



HAL
open science

Pensée rationnelle et création scientifique chez Poincaré

Michel Paty

► **To cite this version:**

Michel Paty. Pensée rationnelle et création scientifique chez Poincaré. Colloque Henri Poincaré "Science et pensée", Table-ronde 1, Ecole des Mines, Sophia-Antipolis, Jan 2005, France. pp.19. halshs-00004166

HAL Id: halshs-00004166

<https://shs.hal.science/halshs-00004166v1>

Submitted on 18 Jul 2005

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Colloque Henri Poincaré « Science et pensée », Table-ronde 1, Ecole des Mines, Sophia-Antipolis, lundi 17 janvier 2005.

Pensée rationnelle et création scientifique chez Poincaré

Michel Paty[#]

RÉSUMÉ.

On éclaire le « style » d'Henri Poincaré en physique théorique et mathématique, en prenant le cas de sa formulation théorique de l'électrodynamique relativiste, et de la place qu'y tient le principe de relativité ; dans ce travail créateur, le rapprochement et le contraste avec celui parallèle d'Einstein s'impose. On évoque ensuite ce que l'œuvre et la pensée de Poincaré apportent de nouveau, dans le champ philosophique, concernant le problème de la création scientifique et de son rapport à la rationalité.

MOTS-CLÉS. Création scientifique, Electrodynamique, Intuition, Invention, Mathématiques, Philosophie, Physique mathématique, Physique théorique, Rationalité, Relativité (Principe de).

*

Je voudrais poser, à partir de la pensée et de l'œuvre d'Henri Poincaré, le problème du rapport entre la rationalité et la pensée créatrice en mathématiques et en physique mathématique et théorique. Je considérerai tout d'abord son travail en physique mathématique et théorique, en m'arrêtant sur sa pensée de l'électrodynamique et du principe de relativité. J'aborderai ensuite l'aspect réflexif de la pensée de Poincaré sur le thème de la création scientifique, qui fait de lui l'un des premiers à s'être préoccupé d'une philosophie de la création selon la rationalité.

[#] Directeur de recherche émérite au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) (EQUIPE REHSEIS, UMR 7596, CNRS et Université Paris 7-Denis Diderot), Paris, France ; et Professor Visitante, Departamento de Filosofia, FFLCH, Universidade de São Paulo (SP), Brasil. Courriel : paty@paris7.jussieu.fr

*Rationalité et pensée créatrice en mathématiques
et en physique mathématique et théorique*

Prises séparément, les deux expressions, « pensée rationnelle » ou « rationalité » d'une part, et « création scientifique » d'autre part, seront acceptées sans difficulté, sinon en général, du moins concernant l'œuvre d'Henri Poincaré. La pensée rationnelle est évidemment impliquée dans la recherche scientifique, notamment en mathématiques et en physique. Que le travail de Poincaré soit, en outre, un travail de création mathématique et physico-mathématique, c'est encore une affirmation qui sera peu contestée, et l'on se plaît généralement à saluer l'aspect créatif et créateur de sa pensée, notamment mathématique.

Mais que la création mathématique ou scientifique en général soit directement liée à la rationalité, voire que l'on puisse parler de *création rationnelle* à propos des sciences, c'est là une proposition qui sera bien loin de faire l'unanimité¹. Pour beaucoup, et notamment dans les courants dominants de la philosophie de la connaissance du XX^e siècle, du positivisme logique à la philosophie analytique en passant par le rationalisme critique poppérien, la part créatrice de la pensée scientifique se tient entre deux états de pensée (de connaissance) caractérisables rationnellement, dont la philosophie analyse les propositions, celui de la connaissance antérieure et celui de la connaissance actuelle. Mais le moment créateur lui-même échapperait définitivement, par nature, à l'analyse rationnelle et relèverait donc de l'irrationnel, psychologique ou social. N'évoquons à ce sujet que les déclarations explicites dans ce sens de Karl Popper, et la distinction de Hans Reichenbach entre contexte de découverte et contexte de justification, le second seul étant approprié selon lui à l'approche rationnelle de la philosophie, distinction qui a fait longtemps et fait encore souvent autorité^{2 3}.

J'évoquerai tout à l'heure la pensée philosophique de Poincaré, qui semble s'inscrire par avance contre cette conception, toute centrée qu'elle est autour de l'invention scientifique, c'est-à-dire de l'activité créatrice de la pensée aux prises avec les problèmes des sciences. Je m'en tiens, pour l'instant, à son œuvre scientifique propre en mathématiques et en physique mathématique et théorique. Ses pairs mathématiciens de l'Académie Royale de Suède avaient trouvé une formule significative pour indiquer la raison de leur couronnement de son travail sur le problème des trois corps qui connaîtrait une grande fécondité avec les développements contemporains de l'étude des systèmes dynamiques. Poincaré avait, déclaraient-ils, inauguré une « nouvelle manière de penser » en mathématiques

¹ Paty, M. [1999c], La création scientifique selon Poincaré et Einstein, in Serfati, Michel (éd.), *La recherche de la vérité*, Coll. « L'Écriture des Mathématiques », ACL-Éditions du Kangourou, Paris, 1999, p. 241-280.

² Popper, Karl [1935], *Logik der Forschung. Zur Erkenntnistheorie der modernen Naturwissenschaft*, Springer Verlag, Wien, 1934. Ré-éd.avec additions, 1959 ; 1968. Trad. angl., *The logic of scientific discovery*, 1959 ; 1968 ; trad. fr. par Nicole Thyssen-Rutten et Philippe Devaux, *La logique de la découverte scientifique*, Payot, Paris, 1973. Popper, Karl [1972], *Objective knowledge, an evolutionary approach*, Clarendon Press, Oxford, 1972. Trad. fr. partielle par C. Bastyns, *La connaissance objective*, Complexe, Bruxelles, 1978.

³ Reichenbach, Hans [1938], *Experience and prediction*, University of Chicago Press, Chicago, 1938.

et en physique mathématique, en jetant les bases de l'approche dite *qualitative* qui s'intéresse aux types de comportement des systèmes dynamiques et des solutions des systèmes d'équations qui les caractérisent. Cette voie neuve de l'approche qualitative et structurelle révélait davantage sur les systèmes dynamiques (non linéaires) que les solutions particulières elles-mêmes, qui sont sujettes aux effets d'amplification arbitraire de variations des conditions initiales, et ainsi imprévisibles à terme.

« Nouvelle manière de penser » : cette expression désigne, sans l'analyser explicitement, la *rationalité* (la manière de penser en mathématiques et en physique mathématique) comme l'agent et l'effet de la création de ces méthodes nouvelles et de ces nouveaux objets mathématiques.

Par delà cette reconnaissance officielle, quoique implicite, d'une *création rationnelle* par d'autres orfèvres en la matière, on pourrait reprendre l'œuvre de Poincaré, analysant son « style scientifique propre », et en caractériser les modes de rationalité et de créativité. Poincaré lui-même nous en a fourni des indications avec beaucoup de détails à propos de son invention des fonctions fuchsienues ou automorphes⁴. L'intervention, dans le récit qu'il en a donné, de considérations psychologiques ne doit pas nous tromper : c'est aussi et surtout de rationalité qu'il est fondamentalement question. Il voyait bien lui-même comment le processus de l'invention comporte des phases en succession, alternant le travail conscient, volontaire et rationnel, de la pensée avec des phases de pensée mi-conscientes mi-inconscientes qui ne sont pas résolubles analytiquement : mais c'est toujours la pensée consciente et sa mise en problème (avec ses formulations de nature rationnelle) qui continue de guider le mouvement de la pensée, même au cours des phases inconscientes dans son jeu sur les symboles qui représentent les concepts. Sans pouvoir recourir aux réminiscences des moments d'invention au sens strict de notre auteur, moments du surgissement d'une idée qui n'avait jamais été pensée auparavant, qui nous sont à jamais enlevés avec les secrets de sa subjectivité, il nous reste les œuvres écrites, dans lesquelles nous pouvons tenter de retracer les chemins de l'intelligibilité suivant sa marque propre qui est celle de son style de pensée. Et ce d'autant plus que, chez Poincaré, la rédaction semble souvent reproduire dans sa spontanéité le mouvement de la pensée inventive.

On peut analyser de même ses contributions en physique et caractériser, ici encore, son *style de pensée* et de travail qui éclaire sa manière de comprendre les problèmes théoriques en rapport aux phénomènes considérés. Certes, le style de Poincaré en physique est différent de son style en mathématiques, à cause de la différence des objets considérés. (Soulignons à cet égard que Poincaré était aussi physicien à proprement parler, et que sa *physique mathématique*, comme il

⁴ Poincaré, H. [1908b]. Comment on invente. Le travail de l'inconscient, *Le Matin* (Paris), 24 déc. 1908. Poincaré, H. [1908c], L'invention mathématique, *Bulletin de l'Institut Général de Psychologie*, 8^e année, 1908 (n° 3), 175-196 [Conférence à la Société de Psychologie de Paris] ; Egalement, *L'enseignement mathématique* 10, 1908, 359-371 ; repris dans Poincaré [1908a], *Science et méthode*, Flammarion, Paris, 1908 ; 1918 : éd. 1918, p. 43-63. Hadamard, J. [1945], *An essay on the psychology of invention in the mathematical field*, Princeton University Press, Princeton (N.J.), 1945 ; trad. fr. par Jaqueline Hadamard, *Essai sur la psychologie de l'invention dans le domaine mathématique*, Gauthier-Villars, Paris, 1975.

l'appelait, était aussi, quand l'objet l'y invitait, une *physique théorique*⁵.) Toutefois, si son style en physique diffère de son style en mathématiques, les deux s'informent mutuellement. Il lui arrive de nourrir son intuition mathématique avec la pensée de situations physiques ; et il fait généralement appel dans l'exercice de sa pensée physique, à des éléments qui viennent de sa pensée mathématique, et qui lui permettent de relier d'un coup des situations d'apparence différentes, mais structurellement semblables (il faudrait évoquer ici sa conception des « analogies mathématiques »)⁶. Ou encore il lui arrive de penser en termes de groupes, comme dans son travail sur l'électrodynamique relativiste abouti en 1905⁷, à propos des transformations de référentiels pour lesquelles il définit le groupe de Lorentz. Cette pensée des groupes correspond de façon éminente à une vue synthétique, qui lui permet d'accéder directement aux propriétés caractéristiques des systèmes physiques considérés (de l'addition relativiste des vitesses aux invariants des transformations de Lorentz).

Ses contributions en physique prennent généralement leur point de départ dans une étude critique des théories existantes et de leur rapport aux données d'observation ou d'expérience. Cette étude critique est une mise en place rationnelle des problèmes abordés, qui sont ainsi confrontés aux exigences de l'intelligibilité. L'« habitus mathématique » facilite la perception synthétique par l'entendement d'éléments du problème, et Poincaré s'est souvent trouvé ainsi amené à proposer des vues originales, à souligner d'emblée la difficulté de telle théorie en vigueur, et à en indiquer des possibilités de perfectionnement ou de modifications, ou parfois simplement à déceler les limitations qui lui sont inhérentes. Par exemple, sur la nature de la lumière, qui se manifeste par des traits de phénomènes sur lesquels la « théorie mathématique de la lumière » inaugurée par Fresnel reste muette⁸.

Considérons ce cas un peu plus en détail. La formule de Fresnel « de l'entraînement partiel de l'éther », surajoutée à sa théorie des ondes lumineuses pour rendre compte de l'aberration des étoiles et de l'expérience d'Arago sur le prisme entraîné dans le mouvement de la Terre, exprimait la modification de la vitesse de la lumière dans un milieu réfringent quand celui-ci est en mouvement. Cette modification permettait de maintenir inchangée la loi de réfraction dans le prisme en vigueur quand le prisme est en repos par rapport à l'éther, support supposé des ondes lumineuses. Le « coefficient de Fresnel » de cette formule⁹ (qui intervient « au premier ordre en v/c », v et c étant, respectivement, la vitesse d'entraînement de la Terre dans son mouvement annuel et la vitesse de la lumière dans le vide) compensait pour ainsi dire, les effets du mouvement sur les lois de

⁵ Paty, M [1999a]. La place des principes dans la physique mathématique au sens de Poincaré, in Sebestik, J. et Soulez, A. (éds.), *Actes du Colloque France-Autriche Paris, mai 1995, Interférences et transformations dans la philosophie française et autrichienne (Mach, Poincaré, Duhem, Boltzmann)*, *Fundamenta philosophiæ* (Nancy/éd. Kimé, Paris) 3 (2), 1998-1999, 61-74.

⁶ Paty, M. [à paraître,b], L'analogie mathématique au sens de Poincaré et sa fonction en physique, in Durand-Richard, M.-J. (éd.), *Le statut de l'analogie dans la démarche scientifique*, L'Harmattan, Paris, à paraître.

⁷ Article paru en 1906 : voir plus bas.

⁸ Paty, M. [à paraître,c], Poincaré et la relativité des mouvements pour l'optique, *Revue d'histoire des sciences*, à paraître.

⁹ La formule de Fresnel de l'entraînement partiel est : $c' / n = c/n \pm v/c (1 - 1/n^2)$, n étant l'indice de réfraction du milieu réfringent (notation modernisée).

l'optique. L'hypothèse par laquelle Fresnel avait formulé son coefficient était basée sur un modèle de l'éther (en termes de densité de molécules du milieu éthéré, support des ondes lumineuses). Dans le cas de la double réfraction, examiné par Eleuthère Mascart, où deux rayons réfractés sont produits par un rayon incident de longueur d'onde donnée, Mascart avait trouvé que le coefficient d'entraînement partiel de l'éther, combiné avec la prise en compte de l'effet Doppler-Fizeau sur la longueur d'onde, est vérifié pour chacun des rayons déviés (le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire) avec sa longueur d'onde propre et l'indice correspondant. Au contraire, dans le modèle d'éther tel que Fresnel l'avait formulé, la réfraction des deux rayons aurait dû se faire suivant l'indice moyen. Ce trait, résultant des expériences systématiques de Mascart, effectuées en 1872-1874¹⁰, fut déterminant dans le choix, par Poincaré, de la théorie électromagnétique de la lumière proposée par Maxwell, dans sa version précisée par Hendryk A. Lorentz, avec des électrons vibrants comme source du champ électromagnétique et un éther immobile¹¹.

Pour Poincaré, d'un côté ce caractère révélait une limitation inhérente à une théorie purement mathématique de la lumière et indiquait qu'il faudrait en venir à une théorie qui se prononçât sur la nature physique du rayonnement lumineux. D'un autre côté, parmi les théories physiques de la lumière, celle de Maxwell-Lorentz obtenait comme conséquence, sans modèle particulier d'éther, le coefficient de Fresnel pour chaque longueur d'onde. L'expérience de Fizeau (effectuée en 1851), qui matérialisait, pour ainsi dire, le coefficient de Fresnel, et le résultat de Mascart qui précisait la dépendance de ce dernier en fonction de la longueur d'onde des rayons, comme on vient de le rappeler, déterminèrent donc Poincaré à choisir la théorie de Maxwell-Lorentz, de préférence aux autres théories concurrentes, et notamment celle de Maxwell-Hertz d'un éther lumineux électromagnétique totalement entraîné par le mouvement des corps dans leur voisinage. Il diagnostiquait cependant des insuffisances dans la formulation de cette théorie, qu'il énonça dès 1895, et qu'il n'eut de cesse de préciser par la suite, jusqu'à aboutir en 1905 à son résultat, parallèle à celui d'Einstein.

La voie propre de Poincaré sur ce sujet, différente de celle d'Einstein (les deux obtenant cependant des résultats convergents, mais de signification structurelle différente), était de faire de la théorie électromagnétique, une théorie de « physique mathématique » dans un sens aussi plein que la mécanique analytique lagrangienne, modèle ou idéal commun aux physiciens théoriciens de l'époque (sans « réduction mécaniste », c'est-à-dire sans recourir à des modèles mécaniques particuliers). Sur ce problème théorique (obtenir une plus grande rationalisation de la théorie électromagnétique), une étude comparative des contributions respectives de Lorentz, Poincaré et Einstein montre la différence des « styles scientifiques » et

¹⁰ Mascart, E. [1872-1874], Sur les modifications qu'éprouve la lumière par suite du mouvement de la source lumineuse et du mouvement de l'observateur, *Annales scientifiques de l'École Normale Supérieure*, 2ème série, 1, 1872, 157-214 (Première partie) ; 3, 1874, 363-420 (Deuxième partie). Voir : Pietrocola, M. [1993], *E. Mascart et l'optique des corps en mouvement*, Thèse d'épistémologie et d'histoire des sciences, Université Paris 7-D. Diderot, 1993.

¹¹ Maxwell, James Clerk [1873], *A treatise on electricity and magnetism* (1873); 3rd ed. (1891), 2 vols. Ré-éd., Dover, New York, 1954. Lorentz, Hendryk A. [1895], *Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern*, Brill; Leiden, 1895 ; également in Lorentz [1935-1939], *Collected papers*, Nijhoff, La Haye, 9 vols., 1935-1939 : vol. 5, p. 1-137. Trad. fr. d'extraits in Abraham, H. et Langevin, P (dirs.) [1905]. *Les quantités élémentaires d'électricité: ions, électrons, corpuscules*, Gauthier-Villars, Paris, 2 vols., 1905, p. 430-476.

des exigences d'intelligibilité propres à chacun de ces trois grands chercheurs, dont les résultats obtenus convergent cependant pour des relations de grandeurs voisines, ou semblables, mais interprétées différemment, c'est-à-dire correspondant à une compréhension conceptuelle différente¹².

Lorentz, Poincaré et Einstein : Électrodynamique et principe de relativité. Styles scientifiques et créativité.

Lorentz et Poincaré, après une dizaine d'années de travail sur ces questions, en se basant sur la première théorie de Lorentz (de 1895) que nous avons mentionnée plus haut, abordèrent le problème de l'électrodynamique des corps en mouvement d'une manière semi-empirique¹³ ¹⁴. Ils mirent en avant le résultat négatif de l'expérience de Michelson-Morley sur le vent d'éther (expérience du second ordre en v/c), et l'hypothèse supplémentaire de Lorentz de la contraction des longueurs (pour les bras de l'interféromètre) dans le sens du mouvement, en la généralisant à une transformation de coordonnées, qui impliquait aussi un « temps local » pour le système en mouvement, différent du « temps physique » universel du système au repos. Sans analyser, dans son travail de 1905, paru en 1906, la signification physique de ce temps local, qui contredisait le temps absolu newtonien, Poincaré l'admettait comme physique, comme le temps que donnerait localement une horloge, au contraire de Lorentz pour qui il ne s'agissait que d'une transformation mathématique auxiliaire¹⁵. Les mêmes formules de transformation avaient pour conséquence une loi d'addition des vitesses différente de l'addition galiléenne : cette propriété, notée par Poincaré, ne l'avait pas été par Lorentz (dans leurs travaux respectifs de 1904 et 1905). Poincaré obtenait ainsi l'invariance de la

¹² J'ai moi-même effectué une telle étude comparative (voir Paty, M. [1993], *Einstein philosophe. La physique comme pratique philosophique*, Presses Universitaires de France, Paris, 1993, chapitres 2 et 3), et prolongé ensuite l'étude des conceptions respectives de Poincaré et d'Einstein (Paty, M. [1996a], Poincaré et le principe de relativité, *op. cit.* ; et Paty, M. [1993], *Einstein, philosophe, op. cit.*, chap 6 et 7 ; Paty, M. [1996], Le style d'Einstein, la nature du travail scientifique et le problème de la découverte, *Revue philosophique de Louvain*, 94, 1996 (n°3, août), 447-470).

¹³ Lorentz, H. A. [1904]. Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity smaller than that of light, *Verlagen Koninklijke Akademie van Wetenschappen Amsterdam. Proceedings of the section of science* 6, 1904, 809-831 ; également dans Lorentz [1935-1939], *Collected papers*, Nijhoff, La Haye, 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, dans Abraham, H & Langevin, P. [1905], , p. 477-495.

¹⁴ Poincaré, H. [1905b], Sur la dynamique de l'électron, *Compte-rendus des séances de l'Académie des sciences* 140, 1905, 1504-1508 ; également in Poincaré [1916-1965], *Oeuvres, op. cit.*, vol. 9, p. 489-493. Poincaré, H. [1905c], Sur la dynamique de l'électron, *Rendiconti del Circolo matematico di Palermo* XXI, 1906, p. 129-176 ; également in Poincaré [1916-1965], *Oeuvres, op. cit.*, vol. 9, p. 494-550.

¹⁵ Par ailleurs, Poincaré avait examiné de manière critique le concept de simultanéité et celui de temps, mais indépendamment de son travail sur l'électrodynamique, dans lequel il ne s'étend pas sur la signification physique du concept, qui est traité mathématiquement dans les formules. Pour une étude plus précise de cette circonstance, voir Paty, M. [1992], *Physical Geometry and Special Relativity : Einstein and Poincaré in Boi*, Luciano ; Flament, Dominique et Salanski, Jean-Michel (eds.), *1830-1930 : A century of geometry. Epistemology, history and mathematics*, Springer-Verlag, Berlin, 1992, p. 126-149 ; Paty, M [1996a], Poincaré et le principe de relativité, *op. cit.*

vitesse de la lumière et une forme invariante des équations de Maxwell-Lorentz sous les transformations de référentiel de Lorentz, ce qui impliquait le respect du principe de relativité. Les équations de la théorie électromagnétique invariante de Lorentz correspondaient à une électrodynamique relativiste.

Poincaré allait également plus loin que la seule théorie électromagnétique en remarquant que le caractère fini de la vitesse de propagation de la lumière, si cette vitesse était aussi celle de la gravitation, obligeait à modifier la loi de Newton. Pour cette modification, il proposa une approche totalement nouvelle et à longue portée, qui serait ultérieurement suivie par tous les physiciens qui auraient à faire avec les groupes de transformation : rechercher les grandeurs qui laissent le lagrangien invariant. Pour obtenir une formulation mathématiquement plus homogène de la relation entre les coordonnées d'espace et le temps, donnée dans l'invariant $s^2 = x^2 - c^2 t^2$, il proposa d'écrire la variable temps comme une quatrième coordonnée d'espace en faisant intervenir la racine imaginaire de -1 , selon la notation qui est restée depuis¹⁶ (sans doute fut-il inspiré par une remarque à cet égard de Lagrange, reprise de d'Alembert¹⁷).

Einstein suivait, de son côté (depuis plusieurs années, comme en attestent les documents de l'époque, lettres, manuscrits et témoignages contemporains)¹⁸, une réflexion sur les problèmes de l'électromagnétisme qui prenait appui sur la première théorie de Lorentz, en les abordant sous l'angle des principes théoriques qui devraient gouverner les théories en jeu, et notamment de la question de la relativité du mouvement quand on considère ensemble les corps matériels et l'éther électromagnétique et optique. Son article de 1905 « Sur l'électrodynamique des corps en mouvement » représente l'aboutissement de ces années de réflexions au cours desquelles il n'avait encore rien publié sur le sujet¹⁹. La structure fondamentale de la thermodynamique, fondée sur ses deux principes, lui servait de guide. Il choisit donc, pour des raisons de physique très précises et argumentées, le « principe de relativité », que la mécanique pour sa part respectait déjà, énonçant la nécessité de rendre invariante par rapport aux états de mouvement d'inertie la théorie électromagnétique de Maxwell reformulée par Lorentz. En contrepartie, il demandait à la mécanique de se soumettre à un caractère que la théorie électromagnétique imposait, et qui, en quelque manière, la résumait, à savoir que la vitesse de la lumière dans le vide est constante et indépendante du mouvement de la source de lumière, dont il faisait un deuxième principe général de la nature, que les phénomènes physiques devaient respecter. Les deux principes paraissaient à première vue contradictoires entre eux : en effet, suivant les lois admises jusqu'alors

¹⁶ $x^4 = c \sqrt{-1}$. L'invariant spatio-temporel s^2 s'écrit alors de manière symétrique pour les quatre coordonnées : $s^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2$.

¹⁷ Paty, M. [1998e], Les trois dimensions de l'espace et les quatre dimensions de l'espace-temps, in Flament, Dominique (éd.), *Dimension, dimensions I*, Série Documents de travail, Fondation Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 1998, p. 87-112.

¹⁸ Paty, M. [1993], *Einstein philosophe, op. cit.*, chap. 2 et 3.

¹⁹ Einstein, Albert [1905], Elektrodynamik bewegter Körper, *Annalen der Physik*, ser. 4, XVII, 1905, 891-921 ; trad. fr., Sur l'électrodynamique des corps en mouvement, in Einstein, Albert [1989-1993], *Œuvres choisies*, vol. 2 : *Relativités I*, Seuil, Paris, 1993, p. 31-59. Cet article fut suivi d'un autre de la même année sur l'équivalence masse-énergie : Einstein, Albert [1905], 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 son contenu en énergie ?, in Einstein, Albert [1989-1993], *Œuvres choisies*, vol. 2 : *Relativités I*, Seuil, Paris, 1993, p. 60-62.

du mouvement, celles de la mécanique, la vitesse de la lumière ne pouvait être la même dans deux repères en mouvement relatif, contrairement à l'exigence du principe de relativité (car cela signifierait que la théorie de Maxwell des ondes électromagnétiques n'est pas la même dans les deux systèmes en mouvement relatif).

Pour concilier ces deux principes physiques, il se rendit compte qu'il fallait modifier la loi classique (galiléenne) d'addition des vitesses, qui empêchait que la vitesse de la lumière puisse être la même dans deux systèmes de coordonnées en mouvement l'un par rapport à l'autre. Cela le conduisit à une re-définition physique des coordonnées d'espace et du temps considérés pour des repères respectivement en repos ou en mouvement : elles devaient être soumises aux deux principes physiques invoqués. La modification de la cinématique en résultait, et Einstein obtenait *par déduction des deux principes* les formules de transformations des coordonnées d'espace et du temps que nous connaissons comme les « formules de transformations de Lorentz », proposées en même temps et indépendamment, pour des raisons différentes comme nous l'avons vu, par Lorentz et Poincaré. La reformulation relativiste des équations de Maxwell-Lorentz, et donc des lois de l'électromagnétisme, en résultait.

Il faudrait entrer dans davantage de détails pour mieux comprendre la portée et la nature exacte de chacune des contributions fondamentales que nous n'avons fait ici que résumer. Je ne peux que renvoyer aux études plus détaillées déjà mentionnées (pour ce qui est de mes propres recherches), ainsi qu'aux autres descriptions, analyses et commentaires de ces travaux, même s'ils privilégient l'un ou l'autre point de vue, pourvu qu'ils soient menés par un souci de fidélité aux textes et aux faits²⁰. On ne saurait en dire autant de plusieurs publications récentes, qui semblent émaner d'un groupe, dictées par des *apriori* idéologiques inavouables²¹, où le parti pris de procès d'intention et de calomnie à l'égard de la mémoire d'Einstein s'illustre d'arguments d'une accablante médiocrité : ces torchons pamphlétaires se présentent tantôt sous le genre de la vulgarisation, mais elle est détournée et falsifiée, tantôt de l'histoire des sciences, mais elle tout simplement usurpée, tantôt même de la science, mais visiblement mal assimilée et dans une ignorance complète de ce que peut être l'esprit de la recherche. Les auteurs de ces mauvais libelles ont en commun, outre une « einsteinophobie » qui renvoie à d'autres temps, une arrogance dans leur prétention à récrire l'histoire et à asséner leur prétendue « vérité », en absolue opposition à l'intelligence, la modestie et la générosité, qui sont souvent le fait des véritables savants, et qui étaient assurément le propre, de manière éminente, des grands esprits dont nous parlons ici, Lorentz, Poincaré et Einstein.

On voit, au contraire, à lire et à analyser ces derniers, en considérant les

²⁰ Comme le sont ceux de Wolfgang Pauli, de Edmund Whittaker, de Gerald Holton, d'Arthur Miller, d'Abraham Pais, de John Stachel, d'Elie Zahar et de quelques autres. Je ne puis alourdir le présent article en donnant toutes les références, que l'on pourra retrouver en consultant mes articles et ouvrages mentionnés.

²¹ On peut fleurir dans ces pamphlets « dénonciateurs », tant par leur style que par leur contenu, nationalisme d'exclusion, français ou même ... serbe (dans ce cas associé à une féminisme de caricature, attribuant à la première épouse d'Einstein l'invention de la relativité restreinte...), antisémitisme, théories du complot... Aucune de ces publications, faites de citations tronquées et hors contexte, juxtaposées sans rigueur, et d'intentions supposées données pour preuves, ne répond aux exigences minimales de rigueur et d'objectivité d'une histoire des sciences même rudimentaire.

textes et les documents dans leur historicité et dans leur contenu de sens, comment chacune des contributions à la théorie de l'électrodynamique ou de la relativité, de Lorentz, de Poincaré et d'Einstein, est inventive et créatrice, suivant un chemin dicté par une exigence de compréhension rationnelle propre à chacun d'eux, et non pas une prétendue « voie qu'il aurait fallu suivre », car il n'y en a pas qui soit donnée à l'avance (ni dans ce cas, ni dans les autres). Au-delà de ce qui était donné en fait de connaissance, il n'y avait (et il n'y a jamais) que l'inconnu : il n'est pas de voie toute tracée ni de méthode assurée pour s'avancer sur de tels chemins, et c'est pourquoi l'on doit parler de création. Chacun d'eux ne pouvait suivre que ses propres exigences d'intelligibilité rationnelle, qui ne sont pas les mêmes d'un penseur à un autre, même chez les meilleurs connaisseurs du domaine, car elles sont tributaires de toutes sortes de facteurs, mais avant tout parce qu'il s'agit de représentation symbolique et conceptuelle, différente en nature de la réalité du monde elle-même.

On voit bien la différence et l'indépendance des manières de raisonner de Poincaré et d'Einstein dans leurs travaux pratiquement simultanés de 1905, qui aboutissent à deux théories dont les conséquences sont à peu près équivalentes (quant aux formules), mais dont la structure et la signification conceptuelle, du point de vue physique, sont différentes. En particulier, Poincaré ne détaille pas, dans sa théorie, l'implication, sur la définition du temps et de l'espace, de la nouvelle loi d'addition des vitesses qui résulte, chez lui, d'une hypothèse empirique (la contraction de Lorentz et les transformations qui la généralisent). Assurément, il aurait été en mesure de le faire, s'il en avait perçu l'importance, puisqu'il avait effectué, dans un travail indépendant, une analyse de la simultanéité et du temps en termes de correspondance de signaux. Le fait est qu'il n'a pas considéré cette critique conceptuelle dans son travail sur l'électrodynamique, précisément sans doute parce qu'il était porté avant tout par le souci de la dynamique. Alors que cette critique fut, pour Einstein, la solution nécessaire du problème posé : l'idée de régler la redéfinition physique de l'espace et du temps sur les deux principes choisis, et de percevoir que la dynamique devait être réglée d'abord par la cinématique, lui appartient en propre.

Quelque temps plus tard, tout en admettant les nouvelles propriétés spatio-temporelles requises par la « dynamique nouvelle » (électromagnétique), Poincaré exprimerait l'idée que l'on peut garder à côté d'elles une mécanique inchangée dans ses concepts et dans ses équations. Pour Einstein, au contraire, la mécanique et l'électromagnétisme classiques, en se réformant l'une par l'autre, obligent à une unification de leurs concepts. Cette modification brutale et forcée de conceptions bien acquises, et étayées sur une science d'une grande solidité comme la mécanique, pouvait d'ailleurs apparaître alors comme inutilement révolutionnaire.

La question de l'originalité et de la différence des approches d'Einstein et de Poincaré étant ainsi résolue, on peut considérer celle de leurs justifications : l'une des théories, dans le contexte scientifique donné, était-elle meilleure que l'autre, et, pour leurs auteurs respectifs, l'un avait-il plus raison que l'autre ? Il est d'emblée clair qu'aucune des deux théories n'était fautive, même au regard de l'autre. Toutes deux correspondaient à des voies d'approche théoriques possibles, tant rationnellement qu'en rapport aux données d'expériences. Une autre manière de se questionner serait de se demander si l'une des deux théories était plus « normale » que l'autre. Il faudrait cependant définir ce que l'on entend par

« normale », et situer la normalité par rapport à l'esprit créatif, dont les deux travaux examinés témoignent exemplairement : un tel exercice serait purement académique, et l'idée même de normalité apparaît bien relative...

Il serait dénué de sens de prétendre qu'Einstein aurait fait une erreur par rapport à Poincaré, par exemple, en n'attachant pas une valeur particulière à l'expérience de Michelson et Morley, et en n'y voyant qu'un indice de plus pour la relativité des mouvements en optique ; ou encore en se faisant une idée plus directe de l'adéquation des concepts physiques par rapport aux phénomènes et au monde réel. Il serait tout autant arbitraire de juger du travail de Poincaré à l'aune de celui d'Einstein, et de lui reprocher de n'avoir pas mis d'abord en avant les deux principes, et de ne les avoir formulés que comme une conséquence de l'invariance sous les formules de transformations de Lorentz, choisies empiriquement pour leur propriété remarquable par rapport aux termes des différents ordres du mouvement. Les positions de l'un et de l'autre relevaient de choix possibles, parfaitement légitimes.

Nul n'aurait pu dire, à l'époque, que la théorie de l'un était meilleure que celle de l'autre. Si l'électrodynamique s'était avérée être, comme bien des physiciens le pensaient alors, le fondement de la physique dans son ensemble, la théorie de Poincaré, qui était une électrodynamique relativiste, aurait peut-être été l'approche désormais privilégiée. Mais cela même cependant n'est pas sûr, car un Paul Langevin, proche de Poincaré et lui-même partisan d'une « vision électromagnétique du monde », trouva immédiatement que la théorie d'Einstein était plus directe et de portée plus générale, et s'en fit le propagandiste en France, tout en maintenant pendant quelques années sa pensée du « tout électromagnétique » et une référence à l'éther²². De fait, avant la théorie de la relativité générale, chacune des théories, celle de Poincaré et celle d'Einstein, avait ses partisans. Les mathématiciens goûtaient davantage la théorie de Poincaré, plus formalisée et plus synthétique en ce qui concerne les implications des groupes de transformation²³. Les physiciens, qui ignoraient d'ailleurs généralement la théorie de Poincaré, publiée dans une revue de mathématiques, étaient éventuellement plus sensibles à l'argumentation directement physique d'Einstein sur la généralisation en un principe du fait constaté de la relativité du mouvement en mécanique, en optique et en électromagnétisme, et à la cohérence de la réforme fondamentale de l'espace et du temps pour mettre ces concepts en harmonie avec le rejet des actions instantanées à distance et avec la pleine acceptation du concept de champ. (Quand du moins ils ne rejetaient pas cette réforme, longtemps jugée inutilement

²² Paty M. [2002], Poincaré, Langevin et Einstein, *Épistémologiques. Philosophie, sciences, histoire. Philosophy, science, history* (Paris, São Paulo) 2, n°1-2, janvier-juin 2002, 33-73 (in Bensaude-Vincent, B. ; Bustamante, M.-C. ; Freire, O. & Paty, M. (éds.), *Paul Langevin, son œuvre et sa pensée. Science et engagement*, numéro spécial).

²³ Voir Walter, S. [1996]. *Hermann Minkowski et la mathématisation de la théorie de la relativité, 1905-1915*, Thèse de doctorat en Epistémologie et Histoire des sciences, Université Paris 7-D. Diderot, 1996. Tel fut encore, bien des années plus tard, le choix d'un Edmund Whittaker qui, à contre-courant de la tendance générale de l'époque (en 1953), rapporte la théorie de la relativité restreinte comme étant due à Poincaré sans dire un mot de la contribution d'Einstein : Whittaker, E. T. [1953], *A History of the theories of aether and electricity, vol 2: The Modern theories, 1900-1926*, Nelson, London, 1953. Par contre, Whittaker attribue justement au seul Einstein la découverte de la théorie de la relativité générale.

révolutionnaire et iconoclaste, en particulier par des mécaniciens)²⁴.

Mais, à l'époque de la publication de ces travaux, l'on ne constate aucun consensus chez les scientifiques du domaine (physiciens ou mathématiciens), dont les attitudes à l'égard de ces résultats pouvaient être très variées. Le physicien H. A. Lorentz rejeta tout d'abord l'approche d'Einstein, malgré son estime de ce dernier, préférant la théorie de Poincaré, plus proche de ses vues²⁵. Le mathématicien Hermann Minkowski adopta la physique d'Einstein tout en la mariant au formalisme de Poincaré, établissant ainsi la théorie physico-mathématique de l'espace-temps²⁶.

Plus tard, un choix s'effectua entre les deux théories, privilégiant la voie qu'avait prise Einstein : ce fut à l'occasion du succès de la théorie de la relativité générale, suscité notamment par la constatation astronomique d'une courbure de l'espace au voisinage des grandes masses (au cours de l'éclipse solaire de 1919, grâce à l'observation d'un déplacement de la position dans le ciel des étoiles voisines du disque solaire, rapporté à une inflexion des trajets lumineux). Cette théorie prolongeait celle de la relativité restreinte en se situant, du point de vue de la physique, dans la même perspective principielle que celle-ci (à savoir que la théorie est fondée sur des principes physiques de portée universelle), et reformulait à nouveau l'espace et le temps en le liant aux masses matérielles sources des champs de gravitation. Elle joignait en outre à sa valeur quant à l'explication et à la prédiction des phénomènes de la nature, une perfection mathématique que Poincaré n'aurait certainement pas reniée, et qui fut d'ailleurs reconnue d'emblée par les mathématiciens, de David Hilbert à Elie Cartan.

Ce furent d'ailleurs les mathématiciens qui développèrent ensuite la théorie de la relativité générale que les physiciens délaissèrent longtemps, passé le premier engouement, pour ne disposer alors que de trois tests expérimentaux ou observationnels. Mais la théorie de la relativité restreinte, qui avait été adoptée dans la foulée de la théorie de la relativité générale, survécut à l'effacement provisoire de cette dernière, en devenant l'un des principaux outils de pensée des nouveaux domaines de la physique qui s'ouvraient. En adoptant la relativité restreinte, c'était aussi la direction des principes et des concepts considérée par Einstein qu'ils

²⁴ Voir Paty, M [1987]. The scientific reception of relativity in France, in Glick (ed.) [1987], *The Comparative reception of relativity*, Coll. « Boston Studies in the Philosophy and History of Sciences », Reidel, Dordrecht, 1987, p. 113-167.

²⁵ Lorentz, H. A. [1921], Deux mémoires de Henri Poincaré sur la physique mathématique, *Acta mathematica* 38, 1921, 293-308. Repris in Poincaré [1950-1965], *Œuvres, op. cit.*, vol. 9, p. 682-695.

²⁶ Minkowski, H. [1907], Das Relativitätsprinzip (exposé présenté à Göttingen le 5.11.1907, publication posthume, par les soins de Arnold Sommerfeld), *Annalen der Physik*, 47, 1915, 927-938. (Dans ce texte de publication posthume, Minkowski cite Poincaré, qu'il omet de mentionner dans les autres). Minkowski, H. [1908a], Die Grundgleichungen für die elektromagnetische Vorgänge in bewegten Körpern, *Nachrichten der Königlichen Gessellschaft der Wissenschaft und der Georg-August Universität zu Göttingen, Mathematisch-physikalische Klasse* 1908, 53-111. [Les équations fondamentales des phénomènes électromagnétiques dans les corps en mouvement]. Minkowski, H. [1908b], Raum und Zeit (exposé présenté à la 80^e assemblée des scientifiques et médecins allemands, Cologne le 21.9.1908), *Physikalische Zeitschrift* 10, 1909, 104-111. Trad. angl. : Space and time, in Einstein, A., Lorentz, H. A., Minkowski, H., Weyl, H. [1922], *Das relativitätsprinzip*, 4^{ème} éd., Teubner, Leipzig, 1922 ; trad. angl., *The principle of relativity*, transl. by W. Perrett and G.B. Jeffery, Methuen, London, 1923 ; re-ed., Dover, New York, 1952, p. 73- 91. (C'est le texte de Minkowski le plus connu).

adoptaient : elle dépassait d'emblée l'objectif spécifique de l'électrodynamique classique et s'imposait comme cadre dès que les concepts d'espace, de temps, de causalité spatio-temporelle et d'énergie étaient en jeu. Dans ce contexte, la contribution, pourtant historiquement fondamentale, de Poincaré fut largement oubliée, voire sous-évaluée. Comme nous l'avons indiqué, il reste cependant, dans la réception et la compréhension postérieure, jusqu'à nos jours, de la relativité restreinte einsteinienne, des éléments importants qui sont dus originellement à Poincaré (groupes de Lorentz et de Poincaré, le temps comme quatrième coordonnée, l'invariant ds^2 , ...). A cet égard, la dénomination usuelle de « transformations de Lorentz », due à Poincaré, a valeur d'indice.

La science jugée, ou sanctionnée, comme la qualifiait Gaston Bachelard, est souvent oublieuse des circonstances qui l'ont rendue possible, et c'est la tâche de l'histoire des sciences de nous faire revivre le parcours effectif par lequel ce que nous savons aujourd'hui est apparu un jour, et de nous faire réaliser en même temps qu'avant cela, ce savoir n'existait pas. Comment du nouveau absolu peut-il apparaître, c'est une question que nous n'aborderons pas ici. Nous nous contenterons de noter que ce surgissement s'est effectué par des processus de travail de pensée qui ont droit à proprement parler au qualificatif de créations. De ces créations combinées et réarrangées résulte ce que nous connaissons. Les travaux parallèles de Lorentz, de Poincaré et d'Einstein qui établirent le principe de relativité en physique (pour les mouvements d'inertie) illustrent à merveille la diversité des styles de pensée et de recherche dans la création scientifique, et aussi la manière complexe, diversifiée malgré les apparences²⁷, dont ils ont réellement contribué à la formation des connaissances présentes et de notre compréhension actuelle. C'est assez dire que nous ne quittons pas, avec nos questions sur le style et la création, le terrain du rationnel.

Pensée réflexive et philosophie de la création rationnelle.

Nous pouvons donc reprendre ici le thème philosophique que nous esquissions en commençant, de savoir si l'on peut parler de manière rationnelle de « création scientifique », et si le processus de cette création relève lui-même de la rationalité. La notion de « style scientifique »²⁸ nous fait comprendre qu'il n'y a pas une voie rationnelle unique pour découvrir ce qui était inconnu. Une connaissance nouvelle n'est pas inscrite d'avance, en puissance, et sous une seule forme possible, dans un ciel des idées, mais elle est le fruit d'un processus de création par la pensée. Si ce fruit est éminemment rationnel, il serait étonnant que les moyens de le mettre au jour fussent seulement irrationnels, comme de nombreux

²⁷ C'est ainsi que lorsqu'on parle aujourd'hui de « théorie d'Einstein de la relativité restreinte », on désigne une théorie qui intègre d'autres apports, contemporains et postérieurs aux articles d'Einstein sur le sujet. De même la mécanique dite newtonienne est constituée aussi de nombreux apports contemporains de Newton (Huygens, Leibniz) ou postérieurs à lui (notamment la formulation en termes de calcul différentiel et intégral).

²⁸ Sur la notion de style scientifique, je renvoie notamment à Gilles G. Granger, qui a abordé cette question sous une perspective philosophique : voir Granger, G [1968], *Essai d'une philosophie du style*, Armand Colin, Paris, 1968. D'autres auteurs l'ont abordé de façon simplement descriptive, du point de vue de l'histoire des sciences.

philosophes des sciences du XX^e siècle l'ont prétendu. Et, en vérité, il y a bien de la rationalité dans ce processus : elle passe par l'exigence des intelligibilités particulières, mais le résultat obtenu transcende nécessairement ces dernières, et se propose d'emblée comme objectif et universel. Communiqués aux autres pensées qui se portent également sur ce champ scientifique, les problèmes et résultats scientifiques, initialement formulés par des intelligences singulières, dépassent cette singularité de la formulation d'un seul pour se voir assimilés et, éventuellement, modifiés pour accéder à une compréhension plus universelle. Jean Cavailles a évoqué, dans ce sens, la nécessité d'une « philosophie du concept » pour résoudre la contradiction apparente entre l'invocation d'un sujet transcendantal, creuset du travail de la pensée, et celle de l'objectivité (rationnelle) des propositions, qui résulte de cette activité²⁹.

Comme nous allons le voir, Poincaré se situe dans cette perspective : il ne nous donne pas seulement à considérer son œuvre créatrice et à dérouler nous-mêmes le travail qui y a conduit ; il a proposé, de manière directe ou indirecte, une réflexion véritablement philosophique sur ce qu'est la pensée mathématique, physique, scientifique d'une manière générale, en la concevant aussi bien sous sa dimension de rationalité, que sous celle d'une pensée qui, voulant l'intelligibilité, est amenée à dépasser ce qui était donné, c'est-à-dire à inventer, à créer.

Poincaré a lui-même indiqué que son intérêt principal en philosophie portait sur les aspects créateurs de la pensée scientifique. Plus tard, Einstein déclarerait pour lui-même une option du même ordre et, de fait, il semble bien que ces deux savants et philosophes soient les deux principaux penseurs à ce jour de ce que l'on pourrait appeler la pensée scientifique créatrice conçue dans une perspective rationnelle³⁰. Einstein s'est situé expressément dans la lignée de Poincaré à cet égard, tout en orientant un peu différemment sa philosophie, que l'on peut qualifier de « réalisme critique », par différence avec le « conventionalisme » de Poincaré. Tous les deux fondent leurs considérations sur la « liberté logique », ou « libre choix logique » entre les faits et les propositions théoriques, qui exprime une constatation tirée de la critique de l'induction de David Hume (telle était aussi sur ce point, en un sens, la position d'Ernst Mach et celle de Pierre Duhem). Tous les deux, Poincaré et Einstein, tiennent ensemble l'idée de création scientifique et celle de sa liberté, la rationalité et l'intelligibilité, l'intuition et l'invention.

De telles thèses n'étaient pas évidentes alors (elles sont encore trop peu prises en considération aujourd'hui), en raison de la dominance du néo-positivisme et de l'empirisme logique, ou au contraire de perspectives antirationalistes, à l'époque d'Einstein ; et, quant à l'époque de Poincaré, en raison de la dominance

²⁹ Cavailles, J. [1947], *Sur la logique et la théorie de la science* (rédigé en 1942, 1^e éd., 1947), 3^e éd., Vrin, Paris, 1976. Voir Paty, M. [à paraître], Des fondements vers l'avant, *Philosophia scientiae* (Nancy ; éd. Kimé, Paris), sous presse ; Paty, M. [à paraître]. Nouveauté et émergence dans la quête des fondements, *Principia, Revista de Epistemologia* (Florianopolis, SC, Brésil), sous presse.

³⁰ D'autres philosophes, comme Henri Bergson ou William James notamment, se sont penchés sur la question de la création, artistique ou scientifique, par la pensée, mais dans une perspective empiriste ou pragmatique, ou psychologique, privilégiant une sensibilité non rationnelle. Bergson, H. [1934], *La pensée et le mouvant*, Alcan, Paris, 1934 ; in *Œuvres*, Edition du centenaire, éd. par André Robinet, Presses Universitaires de France, Paris, 1959, p. 1249-1482. James, W. [1907], *Pragmatism : a new name for old ways of thinking*, 1907 ; trad. fr. par E. Le Brun et M. Paris, Préface de Henri Bergson, *Le pragmatisme*, Flammarion, Paris, 1911.

du psychologisme et du pragmatisme, ou du spiritualisme, ou encore d'une conception étroite du déterminisme. En fait, une condition pour que l'idée de création concernant la connaissance scientifique puisse voir le jour était la prise de conscience, quant à cette connaissance, de sa nature de représentation symbolique, distincte de l'objet représenté. Cette distanciation entre la représentation conceptuelle et symbolique et son objet s'était fait jour au XIX^e siècle, avec les reconstructions des théories mathématiques, en arithmétique et en algèbre, avec, en géométrie, la découverte des géométries non euclidiennes, et avec la formalisation mathématique de plus en plus poussée de la physique et son élaboration de concepts plus abstraits, non directement lisibles dans les phénomènes de la nature (par exemple, la formulation hamiltonienne de la mécanique, l'élaboration de la thermodynamique avec les concepts d'état et d'entropie, plus tard le concept de champ délié du support de l'éther, etc.). Il apparaissait visiblement que les théories scientifiques résultent d'un travail d'élaboration et de construction, par la pensée, sur des objets de pensée (symboliques). Mentionnons également, sans y insister ici, qu'une prise de conscience analogue avait eu lieu en arts, culminant avec le mouvement symboliste, et que résume l'expression de Mallarmé pour désigner la peinture d'une rose dans un tableau en marquant son irrémédiable différence avec la rose réelle : « l'absente de tout bouquet ».

Ce caractère symbolique et construit de la connaissance indiquait aussi bien les limitations d'une « philosophie de la nature » pour laquelle la connaissance scientifique était conçue selon une continuité avec le monde.

Il faudrait ici reprendre en détail les éléments de la philosophie de la connaissance de Poincaré, pour faire voir leurs liens entre eux, et leur cohérence propre. Je ne puis ici qu'indiquer le seuil d'une telle étude. On peut marquer ce seuil, peut-être, en rappelant une phrase de Poincaré qui peut sembler à première vue anodine, mais qui apparaît à la réflexion grosse de signification quant à la conscience du caractère de représentation mentale, symbolique, de la connaissance par rapport à la réalité de la nature et de sa distinction d'avec elle.

Cette phrase est la suivante : « Le cerveau humain, qui est un très petit coin de l'Univers, ne saurait contenir cet Univers »³¹. Autement dit, la pensée est vouée, par son appartenance même à la nature et son insertion en elle (que nous rappellent d'ailleurs la théorie de l'évolution et de nos jours la cosmologie contemporaine), à se constituer pour son propre usage, et avec ses moyens propres, une représentation de la réalité du monde qui ne peut, par définition, coïncider avec ce monde, tout en se proposant d'en être une image fidèle (selon les capacités de l'entendement, les exigences de l'intelligibilité). La fidélité de cette image sera, en fait, celle des relations entre ses éléments vis-à-vis de celles que nous pouvons attribuer au monde selon une correspondance « analogique » (le terme analogie étant pris ici dans le sens de l'analogie structurelle, « mathématique », développé par ailleurs et repris à de nombreuses reprises par Poincaré)³². La pensée humaine est donc placée dans la situation de créer, c'est-à-dire de forger de toutes pièces, avec

³¹ Poincaré, H. [1908], *Science et méthode*, Flammarion, Paris, 1908 ; 1918 : éd 1918, chap. 2, p. 20.

³² Paty, M. [à paraître,c], Les analogies mathématiques au sens de Poincaré et leur fonction en physique, in Durand-Richard, Marie-José (éd.), *Le statut de l'analogie dans la démarche scientifique*, L'Harmattan, Paris, sous presse.

ses propres matériaux, mentaux et symboliques, avec ses catégories de pensée et ses concepts, sa représentation du monde, c'est-à-dire la connaissance qu'elle se donne de ce monde. Certes, elle le fera dans le monde, dont elle est partie prenante, mais aussi contre lui, puisqu'il lui faudra choisir, parmi les faits qui seront les garants de la correspondance et de l'adéquation, ceux qui sont significatifs, et ignorer ou laisser de côté les autres, qui ne procurent pas d'indication nouvelle, et qui sont multitude³³. La description est inverse de celle du cartographe trop méticuleux du conte de Jorge Luis Borges, que son souci d'exactitude amenait à dessiner sa carte en exacte coïncidence avec le modèle naturel...

Dans ce travail de création d'une représentation, le rôle le plus fondamental est celui de l'*intuition*, dans laquelle Poincaré reconnaît une vue synthétique globale et immédiate, qui précède tout travail d'analyse effectué ensuite pour assurer la certitude. Il s'agit d'une fonction de l'intellect, c'est-à-dire de l'entendement, qui opère dans la rationalité. Pour Poincaré parlant des mathématiques, l'intuition qui invente (qui a la fonction de l'invention, dans la pensée des mathématiciens intuitifs, mais aussi dans celle des analystes, qui mettent en premier l'aspect logique, car ils ont eux aussi leur forme d'intuition)³⁴, est une fonction proprement rationnelle ; autrement dit, elle est une *intuition rationnelle*, capable d'inventer rationnellement des formes rationnelles, correspondant d'une manière particulièrement adéquate aux formes du monde réel et qui constituent la connaissance scientifique. Cette considération est grosse d'implications sur la nature de l'invention scientifique et sur celle du rationnel qui rend cette invention possible, et c'est tout ce que je voulais en dire ici.

Sophia-Antipolis, 16 janvier 2005

Paris, 22 février 2005.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABRAHAM, H. et LANGEVIN, P (dirs.) [1905]. *Les quantités élémentaires d'électricité: ions, électrons, corpuscules*, Gauthier-Villars, Paris, 2 vols., 1905.

BERGSON, Henri [1934]. *La pensée et le mouvant*, Alcan, Paris, 1934 ; in *Oeuvres*. Edition du centenaire, éd. par André Robinet, Presses Universitaires de France, Paris, 1959, p. 1249-1482.

EINSTEIN, Albert [1905]. Elektrodynamik bewegter Körper, *Annalen der Physik*, ser. 4, XVII, 1905, 891-921 ; trad. fr., Sur l'électrodynamique des corps en

³³ Poincaré, H. [1908d], Le choix des faits, *The Monist*, 1909, 231-232. Publié dans Poincaré, H. [1908a], *Science et méthode, op. cit.*, livre 1, chap. 1, éd. 1918, p. 16-18.

³⁴ Poincaré, H. [1889], Du rôle de l'intuition et de la logique en mathématiques, in *Comptes rendus du Deuxième Congrès International des Mathématiciens*, Paris, 1889, p. 115-130 ; repris dans Poincaré [1913-1965], *Oeuvres, op. cit.*, vol. 11, p. 129-133. Publié également sous le titre : La logique et l'intuition dans la science mathématique et dans l'enseignement, *L'Enseignement mathématique* 1, 1889, 157-162. Repris avec modifications dans Poincaré [1905a], *La valeur de la science*, Flammarion, Paris, 1905 ; 1970, chapitre 1.

mouvement, in Einstein, Albert [1989-1993], *Œuvres choisies*, vol. 2 : *Relativités I*, Seuil, Paris, 1993, p. 31-59.

EINSTEIN, Albert [1905]. 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 son contenu en énergie ?, in Einstein, Albert [1989-1993], *Œuvres choisies*, vol. 2 : *Relativités I*, Seuil, Paris, 1993, p. 60-62.

EINSTEIN, A., LORENTZ, H. A., MINKOWSKI, H., WEYL, H. [1922]. *Das relativitätsprinzip*, 4 ème éd., Teubner, Leipzig, 1922 ; trad. angl., *The principle of relativity*, transl. by W. Perrett and G.B. Jeffery, Methuen, London, 1923 ; re-ed., Dover, New York, 1952.

GRANGER, Gilles G. [1968]. *Essai d'une philosophie du style*, Armand Colin, Paris, 1968.

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

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

LORENTZ, Hendryk A. [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.

LORENTZ, Hendryk A. [1904]. Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity smaller than that of light, *Verslagen Koninklijke Akademie van Wetenschappen* (Amsterdam). *Proceedings of the section of science* 6, 1904, 809-831. Egalement in Lorentz [1935-1939], *Collected papers*, Nijhoff, La Haye, 9 vols., 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 (dirs.) [1905], p. 477-495.

LORENTZ, Hendryk A. [1921]. Deux mémoires de Henri Poincaré sur la physique mathématique, *Acta mathematica* 38, 1921, 293-308. Repris in Poincaré [1950-1965], vol. 9, p. 682-695 (également, vol. 11, p. 247-261).

MASCART, Eleuthère [1872-1874]. Sur les modifications qu'éprouve la lumière par suite du mouvement de la source lumineuse et du mouvement de l'observateur, *Annales scientifiques de l'Ecole Normale Supérieure*, 2ème série : Première partie, 1, 1872, 157-214 ; Deuxième partie, 3, 1874, 363-420.

MAXWELL, James Clerk [1873]. *A treatise on electricity and magnetism* (1873); 3rd ed. (1891), 2 vols. Ré-éd., Dover, New York, 1954.

MINKOWSKI, Hermann [1907]. Das Relativitätsprinzip (exposé présenté à Göttingen le 5.11.1907, publication posthume, par les soins de Arnold Sommerfeld), *Annalen der Physik*, 47, 1915, 927-938.

MINKOWSKI, Hermann [1908a]. Die Grundgleichungen für die elektromagnetische Vorgänge in bewegten Körpern, *Nachrichten der Königlichen Gessellschaft der Wissenschaft und der Georg-August Universität zu Göttingen, Mathematisch-physikalische Klasse* 1908, 53-111.

MINKOWSKI, Hermann [1908b]. Raum und Zeit (exposé présenté à la 80 ème assemblée des scientifiques et médecins allemands, Cologne le 21.9.1908), *Physikalische Zeitschrift* 10, 1909, 104-111. Trad. angl. : Space and time, in Einstein, A., Lorentz, H. A., Minkowski, H., Weyl, H. [1922]. *Das relativitätsprinzip*, 4 ème éd., Teubner, Leipzig, 1922 ; trad. angl., *The principle of*

relativity, transl. by W. Perrett and G.B. Jeffery, Methuen, London, 1923 ; re-ed., Dover, New York, 1952, p. 73- 91.

PATY, Michel [1987]. The scientific reception of Relativity in France, in Glick, Thomas (ed.), *The Comparative reception of relativity*, Coll. "Boston Studies in the Philosophy and History of Sciences", Reidel, Dordrecht, 1987, p. 113-167.

PATY, Michel [1992]. Physical Geometry and Special Relativity : Einstein and Poincaré in Boi, Luciano ; Flament, Dominique et Salanski, Jean-Michel (eds.), *1830-1930 : A century of geometry. Epistemology, history and mathematics*, Springer-Verlag, Berlin, 1992, p. 126-149.

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

PATY, Michel [1996]. Poincaré et le principe de relativité, in Greffe, Jean-Louis; Heinzmann, Gerhard et Lorenz, Kuno (éds.), *Henri Poincaré. Science et philosophie. Science and philosophy. Wissenschaft und Philosophie. Congrès international, Nancy, France, 14-18 mai 1994*, Akademie Verlag, Berlin/Albert Blanchard, Paris, 1996, p. 101-143.

PATY, Michel [1999a]. La place des principes dans la physique mathématique au sens de Poincaré, in Sebestik, Jan et Soulez, Antonia (éds.), *Actes du Colloque France-Autriche Paris, mai 1995, Interférences et transformations dans la philosophie française et autrichienne (Mach, Poincaré, Duhem, Boltzmann)*, *Fundamenta philosophiae* (Nancy/éd. Kimé, Paris) 3 (2), 1998-1999, 61-74.

PATY, Michel [1999b]. Les trois stades du principe de relativité, *Revue des questions scientifiques*, 170 (n°2), 1999 (*Les relativités. Première partie*), 103-150. Republié dans : *Les Relativités*, numéro spécial de la *Revue des questions scientifiques*, 2000, 103-150.

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

PATY, Michel [2002]. Poincaré, Langevin et Einstein, *Épistémologiques. Philosophie, sciences, histoire. Philosophy, science, history* (Paris, São Paulo) 2, n°1-2, janvier-juin 2002, 33-73 (in Bensaude-Vincent, Bernadette ; Bustamante, Martha-Cecilia ; Freire, Olival & Paty, Michel (éds.), *Paul Langevin, son œuvre et sa pensée. Science et engagement*, numéro spécial).

Paty, Michel [2004j]. Nouveauté et émergence dans la quête des fondements, *Principia, Revista de Epistemologia* (Florianopolis, SC, Brésil), 2004, -.

PATY, Michel [à paraître, b]. L'analogie mathématique au sens de Poincaré et sa fonction en physique, in Durand-Richard, Marie-José (éd.), *Le statut de l'analogie dans la démarche scientifique*, L'Harmattan, Paris, à paraître.

PATY, Michel [à paraître, c]. Poincaré et la relativité des mouvements pour l'optique, *Revue d'histoire des sciences*, (n° spécial, *Lumière et mouvement. L'extension de la relativité du mouvement à l'optique*, sous la direction de Michel Paty, à paraître.

PATY, Michel [sous presse,j]. Des fondements vers l'avant. Sur la rationalité des mathématiques et des sciences formalisées, Contribution au *Colloque International «Aperçus philosophiques en logique et en mathématiques. Histoire et actualité des théories sémantiques et syntaxiques alternatives»*, Nancy, 30 sept.-4 oct. 2002, *Philosophia Scientiae* (Kimé, Nancy), sous presse.

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, 1993.

POINCARÉ, Henri [1889]. Du rôle de l'intuition et de la logique en mathématiques, in *Compte-rendus du Deuxième Congrès International des Mathématiciens*, Paris,

1989, p. 115-130. Repris dans Poincaré [1913-1965], *Œuvres*, vol. 11, p. 129-133. Publié également sous le titre : La logique et l'intuition dans la science mathématique et dans l'enseignement, *L'Enseignement mathématique* 1, 1889, 157-162. Repris avec modifications dans Poincaré [1905], chapitre 1.

POINCARÉ, Henri [1890a]. *Electricité et optique, I. Les théories de Maxwell et la théorie électromagnétique de la lumière. Leçons professées pendant le second semestre 1887-1888*, rédigées par Jules Blondin, Cours de physique mathématique, Carré, Paris, 1890. [Voir la ré-éd. revue et augm., Poincaré [1901]].

POINCARÉ, Henri [1901]. *Electricité et optique. La lumière et les théories électrodynamiques. Leçons professées à la Sorbonne en 1888, 1890 et 1899. Cours de physique mathématique*. Deuxième édition, revue et complétée par Jules Blondin et Eugène Néculea, Carré et Naud, Paris, Gauthier-Villars, Paris, 1901. [Voir la première édition: Poincaré [1890a, 1891a], comportant les cours de 1888 et 1890].

POINCARÉ, Henri [1902]. *La science et l'hypothèse*, Flammarion, Paris, 1902 ; 1968.

POINCARÉ, Henri [1905a]. *La valeur de la science*, Flammarion, Paris, 1905 ; 1970.

POINCARÉ, Henri [1905b]. Sur la dynamique de l'électron, *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences* 140, 1905, 1504-1508 ; également in Poincaré [1916-1965], *Oeuvres*, vol. 9, p. 489-493.

POINCARÉ, Henri [1905c]. Sur la dynamique de l'électron (adunanza del 23 luglio 1905 [reçu le 23 juillet 1905]), *Rendiconti del Circolo matematico di Palermo* XXI, 1906, p. 129-176. Egalement in Poincaré [1916-1965], *Oeuvres*, publiées sous les auspices de l'Académie des sciences, Gauthier-Villars, Paris, 11 vols., 1916-1965. vol. 9, p. 494-550.

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

POINCARÉ, Henri [1908b]. Comment on invente. Le travail de l'inconscient, *Le Matin* (Paris), 24 déc. 1908.

Poincaré, Henri [1908c], L'invention mathématique, *Bulletin de l'Institut Général de Psychologie*, 8^e année, 1908 (n° 3), 175-196. [Conférence à la Société de Psychologie de Paris] ; également, *L'enseignement mathématique* 10, 1908, 359-371 ; repris dans Poincaré [1908a], *Science et méthode*, Flammarion, Paris, 1908 ; 1918 : éd. 1918, p. 43-63.

POINCARÉ, Henri [1908d]. Le choix des faits, *The Monist*, 1909, 231-232. Publié dans Poincaré [1908a], livre 1, chap. 1, éd. 1918, p. 16-18.

POINCARÉ, Henri [1916-1965]. *Oeuvres*, publiées sous les auspices de l'Académie des sciences, Gauthier-Villars, Paris, 11 vols., 1916-1965.

POPPER, Karl [1935]. *Logik der Forschung. Zur Erkenntnistheorie der modernen Naturwissenschaft*, Springer Verlag, Wien, 1934. Ré-éd. avec additions, 1959 ; 1968. Trad. angl., *The logic of scientific discovery*, 1959 ; 1968. Trad. fr. par Nicole Thyssen-Rutten et Philippe Devaux, *La logique de la découverte scientifique*, Payot, Paris, 1973.

POPPER, Karl [1972]. *Objective knowledge, an evolutionary approach*, Clarendon Press, Oxford, 1972. Trad. fr. partielle par C. Bastyns, *La connaissance objective*, Complexe, Bruxelles, 1978.

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

WALTER, Scott [1996]. *Hermann Minkowski et la mathématisation de la théorie de la relativité, 1905-1915*, Thèse de doctorat en Epistémologie et Histoire des sciences, Université Paris 7-D. Diderot, 1996.

MICHEL PATY, né en 1938, Directeur de recherche émérite au Centre National de la Recherche Scientifique, est actuellement (2005) Professeur invité au Département de Philosophie de l'Université de São Paulo (Brésil). Possédant une double formation, scientifique (en physique) et philosophique, avec un doctorat dans chacune des deux disciplines, il a travaillé pendant une vingtaine d'années dans la recherche en physique fondamentale (au Centre de recherches nucléaires et Université de Strasbourg), et s'est ensuite consacré à plein temps à la philosophie et à l'histoire des sciences (en fondant une équipe de recherche du CNRS à l'Université Paris 7 Denis Diderot). Ses travaux de recherche portent notamment sur les rapports de la philosophie et des sciences dans les périodes classique (18^e siècle) et contemporaine, sur la mathématisation de la physique et sur les questions d'interprétation de la physique quantique, ainsi que sur la philosophie de la création scientifique et de la rationalité. Parmi ses ouvrages :

La matière dérobée, Ed. Archives contemporaines, Paris, 1988 ;

L'analyse critique des sciences, L'Harmattan, Paris, 1990 ;

Einstein philosophe, Presses Universitaires de France, Paris, 1993 ;

Einstein, ou la création scientifique du monde, Belles Lettres, Paris, 1997 ; 2^e tirage, 2004 ;

D'Alembert, ou la raison physico-mathématique au siècle des Lumières, Belles Lettres, Paris, 1997 ; 2^e tirage, 2004 ;

La physique du XX^e siècle, EDP-Sciences, Paris, 2003.