HISTOIRE DES MATHÉMATIQUES

Les recherches sur l'œuvre de Poincaré

Philippe NABONNAND[1]
(*Université de Nancy/ Archives Henri Poincaré*)

I. Etat des lieux (1990-1999)

IL EST BIEN CONNU que Poincaré fut à la fois mathématicien, physicien et philosophe ; les études sur les travaux de Poincaré relèvent donc pour la plupart de l'histoire et de la philosophie des mathématiques et de la physique. Si de nombreux théorèmes s'intitulent « de Poincaré » et si plusieurs mathématiciens (en particulier, Jean Dieudonné) ont toujours plaidé pour une meilleure reconnaissance de l'importance de l'œuvre de Poincaré, la présentation de Poincaré faite par les mathématiciens et les physiciens jusque dans les années 70, était celle d'un mathématicien/physicien du XIXe siècle dont les méthodes et les points de vue n'avaient pas grand chose à apporter au « scientifique moderne ». Les développements récents de la théorie du chaos et plus généralement, l'émergence d'un point de vue non-linéaire en analyse ont provoqué un regain d'intérêt pour Poincaré dans le milieu des mathématiciens. Si le mathématicien a donc été quelque peu momifié pendant une longue période, le philosophe a, quant à lui, toujours été présent dans les débats philosophiques (certes peu médiatisés au moins en France) autour des questions du conventionalisme (géométrique ou physique) ainsi que dans celles de philosophie de la logique et des mathématiques.

Ces dernières années, les études sur les travaux de Poincaré, leurs conditions de production théoriques et sociales et leur diffusion sont particulièrement nombreuses. La connaissance du personnage de Poincaré, de son œuvre multiforme et plus généralement de la période de la fin du XIXe siècle en ont été radicalement modifiées.

1. Théorie qualitative des équations différentielles, mécanique céleste et naissance des systèmes dynamiques

Le développement de la théorie qualitative des équations différentielles traverse toute l'œuvre de Poincaré. Gilain [1991], Mahwin [1994 & 1996], Israel-Menghini [1998], Chabert-Dahan [1996] étudient, dans le contexte de l'œuvre de Poincaré et dans celui plus général des mathématiques de la fin du XIXe, les liens de cette théorie avec la topologie (caractérisation des points singuliers et étude globale des courbes intégrales), avec la théorie des courbes algébriques,

[1] L'auteur remercie vivement Karine Chemla dont les remarques et les suggestions ont permis d'améliorer une première version de cette note.

avec la mécanique céleste et analysent la réception et l'influence des contributions de Poincaré. En particulier, Mawhin [1994 & 1996] examine très finement les influences des travaux de Poincaré relatifs à la stabilité d'un équilibre [Poincaré 1879, 1881-6, 1890] sur ceux de Lyapunov [1892, 1897] ainsi que la réception en France de leurs points de vue sur les équations différentielles non linéaires. La large place réservée à la présentation des résultats de cette théorie dans les manuels et les traités d'analyse de Picard [1891-6], de Painlevé, de Goursat [1910-5] et de Valiron [1942] ainsi que les références explicites dans les travaux de Hadamard [1892] et de Painlevé [1904] montrent l'influence en France des conceptions de Poincaré et Lyapunov tant à la fin du XIX[e] siècle que pendant la première moitié du XX[e] siècle. En revanche, durant la période dominée par les mathématiques de Bourbaki, les questions de théorie de la stabilité ou de solutions périodiques sont peu présentes dans les traités d'analyse français. Avec les mémoires sur la théorie qualitative des équations différentielles [1881], avec ses contributions en mécanique céleste (en particulier, les *Méthodes nouvelles de la mécanique céleste* [1892-9]) et l'utilisation de résultats de probabilités en mécanique [1890], Poincaré doit être incontestablement considéré comme un des fondateurs de la théorie des systèmes dynamiques. Amy Dahan [1994] souligne que pourtant, la réception de ses travaux fut lente et que ses héritiers furent rares (Lyapunov et Andronov en Russie, G. D. Birkhoff aux Etats-Unis). Dahan étudie la quasi-disparition (sauf en URSS) de ce domaine, sa renaissance au lendemain de la seconde guerre mondiale (Lefschetz, Smale) et la « redécouverte » simultanée des travaux de Poincaré.

Dès 1881, Poincaré concevait l'étude des propriétés qualitatives des solutions des équations différentielles en relation avec les questions de mécanique céleste, en particulier avec l'étude du problème des trois corps. Il est bien connu qu'un résultat important en mécanique céleste de Poincaré [1890] est d'établir la divergence des séries utilisées par les astronomes (séries de Delaunay, Lindstedt, Gyldén). La théorie qualitative des équations permet d'espérer néanmoins de pouvoir décrire certaines propriétés des solutions au voisinage des solutions périodiques. Une des principales contributions de Poincaré à l'étude du problème des trois corps est son célèbre mémoire primé au concours du roi de Suède ; l'histoire de ce concours a été étudiée par Anderson [1994] et Barrow-Green [1994, 1997]. Dans son remarquable ouvrage, *Poincaré and the Three Body Problem* [1997], June Barrow-Green analyse avec précision les contributions de Poincaré à l'étude du problème des trois corps ainsi que les liens de celles-ci avec les travaux de Lyapunov, Hadamard et Birkhoff. Les différences entre le mémoire soumis (conservé à l'Institut Mittag-Leffler) et celui publié sont significatives. Dans le mémoire soumis, Poincaré pensait avoir montré à l'aide de la notion de surfaces asymptotiques (c'est-à-dire de variétés stables ou instables) un théorème de stabilité pour le problème restreint des trois corps. C'est ce mémoire qui fut récompensé en janvier 1889. Malheureusement, en décembre 1889, Poincaré s'aperçoit que le résultat selon lequel les surfaces asymptotiques sont fermées est faux. Son résultat de stabilité s'effondre puisqu'il était fondé sur le fait que toutes les solutions du problème restreint des trois corps étaient confinées à l'intérieur de ces surfaces. Néanmoins, il reste dans le mémoire suffisamment de résultats nouveaux (existence de solutions périodiques et asymptotiques, la théorie des exposants caractéristiques, la divergence des séries utilisées par les astronomes et en particulier, le théorème de récurrence de Poincaré) pour justifier la récompense.

> *« Ce n'est pas que je doute que votre mémoire sera dans tous les cas regardé comme un ouvrage de génie par la pluralité des géomètres et qu'il sera le point de départ de tous les efforts qu'on fera dorénavant dans la géométrie céleste. Ne croyez pas donc que je regrette le prix qui a été bien dignement placé ».* [Lettre de Mittag-Leffler à Poincaré, 4 décembre 1899]

Poincaré rédige en quinze jours une nouvelle version de son mémoire dans laquelle il réorganise tous les résultats qui subsistent. De plus, cette erreur est à la source de la découverte des solutions homoclines dont Poincaré décrit le comportement dans le troisième tome de ses *Méthodes nouvelles de la mécanique céleste* [1899].

> *« Que l'on cherche à se représenter la figure formée par ces deux courbes et leurs intersections en nombre infini dont chacune correspond à une solution asymptotique, ces intersections forment une sorte de treillis, de tissu, de réseau à mailles infiniment serrées ; chacune des deux courbes ne doit jamais se recouper elle-même, mais elle doit se replier sur elle-même d'une manière très complexe pour venir recouper une infinité de fois toutes les mailles du réseau. On sera frappé de la complexité de cette figure, que je ne cherche même pas à tracer. Rien n'est plus propre à nous donner une idée de la complication du problème des trois corps et en général de tous les problèmes de Dynamique où il n'y a pas d'intégrale uniforme et où les séries de Bohlin sont divergentes ».* [Poincaré 1892-9, 3, 389]

Ce texte est classiquement considéré comme la première description d'un comportement chaotique.

Dans son article *Poincaré in the Archives — two Examples* [1997], Jeremy Gray conclut ainsi la narration et l'analyse de l'erreur de Poincaré.

> *« It is oddly comforting to see even a great mathematician go into print with a mistake, a mistake moreover that has been past the best trained eyes of the mathematical profession. And it is even more satisfying to see such wonderful mathematics reward the person who made the mistake simply when he realises it and tries to put it right ».* [Gray 1997, 37]

Au-delà de la boutade, il semble bien que Gray propose un programme de travail sur la notion d'erreur en mathématiques et son rôle dans le processus créatif du mathématicien.

2. Topologie et fonctions fuchsiennes

Les récentes contributions à l'étude des travaux de Poincaré en topologie s'inscrivent dans cette problématique : comprendre comment et pourquoi un mathématicien formule, résout ou abandonne un problème. Ainsi, Klaus Volkert [1997] pose la question : *Wie und warum wurde Poincaré zum Topologen ?* Selon Volkert, il faut voir l'origine des interrogations topologiques de Poincaré dans ses premiers travaux sur la théorie qualitative des équations différentielles, dans ceux sur les fonctions fuchsiennes et dans certains résultats sur la théorie des intégrales doubles et des fonctions à deux variables. La formule d'Euler, la notion de genre et la nécessité de travailler en dimension supérieure à 3 amènent

Poincaré à s'intéresser aux questions de topologie. De l'aveu de Poincaré, la nécessité de remplacer l'outil géométrique pour généraliser à des ordres supérieurs ses résultats obtenus pour les équations différentielles du second ordre est la motivation technique essentielle de son intérêt pour la topologie.

> *« Pour étendre les résultats précédents aux équations d'ordre supérieur au second, il faut renoncer à la représentation géométrique qui nous a été si commode, à moins d'employer le langage de l'hypergéométrie à n dimensions ... Pour aller plus loin, il me fallait créer un instrument destiné à remplacer l'instrument géométrique qui me faisait défaut quand je voulais pénétrer dans l'espace à plus de trois dimensions. C'est la principale raison qui m'a engagé à aborder l'étude de l'Analysis Situs ».* [Poincaré 1901, 64]

En même temps qu'il élabore sa théorie qualitative des équations différentielles dans les années 1880, le jeune Poincaré développe la théorie des fonctions fuchsiennes avec l'objectif explicite d'intégrer les fonctions linéaires à coefficients algébriques. Cette théorie l'amène à étudier les sous-groupes discrets de $PSL(2, \mathbf{R})$, qu'il appelle groupes fuchsiens et leur domaine fondamental dans le plan hyperbolique. Il définit les fonctions fuchsiennes comme invariantes par un groupe fuchsien et montre qu'entre deux fonctions fuchsiennes correspondant à un même groupe fuchsien, il existe une relation algébrique et que toutes les fonctions fuchsiennes admettant le même groupe fuchsien s'expriment rationnellement en fonction de deux d'entre elles. La généralisation de ces résultats aux sous-groupes discrets de $PSL(2, \mathbf{C})$, que Poincaré appelle groupes kleiniens, nécessite l'étude des polyèdres de l'espace hyperbolique ce qui conduit naturellement à la question de la classification des variétés fermées à trois dimensions.

> *« Si on pouvait classer les variétés fermées de dimension 3, on pourrait espérer des conclusions sur les fonctions kleiniennes. Le problème de classification des variétés fermées de dimension 3, auquel Poincaré apportera plus tard autant d'attention, trouve ici une de ses sources ».* [Volkert 1997, 84]

Stillwell [1994] insiste lui aussi sur l'importance de la théorie des fonctions fuchsiennes pour la genèse de certaines idées topologiques de Poincaré. En particulier, Stillwell montre comment Poincaré se rend compte dans *le cinquième complément à l'analysis situs* [1904] que ses idées en géométrie hyperbolique peuvent être utilisées en topologie. Dans cet article, Poincaré montre que toute courbe fermée non contractile d'une surface de genre strictement supérieure à 1 peut se relever en une courbe périodique du plan hyperbolique qui peut être déformée en une géodésique. Il en déduit que toute classe d'homotopie libre d'une telle surface est représentable par une géodésique. En particulier, la structure des « extrémités à l'infini » des lignes hyperboliques représentant ces classes donnent des renseignements sur le groupe fondamental. Selon Stillwell, Poincaré ne peut développer ses méthodes en topologie que grâce à la connaissance des pavages hyperboliques, acquise lors de ses études sur les groupes fuchsiens. De plus, il insiste sur la démarche de Poincaré qui loin d'œuvrer à une émancipation de la topologie par rapport à la géométrie, utilise au contraire la géométrie pour fonder les techniques de la topologie.

La publication par J. Gray et S. Walter [1997] des *Trois suppléments* (inédits jusqu'à présent) permet de préciser l'histoire de la découverte des fonctions fuchsiennes par Poincaré. Ces trois textes furent rédigés en complément de son mémoire [1880] soumis à l'Académie des sciences pour le concours du Prix des sciences mathématiques. Ils précèdent les notes et articles publiés sur cette question en 1881 et permettent de suivre en détail la progression de Poincaré à partir de ses réflexions sur les travaux de Fuchs sur les équations différentielles linéaires jusqu'à l'aboutissement de sa théorie des fonctions fuchsiennes.

3. Théorie de la relativité

Le nom de Poincaré apparaît tout aussi incontournable lorsque l'on étudie l'histoire de la théorie de la relativité restreinte. Longtemps, l'analyse des travaux de Poincaré en électrodynamique a été parasitée par la question de la priorité supposée de Poincaré sur Einstein concernant la découverte de la relativité restreinte. Cette polémique initiée en particulier par Whittaker [1953] est fondée sur la simultanéité de publication (1905) de l'article de Poincaré sur *La dynamique de l'électron* et de celui de Einstein sur *L'électrodynamique des corps en mouvement*. L'ignorance du contexte et la lecture exclusivement récurrente des travaux de Einstein, Lorentz et Poincaré ont pu pendant longtemps légitimer cette polémique. Les progrès de l'historiographie des sciences et une meilleure connaissance de la physique à la fin du XIX^e^ permettent non pas de régler cette question mais de montrer qu'elle n'a aucun fondement. Einstein et Poincaré ne cherchaient pas la même chose et c'est le point de vue d'Einstein qui a été retenu car « seule la théorie de la Relativité au sens d'Einstein conduit naturellement à la relativité généralisée » [Paty 1996, 114].

Par conséquent, nous ne nous intéresserons pas à cette polémique devenue douteuse tant d'un point de vue historiographique que d'un point de vue plus général. Ceux qui abordent encore ces questions ne comprennent rien à l'histoire des sciences. Quant aux motivations de certains, faut il laisser la conclusion à Einstein ?

> *« By an application of the theory of relativity to the taste of readers, today in Germany I am called a German man of science and in England I am represented as a Swiss Jew. If I come to be regarded as a bête noire the description will be reversed, and I shall become a Swiss Jew for the Germans and a German man of science for the English ».* [Einstein 1919]

Notre compréhension de la Relativité restreinte s'inscrit dans le cadre développé ultérieurement par Einstein. Elle est donc obligatoirement marquée par l'irruption de la théorie de la Relativité générale. En conséquence, la compréhension historique des travaux de Poincaré sur l'électrodynamique et sur le principe de relativité nécessite une réévaluation complète des raisonnements par lesquels passe l'élaboration de sa pensée sur ces questions. Il faut à la fois reconstituer le contexte des questions qui se posaient en 1905 aux physiciens, entrer dans la théorie de Lorentz, analyser la manière dont Poincaré se saisit de ce contexte pour tenter de reformuler l'électrodynamique et enfin comprendre comment son épistémologie et sa conception conventionaliste des principes interviennent dans l'élaboration de ses théories. Selon Arthur Miller [1994], Poincaré ne créa pas une théorie du mouvement basée sur la relativité du temps et de la simultanéité mais voulait au contraire fonder une théorie pour laquelle « tout, dans l'univers, serait d'origine électromagnétique ». Miller insiste sur la cohérence de la démarche de Poincaré avec sa philosophie de la géométrie et de la science fondée sur la notion de perceptions sensibles. Michel Paty [1993, 1994] cherche à comprendre les circonstances et les raisonnements qui amènent Poincaré à affirmer l'importance du « principe de relativité de M. Lorentz » et à essayer d'en tirer les conséquences. Paty montre que si Poincaré énonce en 1905 le principe de relativité pour l'électrodynamique, il s'intéressait depuis longtemps à la relativité des mouvements. La lecture des travaux de Poincaré sur la mécanique [1900], l'optique [1887, 1891] et la théorie électrodynamique [1895, 1899] permet de reconstituer la manière dont Poincaré se persuade peu à peu de la nécessité de réformer l'électrodynamique. Paty pose alors la question du statut du principe de relativité chez Poincaré, entre « fait expérimental [...] susceptible d'une incessante révision » [Poincaré 1912, 51] et « convention qui nous est suggérée par l'expérience, mais que nous adoptons librement » [Ibid., 52]. De plus, selon Paty, chez Poincaré, les questions de dynamique sont essentielles. Il se pose alors le problème de savoir si son principe de relativité est restreint aux seuls mouvements d'inertie. En effet, pour Poincaré, le groupe des transformations de Lorentz est seulement un exemple de relativité dynamique.

> *« [...] au lieu de la déformation de Lorentz-Fitzgerald dont les lois sont particulièrement simples, on pourrait imaginer une déformation tout à fait quelconque. Les corps pourraient se déformer d'après des lois quelconques, aussi compliquées que nous voudrions, nous ne nous en apercevrions pas pourvu que tous les corps sans exception se déforment suivant les mêmes lois. En disant : tous les corps sans exception, j'y comprends, bien entendu, notre corps lui-même et les rayons lumineux émanés des divers objets ».* [Poincaré 1907, 86-87]

Scott Walter étudie dans sa thèse et dans plusieurs articles [1996, 1997] l'influence du conventionalisme géométrique de Poincaré sur la réception de la relativité minkowskienne. Il étudie en particulier comment les théories d'Einstein et de Minkowski s'inscrivent dans le débat entre les tenants du conventionalisme géométrique et ceux qui soutenaient l'idée d'un fondement physique de la géométrie. Dans ses travaux sur l'histoire de la théorie de la relativité, Scott Walter fait apparaître que contrairement aux idées reçues, Poincaré n'était pas suivi par ses principaux collègues géomètres (Hadamard, Picard, Enriques, Fano, Severi, Liebmann, Study) lorsqu'il affirmait le caractère conventionnel du choix d'une géométrie pour l'espace physique. Ainsi, en 1905, alors qu'il aborde le problème de la gravitation dans ses articles sur la dynamique de l'électron [1905a, 1905b] en utilisant des entités quadridimensionnelles invariantes par le groupe de Lorentz, il considère comme inutile l'élaboration d'un formalisme général quadridimensionnel pour la physique.

> *« Il semble bien en effet qu'il serait possible de traduire notre physique dans le langage de la géométrie à quatre dimensions ; tenter cette traduction ce serait se donner beaucoup de mal pour peu de profit [...] ».* [Poincaré 1907, 99]

Il laissera la réalisation de ce formalisme à un jeune mathématicien de Göttingen, Hermann Minkowski. Y. Pierseaux étudie aussi, dans son ouvrage sur

« la structure fine » de la théorie de la relativité [1999], les formalismes des théories de la relativité restreinte de Poincaré et Einstein. Le point de départ de sa recherche est historique mais le projet est de démontrer qu'il y a deux théories de la relativité très proches et néanmoins distinctes, l'une (celle de Poincaré) reposant sur une représentation classique purement ondulatoire de la lumière, l'autre (celle de Einstein) supposant une conception quantique de la lumière.

Dans son article, *Henri Poincaré's Criticism of Fin de Siècle Electrodynamics* [1995], Olivier Darrigol s'intéresse aux continuités et ruptures de l'approche de l'électrodynamique par Poincaré entre ses premiers cours sur la théorie de Maxwell (1888) et ses conférences sur *La mécanique nouvelle* (1909-1910). Il interroge les origines et la cohérence de la position de Poincaré devant la crise de la physique mathématique à la fin du XIXe siècle. Il montre que Poincaré est assez isolé lorsqu'il diagnostique cette crise qui met en cause les principes de réaction et de relativité ainsi que la notion d'éther. Selon Poincaré, la compatibilité des théories physiques avec des principes généraux est primordiale. Pour Darrigol, cette épistémologie conduit Poincaré à concevoir dès 1900, le temps local de Lorentz comme celui mesuré par des observateurs se déplaçant avec le système, si ceux-ci ont synchronisé leur horloge avec des signaux lumineux et ignorent leur mouvement. Poincaré généralise ces résultats dans ses cours à la Sorbonne de 1906-1907 :

> *« [...] Poincaré generalized this result, and introduced the Lorentz transformation as the transformation giving the apparent space and time relations for moving observers. He also showed that the relativistic dynamics of the electron resulted from the requirement of Lorenz invariance, without any assumptions regarding the structure of the electron. These achievements depended on Poincaré's faith in the validity and regulative power of the relativity principle ».* [Darrigol 1995, 2]

4. Conventionalisme et philosophie des mathématiques

On ne peut pas appréhender historiquement les travaux scientifiques de Poincaré sans tenir compte dans cette approche des fondements de son épistémologie. Poincaré défendait une philosophie conventionaliste de la science[2], c'est-à-dire une position médiane entre l'empirisme et le rationalisme kantien. Toute sa vie, il intervient dans les débats sur la philosophie de la science ; ses articles philosophiques, d'abord publiés pour la plupart dans la *Revue de métaphysique et de morale*, sont rassemblés dans 4 ouvrages : *La science et l'hypothèse* [1902],

[2] Selon Poincaré, « Une géométrie ne peut pas être plus vraie qu'une autre ; elle peut seulement être *plus commode* » [Poincaré, 1902, 76]. D'autre part, « ce qui est l'objet de la géométrie, c'est l'étude d'un « groupe » particulier ; mais le concept général de groupe préexiste dans notre esprit au moins en puissance » [Ibid. 93]. L'expérience nous guide dans le choix d'un groupe particulier ; elle nous donne l'occasion d'exercer notre capacité à générer des groupes. « Seulement, parmi tous les groupes possibles, il faut choisir celui qui sera pour ainsi dire l'*étalon* auquel nous rapporterons les phénomènes naturels. L'expérience nous guide dans ce choix qu'elle ne nous impose pas ; elle nous fait reconnaître non quelle est la géométrie la plus vraie, mais quelle est la plus commode » [Ibid. 93-94]. Pour ces raisons, un certain nombre de philosophes (comme Jules Vuillemin ou Gerhard Heinzmann) nomment la philosophie de Poincaré un « occasionalisme ». D'autres utilisent aussi le terme de « commodisme »

La valeur de la science [1905c], *Science et méthode* [1908] et *Dernières pensées* [1913].

Son conventionalisme se divise en un conventionalisme géométrique et un conventionalisme physique, le premier conditionnant le second. Il est bien connu que le conventionalisme géométrique de Poincaré affirme la nature conventionnelle des jugements géométriques sur l'espace et trouve son fondement dans une psychogenèse directement liée à la théorie des groupes. « Conventionalisme » chez Poincaré ne signifie absolument pas « arbitraire » :

> *« [...] les lois en question [de la géométrie] ne nous sont pas imposées par la nature, mais sont imposées par nous à la nature. Mais si nous les imposons à la nature, c'est parce qu'elle nous permet de le faire. Si elle offrait trop de résistance, nous chercherions dans notre arsenal une autre forme qui serait pour elle plus acceptable ».* [Poincaré, 1898, 20]

Gerhard Heinzmann [1993] étudie les liens historiques et théoriques que les conceptions philosophiques de Poincaré entretient avec l'épistémologie de Helmholtz ; en particulier, Poincaré reprend l'idée d'une genèse de la géométrie à partir des mouvements des solides. Si Helmholtz fondait par là un empirisme certes modéré, Poincaré au contraire, en utilisant le concept général de groupe de transformations comme une forme intellectuelle de l'intuition, défend une conception de la géométrie qui n'est ni empiriste, ni rationaliste.

Une lecture rapide des textes philosophiques de Poincaré pourrait laisser penser que si Poincaré soutient des thèses résolument conventionalistes pour la géométrie, il n'en est pas de même pour l'arithmétique. En effet, la certitude de l'induction complète provient[3], selon Poincaré, du fait qu'elle est l'affirmation de l'intuition directe de la puissance de l'esprit de « concevoir la répétition indéfinie d'un même acte dès que cet acte est une fois possible » [1902, 41]. Concernant l'arithmétique, Poincaré semble donc ici défendre une position rationaliste. Dans son livre *Zwischen Objektkonstruktion und Strukturanalyse* (1995), Heinzmann soutient qu'il n'en est rien et que Poincaré défend les mêmes conceptions pour la géométrie et l'arithmétique. De fait, l'induction complète n'est que l'exemple le plus simple de principes « qui s'imposent [...] nécessairement, parce qu'[ils ne sont] que l'affirmation d'une propriété de l'esprit lui-même » [Poincaré 1902, 42]. D'autres exemples de tels principes sont donnés par la conscience de notre faculté de construire un continu de chaque dimension, appelée intuition topologique ou de concevoir des groupes, appelée intuition algébrique. Les trois concepts de répétition indéfinie, de continu et de groupe préexistent, selon Poincaré, dans notre esprit mais la conscience de ce fait ne peut être qu'occasionnée par l'expérience.

La question du statut de l'induction complète est au centre du débat entre Poincaré et les logicistes. En effet, montrer que le principe de récurrence n'est pas réductible à la logique ne peut que ruiner les espoirs des logicistes qui espéraient fonder les mathématiques sur la seule logique du premier ordre. Ce débat est étudié et analysé entre autres par Heinzmann (1985, 1994, 1995), Goldfarb (1988), Chihara (1996), Korhonen (1996) et Folina (1993, 1996). La thèse de Folina à cet égard est intéressante et replace les contributions de

[3] Le principe de récurrence est souvent appelé par les logiciens et les philosophes « principe de l'induction complète ».

Poincaré en philosophie dans le cadre plus général d'une tentative de défense de la philosophie des mathématiques de Kant. Elle soutient que Poincaré ne se contente pas de montrer que le logicisme échoue mais montre que même si les logicistes réussissaient à réduire l'arithmétique à la logique, « cela ne montrerait pas que les mathématiques ne requièrent pas l'intuition. Car la logique requise par une telle réduction nécessite elle-même l'intuition mathématique ».

La comparaison entre les thèses de Poincaré sur les fondements des mathématiques et celles de Hilbert sont un sujet classique puisqu'en général on , que le débat Poincaré-Hilbert anticipe la controverse entre les intuitionistes et les formalistes. Dans son article *Le rôle de Poincaré dans la genèse de la métamathématique de Hilbert* [1996], Hourya Sinaceur soutient que le développement par Hilbert de la métamathématique est une tentative de répondre aux arguments de Poincaré contre la possibilité de prouver la non contradiction des axiomes de l'arithmétique. En admettant une intuition des nombres entiers comme saisie immédiate et concrète de symboles primitifs, Hilbert fait « une énorme concession à Poincaré : la théorie mathématique des nombres entiers est construite sur des objets intuitifs et non sur des axiomes exclusivement ».

5. Biographie de Poincaré

Pierre Eymard [1996] propose une comparaison des styles de rédaction mathématique de Hilbert et de Poincaré. Il en souligne l'opposition radicale. L'un, celui de Hilbert, qualifié d'analytique, privilégie la déduction et la logique abstraite sur l'intuition et l'illustration concrète. L'autre conception, celle de Poincaré, qualifiée d'intuitive, au contraire est plus soucieuse « de donner des motivations heuristiques » et favorise la compréhension par rapport à l'exposition rigoureuse. Eymard montre que le modèle hilbertien a été adopté par la quasi totalité des mathématiciens contemporains. Les avantages de ce type de rédaction sont nombreux : rigueur, économie, généralité, ... ; toutefois, Eymard en souligne aussi les inconvénients :

> *« Mais il y a quelques inconvénients. Le déroulement progressif de la recherche n'apparaît pas ; l'ordre naturel d'émergence des idées n'est pas indiqué ; rien ne subsiste des versions préliminaires, des cas particuliers préalablement examinés, souvent les plus significatifs. La problématique est masquée ; l'intérêt de la lecture est peu soutenu ; la perspective disparaît sous les détails ».* [Eymard 1996, 21-22]

Eymard voit dans l'algébrisation progressive des théories la raison profonde de la tendance à l'axiomatisation et de l'adoption par la communauté mathématique du style de rédaction prôné par Hilbert.

L'étude de l'œuvre scientifique et philosophique de Poincaré passe aussi par une meilleure connaissance du personnage, de ses liens avec les communautés de scientifiques et de philosophes de son époque. La thèse de Laurent Rollet [1999], *Henri Poincaré, des mathématiques à la philosophie* est à cet égard une contribution fondamentale. Rollet étudie en particulier les influences philosophiques subies par Poincaré et le statut de ses propres interventions entre philosophie et vulgarisation. Il montre l'importance pour la formation de la pensée de Poincaré des philosophes regroupés autour de ce qu'il est convenu d'appeler le cercle de Boutroux[4] et replace les thèses conventionalistes de Poincaré dans le contexte des débats qui agitaient la communauté des philosophes. Rollet s'attache aussi à analyser les stratégies éditoriales de Poincaré et ses engagements « politiques ». En particulier, Poincaré interviendra à deux reprises lors de l'affaire Dreyfus. La première fois, à l'occasion de la révision du procès en 1899, Poincaré envoie une lettre au conseil de guerre de Rennes dans laquelle il critique férocement les méthodes pseudo-scientifiques utilisées pour analyser le bordereau (la pièce centrale de l'accusation). La conclusion de sa lettre est sans appel :

> *« Rien [l'argumentation de Bertillon] de tout cela n'a de caractère scientifique [...]. Je ne sais si l'accusé sera condamné, mais s'il l'est ce sera sur d'autres preuves. Il est impossible qu'une pareille argumentation fasse quelques impressions sur des hommes sans parti pris et qui ont reçu une éducation scientifique solide ».* [Lettre adressée à P. Painlevé le 4 septembre 1899 et lue au procès]

Les juges militaires de Rennes étaient sûrement des hommes de parti pris ou avaient reçu une éducation scientifique peu solide, puisque Dreyfus fut de nouveau condamné sans nouvelle preuve. Poincaré, avec Paul Appell et Gaston Darboux, fut aussi membre de la commission chargée de procéder à une étude scientifique du bordereau lors de la préparation du second procès en révision (1904). Le rapport des trois experts contribua grandement à invalider les arguments de l'accusation. Rollet [1999] montre que Poincaré intervient assez tard, à un moment où la thèse de l'innocence de Dreyfus est difficilement contestable et seulement en réponse à une sollicitation de Painlevé. D'autre part, il se cantonne à un rôle d'expert et observe sur le fond une attitude neutraliste. L'utilisation fallacieuse du calcul des probabilités par Bertillon dans son argumentation semble être le point qui a le plus scandalisé Poincaré.

Ce rapide résumé de quelques recherches autour de l'œuvre de Poincaré et la bibliographie montrent que l'étude de ses travaux en mathématiques, physique et philosophie est un champ très actif pour l'histoire et la philosophie des mathématiques. La meilleure connaissance de son œuvre et des rapports entre ses discours scientifique et philosophique, l'édition critique de sa correspondance, les nombreux travaux sur son style, son « réseau » et la réception de son discours laissent penser que les temps sont mûrs pour combler un manque flagrant : l'absence de biographie intellectuelle de Poincaré.

Références

Einstein, A.

[1905] Elektrodynamik bewegter Körper, *Annalen der Physik*, (4) 17 (1905), 891-921.

[1919] Article publié dans le *Times* de Londres, (28 novembre 1919) ; cité par Clark, R. W., *Einstein : The Life and the Times*, New York/Cleveland : World Publishing, 1971, 239.

Goursat, E.

[1910-5] *Cours d'analyse mathématique*, 2e éd., Paris : Gauthier-Villars, 1910-1915.

[4] On peut lire aussi à cet égard l'article plus ancien de Mary Jo Nye, The Boutroux Circle and Poincaré's Conventionalism, *Journal of the History of Ideas 40* (1979), 107-120.

HADAMARD, J.
[1897] Sur certaines propriétés des trajectoires en dynamique, *Journal de mathématiques pures et appliquées*, (5) 3 (1897), 331-387.

LYAPOUNOV, A. M.
[1892] Problème général de la stabilité du mouvement, *Annales de la faculté des sciences de l'université de Toulouse*, (2) 9 (1907), 203-474.
[1897] Sur l'instabilité de l'équilibre dans certains cas où la fonction n'est pas un minimum, *Journal de mathématiques pures et appliquées*, (5) 3 (1897), 89-94.

PAINLEVÉ, P.
[1897] Sur les positions d'équilibre instable, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 124 (1897), 1021-1024.
[1904] Sur la stabilité de l'équilibre, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 138 (1904), 1170-1174.

PICARD, E.
[1891-6] *Traité d'analyse*, 1-3, Paris : Gauthier-Villars, 1891 (1), 1893 (2), 1896 (3) ; 2e éd. 1901-8.

POINCARÉ, H.
[1879] *Sur les propriétés des fonctions définies par les équations aux dérivées partielles*, Thèse, Faculté de Paris, Paris : Gauthier-Villars, 1879 ; *Œuvres*, 1, 49-131.
[1880] Extrait d'un mémoire inédit de Henri Poincaré sur les fonctions fuchsiennes, *Acta mathematica*, 39 (1923), 58-93 ; *Œuvres*, 1, 336-373.
[1881-6] Mémoire sur les courbes définies par une équation différentielle, *Journal de mathématiques pures et appliquées*, (3) 7 (1881), 375-422, 8 (1882), 251-296, (4) 1 (1885), 167-244, (4) 2 (1886), 151-217 ; *Œuvres*, 1, 3-44, 44-84, 90-161, 167-222.
[1890] Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique, *Acta mathematica*, 13 (1890), 1-270 ; *Œuvres*, 7, 262-479.
[1892-9] *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste*, 1-3, Paris : Gauthier-Villars, 1892 (1), 1893 (2), 1899 (3) ; rééd. Paris : Blanchard, 1987.
[1898] On the Foundations of Geometry, *The Monist*, 9 (1898-1899), 1-43 ; trad. fr. Louis Rougier, *Des fondements de la géométrie*, Paris : Chiron, 1921.
[1901] Analyse de ses travaux scientifiques, *Acta Mathematica*, 38 (1921), 3-135.
[1902] *La science et l'hypothèse*, Paris : Flammarion, 1902 ; rééd. avec une préface de J. Vuillemin, Paris : Flammarion, 1968.
[1904] Cinquième complément à l'analysis situs, *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo*, 18, 45-110 ; *Œuvres* 6, 435-498.
[1905a] Sur la dynamique de l'électron, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 140 (1905), 1504-1508 ; *Œuvres*, 9, 489-490.
[1905b] Sur la dynamique de l'électron, Rendiconti del Circolo matematico di Palermo, 21 (1906), 129-176 ; *Œuvres*, 9, 494-550.
[1905c] *La valeur de la science*, Paris : Flammarion, 1905 ; rééd. avec une préface de J. Vuillemin, Paris : Flammarion, 1970.
[1907] La relativité de l'espace, *L'année psychologique*, 13 (1907), 1-17 ; repris dans [1908], livre 2, chapitre 1, 83-101.
[1908] *Science et méthode*, Paris : Flammarion, 1908 ; rééd. L. Rollet (éd.), *Philosophia Scientiae*, Cahier spécial 3, Paris : Kimé, 1999.
[1909] *La mécanique nouvelle*, Comptes rendus des sessions de l'Association pour l'avancement des sciences, Lille (1909), 38-48 ; *La revue scientifique*, 12, (1909), 170-177 ; *La revue d'électricité*, 13, (1910), 23-28.
[1912] L'espace et le temps, *Scientia*, 25 (1912), 159-170 ; repris dans [1913], chapitre 2, 35-54.
[1913] *Dernières pensées*, Paris : Flammarion, 1913.

VALIRON, G.

[1942] *Cours d'analyse mathématique*, I-II, Paris : Masson, 1942.

WHITTAKER, E. T.

[1953] *A History of the Theory of Aether and Electricity, 2, The Modern Theories*, 1900-1926 ; London : Nelson, 1953.

II. Bibliographie des études Poincaréiennes (1990-2000)

LA CRÉATION EN 1992 des Archives Poincaré à Nancy[5] et la tenue du congrès Henri Poincaré : science et philosophie ont permis d'activer (au moins en France) la recherche autour des conditions de production théoriques et sociales de l'œuvre de Poincaré et de sa diffusion. Les Actes de ce congrès sont une contribution exceptionnelle aux études « Poincaréiennes » mais aussi à l'histoire des sciences à la fin du XIX^{e} siècle et du début du XX^{e} siècle. Les Archives Poincaré éditent *Philosophia Scientiae*, revue d'histoire et de philosophie des mathématiques, de la physique et de la logique, qui accueille un grand nombre de travaux sur Poincaré.

D'autre part, un comité international d'édition, réunis autour des Archives Poincaré, a entrepris depuis 1994 de poursuivre les travaux de Pierre Dugac[6] et de publier une édition annotée et commentée de la correspondance de Poincaré. 4 volumes sont prévus : le premier est consacré à la correspondance entre Poincaré et Mittag-Leffler (paru en 1999), le second à la correspondance avec les physiciens (parution prévue 2002), le troisième à celle avec les mathématiciens (parution prévue 2004) et le quatrième aux correspondances institutionnelles, académiques et familiales (parution prévue 2006).

Ouvrages généraux

Greffe, Jean-Louis, Heinzmann, Gerhard, Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996.

Poincaré, Actes du congrès international Henri Poincaré – Nancy 1994, tome 2 (3), *Philosophia Scientiae*, 1 (4) 1996.

Rollet, Laurent, *Ecrits sur Henri Poincaré*, Nancy : Archives Poincaré, 1994 ; une bibliographie recensant environ 500 articles, livres ou thèses concernant Henri Poincaré.

---

[5] Archives Poincaré-IRIST (EP 2016 CNRS), Université de Nancy 2, 23, Bd Albert 1er, BP 3397, F-54015, Nancy Cedex.

[6] P. Dugac a édité dans les *Cahiers du Séminaire d'Histoire des Mathématiques* (7 (1986) ; 10 (1989)) une grande partie de la correspondance de Poincaré avec les mathématiciens. Pierre Dugac est décédé le 7 mars 2000. Qu'il me soit permis ici de lui rendre hommage, tant pour la qualité de son œuvre d'historien des mathématiques que pour sa générosité vis à vis des Archives Poincaré.

Editions, rééditions et traductions de textes de Poincaré

New Methods of Celestial Mechanics, Goroff D., *trad*, USA : American Institute of Physics, 1993.

Science et Méthode, Rollet Laurent (éd), *Philosophia Scientiae*, Cahier Spécial 3, Paris : Kimé, 1999.

Sources of Hyperbolic Geometry, Stillwell J. (trad), Providence/London : American Mathematical Society/London Mathematical Society, 1996 ; plusieurs articles de Poincaré sur les fonctions fuchsiennes sont traduits en anglais dans cet ouvrage.

Trois suppléments sur la découverte des fonctions fuchsiennes, Gray J. J. – Walter S. (éds), Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1997.

Edition de la correspondance de Poincaré

La Correspondance de Mittag-Leffler et de Poincaré, éditée et annotée par P. Nabonnand, Basel : Birkhäuser, 1999.

1. Théorie qualitative des équations différentielles, mécanique céleste et naissance des systèmes dynamiques

Analyse qualitative

Gilain, Christian, La théorie qualitative de Poincaré et le problème de l'intégration des équations différentielles, in Gispert, Hélène, *La France mathématique. La Société Mathématique de France (1870-1914), Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences*, Paris : Belin, 1991, 215-242.

Israel, Georgio & Menghini, Marta, The « Essential Tension » at Work in Qualitative Analysis : A Case Study of the Opposite Points of View of Poincaré and Enriques on the Relationships between Analysis and Geometry, *Historia Mathematica*, 25, 4 (1998), 379-411.

Kolmogorov, A. N. & Yushkevich, A. P. (éds), *Mathematics of the 19th Century : Constructive Function Theory According to Chebyshev, Ordinary Differential Equations, Calculus of Variations, Theory of Finite Differences*, Boston/Basel/Berlin : Birkhäuser, 1998.

Mawhin, Jean, The Early Reception in France of the Work of Poincaré and Lyapunov in the Qualitative Theory of Differential Equations, *Philosophia Scientiae*, 1 (4) (1996), 119-133.

Mawhin, Jean, Poincaré's Early Use of Analysis Situs in Nonlinear Differential Equation : Variations around the Theme of Kronecker's Integral, *Philosophia Scientiae*, 4 (1), 103-143.

Mécanique céleste et naissance de la théorie des systèmes dynamiques

Bartocci, Claudio, Equazioni e orbite celesti : gli albori della dinamica topologica, in *Henri Poincaré, geometria e caso*, Torino : Bollati Boringhieri, 1995.

Chabert, Jean-Luc & Dahan, Amy, Les idées nouvelles de Poincaré, in Dahan Amy et al. (éds), *Chaos et déterminisme*, Paris : Seuil, 1992, 274-305.

Dahan, Amy, Le difficile héritage de Henri Poincaré en systèmes dynamiques, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996.

Goroff, Daniel, Henri Poincaré and the Birth of Chaos Theory : Introduction to the English Translation of *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste*, 1993.

Gray, Jeremy J., Poincaré, Topological Dynamics, and the Stability of the Solar System, in Harman, P. M., Shapiro, Alan E. (éds), *The investigation of difficult things : Essays on Newton and the History of the Exact Sciences in Honour of D. T. Whiteside*, Cambridge : Cambridge University Press, 1992, 502-524.

Mawhin, Jean, The centennial Legacy of Poincaré and Lyapunov in Ordinary Differential Equations, *Supplemento ai Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo*, (II) 34 (1994), 9-46.

Nabonnand, Philippe, Contribution à l'histoire de la théorie des géodésiques au XIXe siècle, *Revue d'histoire des mathématiques*, 1 (1995), 159-200.

Nabonnand, Philippe, Henri Poincaré et le problème des géodésiques sur une surface convexe, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 265-276.

Parker, M. W., Did Poincaré Really Discover Chaos ?, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 29 (1998), 575-588.

Le Problème des trois Corps

Anderson, K. G., Poincaré's Discovery of Homoclinic Points, *Archive for History of Exact Sciences*, 48 (1994), 133-147.

Barrow-Green, June, Oscar II's Prize Competition and the Error in Poincaré's Memoir on the Three Body Problem, *Archive for History of Exact Sciences*, 48 (1994), 107-131.

Barrow-Green, June, *Poincaré and the Three Body Problem*, Providence/London : American Mathematical Society/London Mathematical Society, 1997.

2. Topologie et fonctions fuchsiennes

Fonctions fuchsiennes

Gray, Jeremy J., On the History of the Riemann Mapping Theorem, *Rendiconti del Circolo matematico di Palermo*, II, Suppl. 34 (1994), 47-94.

Gray, Jeremy J., Poincaré in the Archives – two Examples, *Philosophia Scientiae*, 2 (3) (1997), 27-39.

Gray, Jeremy J. & Walter, Scott, *Introduction à Trois suppléments sur la découverte des fonctions fuchsiennes*, 1997, 1-25.

Hadamard, Jacques, *Non-Euclidean Geometry in the Theory of Automorphic Functions*, traduction en anglais Gray, Jeremy J. – Shenitzer, Abe, Providence/London : American Mathematical Society/London Mathematical Society, 1999.

Topologie

Dieudonné, Jean, Une brève histoire de la topologie, in J. P. Pier (éd), *Development of Mathematics*, Bâle : Birkhäuser, 1994, 35-155.

Herreman, Alain, Le statut de la géométrie dans quelques textes sur l'homologie de Poincaré aux année 1930, *Revue d'histoire des mathématiques*, 3 (1997), 241-293.

Nowak, Gregory, The Concepts of Space and Continuum in Poincaré's Analysis Situs, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 365-377.

Sarkaria, Karambir, A Look back at Poincaré's Analysis Situs, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 251-258.

Stillwell, John, Poincaré, Geometry and Topology, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 231-240.

Volkert, Klaus, *Das Homöomorphieproblem, insbesondere der 3-Mannigfaltigkeiten, in der Topologie 1892-1935*, Habilitationsschrift, Heidelberg, 1996.

Volkert, Klaus, The Early History of Poincaré's Conjecture, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : Science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 241-258.

Volkert, Klaus, Wie und warum wurde Poincaré zum Topologen ?, *Philosophia Scientiae*, 2 (3) (1997), 73-102.

3. Théorie de la relativité

Physique

Bolmont, Etienne, *Le rôle épistémique des analogies à l'exemple de l'électricité, du magnétisme et de l'électromagnétisme au 19e siècle*, Thèse, Université de Nancy 2, 1999 ; Villeneuve d'Ascq : Presses universitaires du Septentrion, 1999.

Brenner, Anastasios, La nature des hypothèses physiques selon Poincaré, à la lumière de la controverse avec Duhem, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 389-396.

Darrigol, Olivier, Henri Poincaré's Criticism of *Fin de siècle Electrodynamics, Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 26 B (1995), 1-44.

Pradas, Manuel Monléon & Ribelles, José Luis Gomez, Poincarés's Proof of Clausius' Inequality, *Philosophia Scientiae*, 1 (4) (1996), 135-150.

Prentis, J. J., Poincaré's Proof of the Quantum Discontinuity of Nature, *American Journal of Physics*, 63 (1995), 339-350.

Physique mathématique

Atten, Michel, *Les théories électriques en France. 1870-1900. La contribution des mathématiciens, des physiciens et des ingénieurs à la construction de la théorie de Maxwell* ; Thèse, EHESS, 1992.

Atten, Michel, Poincaré et la tradition de la physique mathématique française, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 35-44.

Barreau, Hervé, Le concept de physique mathématique dans *La science et l'hypothèse*, *Philosophia Scientiae*, Cahier Spécial 1 (1996), 29-54.

Lichnerowicz, André, Mathématique et physique : Poincaré et son héritage, in Greffe, Jean-Louis – Heinzmann, Gerhard – Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 1-12.

Paty, Michel, La place des principes dans la physique mathématique au sens de Poincaré, *Philosophia Scientiae*, 3 (2) (1998-1999), 61-74.

Théorie de la relativité

Granek, Galina, *Poincaré's Contribution to the Special Theory of Relativity and the Conception of Revolution in Science According to this Contribution*, Ph.D. Dissertation, Hebrew University, 1999.

Granek, G., Poincaré's Contributions to relativistic dynamics, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 31 (2000), 15-48.

Gray, Jeremy J., Poincaré, Einstein, and the Theory of Special Relativity, *The Mathematical Intelligencer*, 17 (1) (1995), 65-67.

Huber, Renate, *Zur philosophischen Beurteilung physikalischer Theorien : Poincaré und Einstein*, Thèse, Universität Dortmund, 1999.

Miller, Arthur I., Why did Poincaré not formulate Special Relativity in 1905 ?, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 69-100.

Miller, Arthur I., A Glimpse into the Poincaré Archives, *Philosophia Scientiae*, 2 (3) (1997), 51-72.

Paty, Michel, Physical Geometry and Special Relativity, Einstein and Poincaré, in L. Boi et al. (éds), 1830-1930 : *A Century of Geometry*, Berlin : Springer Verlag (1992), 127-149.

Paty, Michel, Poincaré et le principe de relativité, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 101-143.

Paty, Michel, *Einstein philosophe : la physique comme pratique philosophique*, Paris : PUF, 1993.

Paty, Michel, Poincaré et la relativité des mouvements pour l'optique, *Revue d'histoire des sciences*, (à paraître).

Pierseaux, Yves, *La « structure fine » de la théorie de la relativité restreinte*, Paris : L'Harmattan, 1999.

Walter, Scott, *Hermann Minkowski et la mathématisation de la théorie de la relativité restreinte (1905-1915)*, Thèse, Paris 7, 1996.

Walter, Scott, The Non-Euclidean Style of Minkowskian Relativity, in J. J. Gray (éd), *The Symbolic Universe : Geometry and Physics, 1890-1930*, Oxford : Oxford University Press, 1999, 91-127.

Walter, Scott, Minkowski, Mathematicians and the Mathematical Theory of Relativity, in H. Goenner & J. Renn & J. Ritter & T. Sauer (éds), *The Expanding Worlds of General Relativity*, Einstein Studies 7, Boston : Birkhaüser, 1999, 45-86.

Walter, Scott, Breaking in the 4-Vectors : Henri Poincaré and Hermann Minkowski on the Relativistic Law of Gravitation, in J. Renn & M. Schemmel (éds), *Alternatives Approaches to Gravitation*, 1890-1920, à paraître.

Zahar, Elie G., Poincaré et la découverte du principe de relativité, in Bouveresse, R. et Barreau, H. (éds), *Karl Popper : science et philosophie*, Paris : Vrin, 1991, 123-145.

4. Conventionalisme et philosophie des mathématiques

Conventionalisme

Bagce, Samet, Poincaré's Philosophy of Geometry and its Relevance to his Philosophy of Science, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 299-314.

Barreau, Hervé, Poincaré et l'espace-temps ou un conventionalisme insuffisant, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 287-298.

Boi, Luciano, Le « synthétique a priori » et le conventionalisme géométrique de Poincaré, in Petitot, J. (éd), *Rationalité et objectivité*, Actes du colloque de Cerisy, Editions Patino, 1993.

Boi, Luciano, Géométries non-euclidiennes, théorie des groupes et conception de l'espace chez Poincaré, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 315-332.

Brenner, Anastasios, Les voies du positivisme en France et en Autriche : Poincaré, Duhem et Mach, *Philosophia Scientiae*, 3 (2) (1998-1999), 31-42.

Diederich, Werner, Poincarés semantischer Konventionalismus, in *Drei Vorträge zu Poincaré, Semantical Aspects of Spacetime Theories*, Bielefeld : Zentrum für interdisziplinäre Forschung, 1993.

Del Re, Giuseppe, Poincaré et le mécanisme, *Philosophia Scientiae*, Cahier Spécial 1 (1996), 55-69.

Dufour, Adrian, La logique de mondes possibles et le conventionalisme géométrique, *Philosophia Scientiae*, 1 (4) (1996), 45-58.

Friedman, Michael, Poincarés Konventionalismus und die logischen Positivisten, in *Drei Vorträge zu Poincaré, Semantical Aspects of Spacetime Theories*, Bielefeld : Zentrum für interdisziplinäre Forschung, 1993.

Friedman, Michael, Poincaré's Conventionalism and the Logical Positivists, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 333-344.

Giedymin, Jerzy, Geometrical and Physical Conventionalism of Henri Poincaré in Epistemological Formulation, *Studies in History and Philosophy of Science*, 22 (1991), 1-22.

Giedymin, Jerzy, Conventionalism, the pluralist Conception of Theories and the Nature of Interpretation, *Studies in History and Philosophy of Science*, 23 (1992), 423-443.

Gower, B. S., Henri Poincaré and Bruno de Finetti : Conventions and Scientific Reasoning, *Studies in History and Philosophy of Science*, 28 (1997), 657-679.

Gray, Jeremy J., Poincaré and Klein – Groups and Geometries, in L. Boi et al. (éds), 1830-1930 : *A Century of Geometry*, Berlin : Springer Verlag (1992), 35-44.

Grünbaum, Adolf, Energy Conservation and Theological Misinterpretations of Current Physical Cosmology, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 209-230.

Heinzmann, Gerhard, Helmholtz and Poincaré's Considerations on the Genesis of Geometry, in L. Boi et al. (éds), 1830-1930 : *A Century of Geometry*, Berlin : Springer Verlag (1992), 245-249.

Heinzmann, Gerhard, Poincaré's Okkasionalismus in der Geometrie, in *Drei Vorträge zu Poincaré, Semantical Aspects of Spacetime Theories*, Bielefeld : Zentrum für interdisziplinäre Forschung, 1993.

Heinzmann, Gerhard, *Zwischen Objektkonstruktion und Strukturanalyse*, Göttingen : Vandenhoeck & Ruprecht, 1995.

Israel, Giorgio, Poincaré et Enriques : Deux points de vue différents sur les relations entre géométrie, mécanique et physique, in L. Boi et al. (éds), 1830-1930 : *A Century of Geometry*, Berlin : Springer Verlag (1992), 107-126.

Kamlah, Andreas, Poincaré's Philosophy of Relativity and Geometrical Intuition, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 145-167.

Kvasz, Ladislav, Henri Poincaré and the Epistemological Interpretation of the Erlangen Program, *Philosophia Scientiae*, 1 (4) (1996), 107-118.

Majer, Ulrich, Hilbert's Criticism of Poincaré's Conventionalism, in Greffe, Jean-Louis, Heinzmann, Gerhard, Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Berlin : Akademie Verlag, 1996, 355-364.

Mawhin, Jean, La terre tourne-t-elle ? (à propos d'une polémique née d'un livre d'Henri Poincaré), *Ciel et Terre*, 111 (1995), 3-10.

Mawhin, Jean, La terre tourne-t-elle ? A propos de la philosophie scientifique de Poincaré, in Stoffel Jean-François (éd), *Le réalisme, Contributions au séminaire d'histoire des sciences 1993-1994*, Louvain-la-Neuve : Centre interfacultaire d'étude en histoire des sciences, 1996.

Nabonnand, Philippe, La polémique entre Poincaré et Russell au sujet du statut des axiomes de la géométrie, à paraître.

O'Gorman, Pascal, Implicit Definitions and Formal Systems in Poincaré's Geometrical Conventionalism : The Case revisited, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 345-353.

Pulte, Helmut, Beyond the Edge of Certainty : Reflections on the Rise of Physical Conventionalism, *Philosophia Scientiae*, 4 (1) (2000), 47-68.

Rollet, Laurent, *Le conventionalisme de Henri Poincaré : empirisme ou apriorisme ? Une étude des thèses de Jerzy Giedymin et Adolf Grünbaum*, Mémoire de Maîtrise de Philosophie, Université de Nancy 2, 1993.

Rollet, Laurent, The Grünbaum-Giedymin Controversy concerning the Philosophical Interpretation of Poincaré's Geometrical Conventionalism, in K. Zamiara (éd), *The Problems concerning the Philosophy of Science and Science Itself*, Poznan : Wydawnictwo Fundacji Humanoria, 1995, 255-274.

Sakhri, Mohsen, *Poincaré vu par ses interprètes, la réception philosophique de la pensée de Poincaré en France (1912-1930)*, Mémoire de DEA, Université de Nancy 2, 1999.

Sanzo, Ubaldo, Contre l'ontologie : Poincaré et les hypothèses scientifiques, *Philosophia Scientiae*, 1 (4) (1996), 27-43.

Stump, David, Poincaré's Thesis of the Translatability of Euclidean and Non-Euclidean Geometries, *Noûs*, 25 (1991), 639-657.

De Vidi, David & Solomon, Graham, Geometric Conventionalism and Carnap's Principle of Tolerance, *Studies in History and Philosophy of Science*, 25 (1995), 773-783.

Vuillemin, Jules, L'espace représentatif selon Poincaré, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 279-285.

Walter, Scott, La vérité en géométrie : sur le rejet mathématique de la doctrine conventionaliste, *Philosophia Scientiae*, 2 (3) (1997), 103-135.

Wegener, Mogens, « A-Priorism » in Poincaré, Eddington & Milne, *Philosophia Scientiae*, Cahier Spécial 1 (1996), 81-103.

Zahar, Elie G., Poincaré's Structural Realism and his Logic of Discovery, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 45-68.

Zahar, Elie G., Les fondements de la géométrie selon Poincaré, *Philosophia Scientiae*, 3 (3) (1998-1999), 63-105 ; 4 (1) (2000), à paraître.

Zahar, Elie G., Poincarés's Philosophy of Geometry, or does Geometric Conventionalism Deserve its Name, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 28 (2) (1997), 183-218.

Logique et philosophie des mathématiques

Chihara, Charles S., Poincaré and Logicism, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 435-446.

Da Silva, Jairo, Poincaré on Mathematical Intuition : A phenomenological Approach to Poincaré's Philosophy of Arithmetic, *Philosophia Scientiae*, 1 (2) (1996), 87-99.

Detlefsen, M., Poincaré against Logicians, *Synthèse*, 90 (1992), 349-378.

Detlefsen, M., Poincaré vs. Russell on the Role of logic in Mathematics, *Philosophia Mathematica*, 3 (1) (1993), 24-49.

Drago, Antonino, Poincaré versus Peano and Hilbert about the Mathematical Principle of Induction, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 513-527.

Folina, Janet, Logic and Intuition in Poincaré's Philosophy of Mathematics, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno, (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 417-434.

Folina, Janet, *Poincaré and the Philosophy of Mathematics*, London : Mac Millan, 1992.

Folina, Janet, Poincaré's Conceptions of the Objectivity of Mathematics, *Philosophia Mathematica*, 3 (2) (1994), 202-227.

Goldfard, Warren, Poincaré against the Logicists, in W. Aspray & P. Kitcher (éds), *History and Philosophy of Modern Mathematics*, Minneapolis : University of Minnesota Press, (1988), 82-94.

Gray, Jeremy, Did Poincaré say « set theory is a disease » ?, *The Mathematical Intelligencer*, 13 (1991), 19-22.

Heinzmann, Gerhard, *Entre intuition et analyse*, Paris : Blanchard, 1985.

Heinzmann, Gerhard (éd), *Poincaré, Russell, Zermelo et Peano, Textes de la discussion (1906-1912) sur les fondements des mathématiques : des antinomies à la prédicativité*, Paris : Blanchard, 1986.

Heinzmann, Gerhard, On the Controversy between Poincaré and Russell about the Status of Complete Induction, *Epistemologia*, 17 (1994), 35-52.

Heinzmann, Gerhard, Poincaré on Understanding Mathematics, *Philosophia Scientiae*, 3 (2) (1998-1999), 43-60.

Heinzmann, Gerhard, Poincarés Grundlegung der Geometrie, *Fachübergreifende Themen im Mathematikunterricht, Rheinland-Pfalz, Studienmaterial*, Band 160, Speyer, 1999.

Korhonen, Anssi, Russell and Poincaré on Logicism and Mathematical Logic, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 447-458.

McLarty, Colin, Poincaré : Mathematics, Logic, Intuition, *Philosophia Mathematica* (1997), 97-115.

Murawski, Roman, Impredicative Definitions and Reverse Mathematics, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 551-557.

Picard, Joseph R., *Impredicativity and Idealism*, Thesis, Master of Science in Philosophy, Massachussetts Institute of Technology, 1990.

Picard, Joseph R., *Impredicativity and turn of the Century Foundations of Mathematics : Presupposition in Poincaré and Russell*, Ph. D. Dissertation, Massachussetts Institute of Technology, 1993.

Resnik, Michael D., On Understanding Mathematical Proofs, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 459-466.

Rivenc, François, Introduction à La logique de l'infini, Henri Poincaré (1909), in Rivenc, F. & Rouilhan, P. de (éds), *Logique et fondements des mathématiques, Anthologie (1850-1914)*, Paris : Payot, 1992, 393-414.

Simmons, Keith, Poincaré and Paradox, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 528-539.

Simmons, Keith, A Paradox of Definability : Richard's and Poincaré's Ways Out, *History and Philosophy of Logic*, 15 (1994), 33-44.

Sinaceur, Hourya, Le rôle de Poincaré dans la genèse de la métamathématique de Hilbert, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 493-511.

Stenlund, Sören, Poincaré and the Limits of Formal Logic, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 467-479.

Stump, David J., Poincaré's Curious Role in the Formalization of Mathematics, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 481-492.

Tieszen, Richard, Logicism, Impredicativity, Formalism, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 399-415.

Weingartner, Paul, Are Statistical Laws Genuine Laws ? A Concern of Poincaré, *Philosophia Scientiae*, 3 (2) (1998-1999), 215-235.

5. Biographie de Poincaré

Biographie de Poincaré

Bottazzini, Umberto, Poincaré, *Pour la Science*, collection, « Les grands génies », à paraître en 2000.

Greffe, Jean Louis & Renaud, André, Henri Poincaré, savant universel, in J. L. Greffe (éd), *Les sciences exactes, Encyclopédie illustrée de la Lorraine*, Metz : Editions Serpenoise, 1996, 91-103.

Heinzmann, Gerhard, Henri Poincaré, *Le Pays Lorrain*, 76 (4) (1995), 271-280.

Heinzmann, Gerhard & Rollet, Laurent, Sciences et Humanités chez Henri Poincaré, in Samuel-Scheyder M. & Alexandre P. (éds), *Pensée pédagogique, Enjeux, continuités et ruptures en Europe du XVIe au XXe siècle*, Bern : Peter Lang, 1996, 343-355.

Mergnac, M.-O., Album de famille : La famille Poincaré, *Gé-Magazine*, 124 (1994), 27-31.

Provence, M., Ascendance : Nicolas Poincaré, grand reporter, *Gé-Magazine*, 124 (1994), 32-37.

Rollet, Laurent, Autour de l'affaire Dreyfus. Henri Poincaré et l'action politique, *Revue historique*, 298 (1), 49-101.

Rollet, Laurent, Henri Poincaré : notice pour le Dictionnaire prosopographique de l'affaire Dreyfus, *Bulletin de la Société internationale d'histoire de l'Affaire Dreyfus*, 6 (1998), 65-68.

Rollet, Laurent, L'engagement public d'un homme de science : Henri Poincaré (1re partie), *Revue des questions scientifiques*, 170 (4) (1999), 335-354.

Walter, Scott, Henri Poincaré's Student Notebook, 1870-1878, *Philosophia Scientiae*, 1 (4) (1996), 1-17.

Le réseau de Poincaré

Bolmont, Etienne, Sur la correspondance Poincaré-Hertz, *Philosophia Scientiae*, 1 (1) (1996), 21-62.

Nabonnand, Philippe, The Poincaré — Mittag-Leffler Relationship, *The Mathematical Intelligencer*, 21 (2) (1999), 58-63.

Rowe, David, Klein, Mittag-Leffler, and the Klein – Poincaré Correspondence of 1881-1882 in Demidov S. S. et al. (éds), *Amphora : Festschrift for Hans Wussing on the occasion of his 65th Birthday*, Basel/Boston/Berlin : Birkhaüser, 1992, 597-618.

Le style de Poincaré

Bohnke, Georges, Henri Poincaré et la découverte des groupes fuchsiens ou la géométrie en action, *Philosophia Scientiae*, 1 (4) (1996), 97-105.

Brocker, Caroline, *Les mathématiques et l'esthétique*, Mémoire de DEA, Université de Strasbourg 1, 1999.

Chabert, Jean Luc & Dahan, Amy, Henri Poincaré, le précurseur, *La Recherche*, 22 (232) (1991), 566-570.

Eymard, Pierre, Comment Hilbert et Poincaré rédigeaient les mathématiques, *Philosophia Scientiae*, 1 (4) (1996), 19-26.

Gray, Jeremy, Poincaré and Electromagnetic Theory, in Greffe, Jean-Louis & Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds), *Henri Poincaré : science et philosophie*, Paris/Berlin : Blanchard/Akademie Verlag, 1996, 193-208.

Greffe, Jean-Louis, Henri Poincaré (1854-1912) : de la vérité d'une recherche à la recherche de la vérité, *Bulletin des Académies et Sociétés Lorraines des sciences*, 30 (1991), 99-120.

Gillies, Donald, Poincaré : Conservative Methodologist but Revolutionary Scientist, *Philosophia Scientiae*, 1 (4) (1996), 59-67.

Mawhin, Jean, Henri Poincaré ou les mathématiques sans œillères, *Revue des questions scientifiques*, 169 (4) (1998) : 337-365.

Miller, Arthur, Scientific Creativity : a Comparative Study of Henri Poincaré and Albert Einstein, *Creativity Research Journal*, 4 (5) (1992), 385-418.

O' Gorman, Pascal, From Logic to Chaos Theory : Poincaré's Portrait of the Scientific Mind, 5th Annual Lecture, National Commitee for the History and Philosophy of Science, Dublin : Royal Irish Academy, 1999.

Paty, Michel, La création scientifique selon Poincaré et Einstein, à paraître.

Rollet, Laurent, Henri Poincaré — Vulgarisation scientifique et philosophie des sciences, *Philosophia Scientiae*, 1 (1), 125-153.

Rollet, Laurent, *Henri Poincaré ; Des Mathématiques à la Philosophie. Etude du parcours intellectuel, social et politique d'un mathématicien au début du siècle*, Thèse, Université de Nancy 2, 1999.

6. Autres

Arithmétique

Gerasim, I.-Chr., On the History of Poincaré's Principle of Classifying the Problems of Diophantus [en russe], *Istoriko-Matematicheskie Issledovaniya*, 35 (1994), 312-323.

Divers

Gropp, Harald, Poincaré and Graph Theory, *Philosophia Scientiae*, 1 (4) (1996), 85-95.

Pécot, Jean Bernard, Les théories spectrales de Poincaré, *Sciences et techniques en perspective*, 26 (1993), 173-205.

Probabilités

Pier, Jean-Paul, Poincaré croyait-il au calcul des probabilités ?, *Philosophia Scientiae*, 1 (4) (1996), 69-83.

Sheynin, O. B., H. Poincaré's Work on Probability, *Archive for History of Exact Sciences*, 42 (1991), 137-171.