Dover Publ., New York, 1958). p. 127.

30. M. Jammer, *Some Fundamental Problems in the Special Theory of Relativity in Problems in the Foundations of Physics*, G. Toraldo di Francia, ed., pp. 206-236 (Società Italiana di Fisica, Bologna and North Holland, Amsterdam, 1979)

31. K. Popper, *La quête inachevée*, Trad. française R. Bouveresse et M. Bouin-Naudin, (Calmann-Lévy, Paris, 1981). pp. 185-186.

32. H. Minkowski, Discours donné lors de la 80ème Assemblée des Physiciens et scientifiques allemands, Cologne, 21 septembre, 1908. English translation in : H.A. Lorentz, A. Einstein, H. Minkowski and H. Weyl, *The Principle of Relativity*, Dover, New York (1952).

33. J.A. Wheeler, *Delayed Choice Experiments and the Bohr-Einstein Dialog*, Article présenté lors d'une conférence organisée par l'American Philosophical Society et la Royal Society, London, 5 juin, 1980.

34. R. Feynman, *Phys. Rev.*, 76, 749 (1949).

35. L.W. Alvarez, in *Proc. 1975 Int. Symp. Lepton and Photon Interactions at High Energies* (Stanford, 1975), p. 967.

36. F. Selleri, *Found. Phys.*, 26, 641 (1996) ; *Found. Phys. Lett.*, 9, 43(1996).

37. F. Selleri, *Il principio di relatività e la natura del tempo*, *Il Giornale di Fisica*, édité par la Société Italienne de Physique.

Relativité : la revanche de Leibniz

JONATHAN TENNENBAUM

Que l'on soit ou non d'accord avec les conclusions spécifiques du professeur Selleri, la revue critique de la théorie du principe de la relativité et du traitement par Einstein de la nature du temps est une contribution utile pour surpasser le dogmatisme et le manque de profondeur historique qui ont marqué l'essentiel de l'enseignement de la physique au cours des dernières décennies, et qui ont même gêné les progrès de cette science.

Nous pensons — et le professeur Selleri serait probablement d'accord avec nous sur ce point — que l'on est loin d'avoir dit « le dernier mot » sur ces sujets. Pour notre part, nous nous attendons à ce que de futures découvertes nous obligent à une révision des notions actuelles de l'espace et du temps, révision encore plus fondamentale que celle entreprise par Einstein et Minkowski il y a presque cent ans.

Dans ce contexte, nous aimerions attirer l'attention sur un fait non mentionné dans l'article de Selleri, à savoir que les premiers pas du développement de la physique relativiste furent accomplis à l'époque d'Isaac Newton, par Gottfried Wilhelm Leibniz. En fait, Newton et Leibniz représentaient deux points de vue irréconciliables et opposés dans une bataille épistémologique vieille de plusieurs siècles, qui continue encore aujourd'hui. Bien que nous ne puissions présenter dans ce cadre les conceptions de Leibniz de façon satisfai-

sante, il est utile de donner ici quelques indications pour que le lecteur ait au moins une idée de l'enjeu de la bataille.

Dans sa correspondance avec Clarke — ami de Newton — et dans bien d'autres écrits, Leibniz critique durement ce qu'il appelle « l'espace réel absolu, idole de quelques Anglais modernes (...) ». Selon lui, le concept de temps et d'espace « purs, absolus, mathématiques » chez Newton appartient à la catégorie des « imaginations des philosophes à notions incomplètes, qui se font de l'espace une réalité absolue. Les simples mathématiciens, qui ne s'occupent que de jeux d'imagination, sont capables de se forger de telles notions ; mais elles sont détruites par des raisons supérieures ».

Leibniz ajoute :

« Pour moi, j'ai marqué plus d'une fois que je tenais l'espace pour quelque chose de purement relatif, comme le temps ; pour un ordre des coexistences, comme le temps est un ordre de successions. »

Dans ses *Fondations métaphysiques des mathématiques*, Leibniz donne des indications plus détaillées sur son approche de l'espace et du temps :

« Etant donné un ensemble d'états d'existence, qui ne s'excluent pas les uns les autres [dans le sens d'une impossibilité — NdA], on les appellera simultanés. De même, les événements de l'année dernière et de cette année ne peuvent être simultanés parce que cela impliquerait des états contradictoires pour une même chose.

« Quand deux états sont donnés, qu'ils ne sont pas simultanés, et que l'un contient la raison de l'autre, alors on dira que le premier précède et que le second suit. (...) Tous les états existant peuvent ainsi être ordonnés selon leurs relations respectives de simultanéité.

« Le temps est l'ordonnement des existences non simultanées. (...) L'espace est l'ordonnement des coexistences, ou l'ordonnement de l'existence de ce qui est simultané. » (c'est nous qui soulignons)

En fait, la conception de l'espace-temps physique exprimée par Leibniz est beaucoup plus profonde et sophistiquée que ces quelques citations pourraient laisser penser. D'ailleurs, seule une poignée de personnes l'ont compris de façon adéquate au cours des trois cents dernières années. Mais il devrait être clair que l'espace et le temps ne sont pas pour Leibniz de simples conventions,

pas plus que des concepts ou des lois générales pouvant être exprimées une fois pour toutes dans un cadre mathématique fixe. Leibniz affirme au contraire que le temps et l'espace doivent être définis en termes de *relations causales* entre événements réels dans l'univers réels. La « relativité » leibnizienne se préoccupe de la réalité comme un tout — c'est-à-dire de la vérité, qui ne peut être conceptualisée que par une idée — et pas seulement par des corrélations entre mesures et observations individuelles, comme chez Mach ou les positivistes. Par ailleurs, la connaissance humaine de la véritable organisation de l'univers n'est jamais complète, mais elle se développe constamment par de nouvelles découvertes fondamentales. Ainsi, nous ne pouvons dicter a priori la forme que doit avoir l'organisation spatio-temporelle de l'univers ; il nous faut plutôt la découvrir expérimentalement, grâce à des hypothèses.

Au passage, notons que l'affirmation de Leibniz sur la nature « purement relative » du temps et de l'espace n'exclut pas du tout l'existence d'un « éther » ! En fait Leibniz adopta l'hypothèse d'un éther et avança des raisons puissantes pour rejeter l'idée qu'il pourrait y avoir des régions vides de l'univers, où « rien n'arrive ». Leibniz rejetait également ce qu'il considérait comme une tendance matérialiste vulgaire, chez Newton et d'autres, consistant à faire de l'espace un genre de corps matériel. Pour Leibniz, les corps matériels ressortent du monde des apparences ; ils ne représentent rien d'autre qu'un « phénomène bien ordonné ». Il faut donc rechercher la réalité, non dans la matière, mais dans les principes supérieurs de développement (action négentropique) qui engendrent les phénomènes associés à ce que nous appelons la « matière », ainsi que tout le reste. Leibniz reconnaissait en particulier qu'un « éther » pouvait avoir des caractéristiques très différentes de celles de corps matériels tels qu'on les comprend habituellement.

L'influence de Leibniz

En dépit de l'influence de Newton et de ses disciples, les idées de Leibniz eurent une influence forte sur les développements ultérieurs de la phy-

sique. Par exemple, bien avant les travaux de Lorentz et Einstein, la conception leibnizienne « relativiste » de l'espace-temps physique était à la base des découvertes de Carl Gauss, Wilhelm Weber et Bernhard Riemann, en électrodynamique et dans les domaines associés. Lorsque Gauss explorait ce qu'il appelait « géométries anti-euclidiennes », c'est parce qu'il avait la conviction profonde que la géométrie n'appartient pas au domaine des « mathématiques pures », mais doit être traitée au sein de la physique. Plus tard, Wilhelm Weber, dans un remarquable texte posthume, déclare les mêmes choses sur le temps. Les discussions parmi les élèves de Gauss, de Weber et Riemann au sujet de la géométrie de l'espace-temps étaient intimement liées à leur approche de tous les domaines d'investigation scientifique, notamment l'astronomie, l'électromagnétique, la géophysique, la biologie et la psychologie.

A de nombreux égards, le sommet de ces discussions se retrouve dans la dissertation de 1854 de Riemann, *Sur les hypothèses qui sous-tendent la géométrie*. Nous ne proposons pas d'entrer dans les notions révolutionnaires de courbure généralisée et du développement évolutif de « nouvelles dimensionnalités » de l'espace-temps physique que Riemann développe dans ce texte ; nous souhaitons simplement souligner la cohérence de la pensée de Riemann et celle de Leibniz, comme le révèle la citation suivante :

« (...) les propositions de la Géométrie ne peuvent se déduire des concepts généraux de grandeur, mais que les propriétés, par lesquelles l'espace se distingue de toute autre grandeur imaginable de trois dimensions, ne peuvent être empruntées qu'à l'expérience. De là surgit le problème de rechercher les faits les plus simples aux moyens desquels puissent s'établir les rapports métriques de l'espace ; (...). Ces faits, comme tous les faits possibles, ne sont pas nécessaires ; ils n'ont qu'une certitude empirique, ce sont des hypothèses. » (c'est nous qui soulignons)

Nous pensons que pour remettre la science sur la voie du progrès, il est urgent de restaurer la rigueur et la cohérence de l'approche que l'on trouvait dans l'école de Gauss, Weber et Riemann, suivant en cela les traces de Leibniz. ■