HAL
open science

La relativité générale, une théorie à contenu philosophique négatif?

Julien Bernard

To cite this version:

Julien Bernard. La relativité générale, une théorie à contenu philosophique négatif?. Journée des jeunes chercheurs, CEPERC, May 2007, Aix-en-Provence, France. hal-00655909

HAL Id: hal-00655909

https://hal.science/hal-00655909v1

Submitted on 3 Jan 2012

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.

La relativité générale,
une théorie à contenu philosophique négatif ?

(texte lu le 09/05/2007 pour la « Journée des doctorants 2007 » (CEPERC, Aix-en-Provence)

Bonjour. Je suis Julien Bernard et j'ai commencé en octobre 2006 une thèse en épistémologie sous la direction d'Alain Michel. Le thème abordé dans ma thèse est l'articulation entre mathématiques et physique dans la conception relativiste de l'espace. J'ai abordé ce thème à travers l'œuvre d'Hermann Weyl.

(Diapositive 1)

Donnons d'abord quelques éléments biographiques pour montrer en quoi la pensée d'Hermann Weyl peut être un point d'appui à la fois sûr et original pour aborder ce thème.

Hermann Weyl est avant tout un mathématicien, sans doute un des plus grands du vingtième siècle. Mais il a également produit quelques grands textes en physique et en philosophie des sciences, auxquels il a lui même accordé beaucoup d'importance et d'énergie, et qui ont marqué la communauté scientifique de son temps. Né en 1885, il passe ses études universitaires à Göttingen où il valide son doctorat sous la direction de David Hilbert, à l'époque le mathématicien le plus influent, et autours duquel gravitait toute une communauté de penseurs. A partir de 1913, il entre à l'école polytechnique fédérale de Zürich (ETH) où il occupera un poste jusqu'en 1929. Jusqu'en 1916, ses principaux travaux sont des travaux de *mathématiques pures* mais qui répondent déjà à des problèmes physiques. Dans cette manière d'associer étroitement mathématiques pures et problèmes physiques, on reconnait l'héritage de David Hilbert et plus généralement une approche caractéristique de l'école de Göttingen. On y reviendra.

Ce qui nous intéresse ici c'est surtout la rencontre en 1916 de Weyl avec la théorie de la relativité générale à travers la lecture du texte d'Albert d'Einstein : *les Fondements d'une théorie universelle de la relativité*. Ce texte marque pour Weyl un véritable renouveau spirituel tant mathématique, physique que philosophique. Si bien qu'il met de côté ses précédents thèmes de recherches pour se lancer dans une analyse profonde de la nouvelle théorie d'Einstein. Son entreprise est un plein succès puisqu'il professe dès le semestre d'été 1917 un cours complet qui mêle étroitement la théorie de la relativité générale elle-même, les principes mathématiques sous-jacents, et les principes épistémologiques qui sont aux fondements des idées directrices de la théorie nouvelle d'Einstein. Ce cours sera publié à cinq reprises avec des remaniements importants sous le titre *Espace, Temps, Matière* et il a fortement marqué la communauté scientifique de l'après guerre.

Nous voulons attirer l'attention sur un trait insolite de la pensée d'Hermann Weyl à cette époque. En effet, peu de temps après qu'il se soit lancé en 1916 dans son étude sur la théorie de la relativité générale, on constate qu'il éprouve le besoin urgent de répondre à certaines interrogations épistémologiques concernant les mathématiques pures et en particulier l'analyse mathématique. Cela aboutit finalement à la publication en 1918 (la même année qu'*Espace, Temps, Matière*) du *Continu,* ouvrage dans lequel Weyl rebâtit l'analyse mathématique à partir de principes nouveaux par rapport à la théorie dominante : la théorie des ensembles.

On comprend alors en quoi la pensée d'Hermann Weyl est un point d'appui sûr pour développer une réflexion épistémologique sur l'articulation entre mathématique et physique dans la construction relativiste du concept d'espace. En effet, non seulement Hermann Weyl est l'auteur d'au moins deux ouvrages fondamentaux qui ont pesés dans les réflexions épistémologiques, respectivement en mathématique et en science physique. Mais, de plus, ces réflexions épistémologiques sont corrélées. Il s'agit en effet, dans *Le Continu,* de donner de nouveaux principes à l'analyse mathématique qui, non seulement la rendent

parfaitement cohérente en elle-même, mais qui, de plus, permettent son application à la physique et en particulier à la construction physique de l'espace. La théorie de la relativité a donc servi à Weyl de canalisateur pour la réflexion épistémologique sur les rapports entre mathématiques et physique.

Notre réflexion est partie d'un constat frappant, au premier abord, quand on étudie les deux œuvres majeures de 1918. On constate en effet une opposition apparente entre le rôle attribué au sujet connaissant dans les fondements des mathématiques d'une part et, d'autre part, dans la construction physique de l'espace.

D'un côté, Weyl accorde une place primordiale au sujet connaissant pour fonder le domaine les mathématiques pures. Celles-ci sont fondées à la fois sur des principes logiques et sur des intuitions qui reflètent les capacités de notre esprit et ne sont en aucune façon justifiés par la référence à un univers mathématique dont l'existence serait indépendante de notre capacité à l'appréhender. Nous ne découvrons pas l'univers mathématique, nous le construisons.

Par opposition, dans la sphère de la détermination de la forme de l'espace physique, la place du sujet connaissant, chez Weyl, semble s'effacer pour céder la place à un espace physique *réel* qui s'impose à nous et dont nous devons *découvrir* les structures.

(Diapositive 2)

Ainsi, au cours de notre exposé nous garderons en tête ce schéma (Weyl = idéaliste en mathématique / réaliste en physique) qui, comme tous les schémas qui s'appuient sur de grandes oppositions (idéalisme/réalisme…) est certes réducteur. Cela n'est cependant pas un problème dans la mesure où nous nous garderons bien

d'appliquer d'une façon trop simpliste et trop rigide ce schéma à la pensée d'Hermann Weyl.

Si bien que nous avons été amenés finalement à nous poser la question suivante :

> *Comment Weyl a-t-il pu concilier la forme d'intuitionnisme (idéalisme) mathématique qu'il défend dans Le Continu avec sa prise de position en faveur d'un réalisme physique de l'espace?*

La première tâche qui s'est posée a été de montrer que Weyl défend bien de telles positions épistémologiques et de montrer en quel sens il les défend. Pour ce qui est de son idéalisme en mathématique, j'ai traité de ce problème dans mon travail de DEA. Je le prends comme acquis et ne reviendrai que sur les points qui nous intéresseront directement aujourd'hui.

C'est donc la question du réalisme physique de Weyl à l'égard de l'espace qui va occuper la majeure partie de l'exposé qui va suivre. Nous commencerons, par une remarque d'ordre historique qui replacera Weyl dans un mouvement de pensée *réaliste* caractéristique de la communauté de Göttingen. Après quoi, nous rentrerons dans le texte d'*Espace, Temps, Matière* et analyserons la philosophie du sujet sur laquelle Weyl s'appuie pour penser l'objectivité de l'espace relativiste. Dans un troisième temps, nous reprendrons quelque peu du recul par rapport au texte pour traiter du débat contemporain à Weyl entre la théorie de la relativité et l'idéalisme transcendantal. Certains arguments de ce débat terminerons de justifier la prise de position de Weyl à l'égard du réalisme physique de l'espace et comblerons par là même une certaine lacune épistémologique d'*Espace, Temps, Matière* provoquée par le rapport problématique de Weyl avec la philosophie kantienne. Enfin, nous évoquerons rapidement une forme de holisme (au sens de ce que nous appelons aujourd'hui la thèse de Duhem-Quine) défendu par Weyl à l'égard du complexe géométrico-physique qui donne corps à l'espace relativiste. Pour souligner l'originalité de la position de Weyl, on la comparera à l'autre grande position holiste

de ce début du vingtième siècle (vis-à-vis du complexe géométrico-physique) à savoir celle d'Henri Poincaré.

(Diapositive 3)

Commençons donc par explorer la forme de réalisme qui traversait le courant de pensée de l'école de Göttingen. La trame historique qui de ce qui va suivre a été reprise à la thèse de Skuli Sigurdsson : *Hermann Weyl, mathematics and physics, 1900-1927*. Weyl fait donc partie d'un réseau de penseurs qui gravitaient autour de Göttingen et de la figure de David Hilbert. Skuli Sigurdsson place notamment dans ce réseau de penseurs : « Max Born, Richard Courant, Albert Einstein, David Hilbert, Theodore von Karman, Felix Klein, Hermann Minkowski, Wolfgang Pauli [et] Arnold Sommerfeld » Il ne s'agit pas uniquement de penseurs qui travaillaient directement à Göttingen mais aussi de penseurs qui y avaient fait leur étude (comme Weyl lui-même) ou de penseurs qui travaillaient en dialogue avec cette communauté et partageaient certaines de leurs thèses (comme Albert Einstein)

La « pensée de Göttingen » était imprégnée de l'esprit de Gauss et de son disciple Riemann. Cela se caractérisait par une conception particulière des rapports entre les mathématiques pures et les sciences physiques. Ces deux disciplines devaient se développer en corrélation l'une avec l'autre, cette corrélation ne devant être pensée ni comme une subordination des mathématiques à la physique ni comme la subordination réciproque. D'un côté, on pensait que la physique était une source de fécondité pour les mathématiques par les problèmes nouveaux qu'elle mettait à jour et les nouvelles branches mathématiques qui en découlaient. D'un autre côté, la créativité mathématique n'était pas bridée par la nécessité de coller au plus proche de l'outil physique. Les généralisations mathématiques hardies étaient favorablement recherchées même si les applications physiques de ces généralisations ne venaient qu'après.

Les penseurs de Göttingen croyaient que les mathématiques les plus sophistiquées étaient capables de nous révéler la structure absolue du monde réel. Relevons les principaux traits de cette forme de réalisme.

On observe d'abord que ce réalisme a une fonction *motivationnelle*. En effet, tous ces penseurs aspiraient, à travers cette forme de réalisme, à la contemplation de certaines structures absolues et éternelles du monde ; aspiration qui constituait en partie, selon Skuli Sigurdsson, une sorte d'échappatoire au monde trop « irrationnel » et « temporel » de l'Europe ravagée par la guerre.

Cependant, ce « réalisme de Göttingen » était justifié par l'avancée même de la science physique et le rôle plus marqué qu'elle attribuait aux mathématiques les plus sophistiquées depuis l'avènement de la théorie de la relativité générale en 1915 puis de la mécanique quantique, une décennie plus tard. Dans cette nouvelle configuration de la science, les penseurs de Göttingen attribuaient un double rôle aux mathématiques : 1) celui de construire un champ de structures parmi lesquelles certaines se trouveront instanciées réellement dans la nature et 2) celui d'unifier la science physique.

Nous voyons bien qu'il ne s'agit pas d'interpréter le réalisme de Göttingen dans le sens de ce que nous appelons de nos jours « réalisme (ou platonisme) mathématique ». En effet, la réalité signifiée par les structures mathématiques dans le réalisme de Göttingen est la réalité *physique*. Il s'agirait donc plutôt d'une forme de *réalisme physique structural*. Il suffit de considérer les mathématiques de Weyl, ou le fondement finitiste que veut donner David Hilbert aux mathématiques, pour constater la compatibilité ou, du moins, constater la coexistence du réalisme physique de Göttingen avec un pannel de positions épistémologiques sur les mathématiques éloignées de ce que nous appelons aujourd'hui « réalisme platonicien ».

Si les structures mathématiques sont en adéquation avec le réel physique, cela n'est pourtant pas parce que les énoncés mathématiques auraient par eux-même un statut physique. Ils ne sont pas induits de l'expérience. C'est une sorte de paradoxe immanent au réalisme de Göttingen et à beaucoup d'autres positions épistémologiques sur les rapports entre mathématiques et physique. D'un côté, les mathématiques pures possèdent leurs propres principes qui assurent leur cohérence et leur développement, même si ce développement est souvent guidé par les questions physiques. Nous en avons un signe évident dans le fait que beaucoup de structures mathématiques se développent *avant* la découverte de leur signification physique. On peut donner un exemple frappant dans le contexte de l'époque : le développement des géométries non-euclidiennes avant la découverte de leur aptitude à rendre compte de la structure de l'espace-temps.

D'un autre côté, malgré les principes et les statuts épistémologiques différents qui les animent, les mathématiques et la physique coopérent d'une façon innattendue à la découverte des structures objectives de la réalité. Ce paradoxe est illustré par l'expression, d'inspiration leibnizienne, d'une *« harmonie préétablie entre la nature physique et l'esprit mathématique »*. Cette expression est reprise, à moitié sérieusement, par les penseurs de cette époque pour désigner ce fait paradoxal que les mathématiques pures sont capables d'anticiper sur les structures réelles découvertes par le physicien.

Ce que nous avons rapporté à l'instant à propos du « réalisme de Göttingen » s'est particulièrement bien appliqué au cas de la nouvelle théorie du temps, de l'espace et de la matière que constituait la théorie de la relativité générale d'Einstein. Les penseurs de Göttingen l'ont accueilli comme une théorie qui, à l'aide de mathématiques élaborées, touchait au plus près certaines structures réelles du cosmos par une harmonie étonnante entre la sphère mathématique et la sphère physique.

Terminons cette première partie en lisant quelques lignes d'*Espace, Temps, Matière* où, derrière le style quelque peu lyrique de Weyl, on aperçoit

l'interprétation réaliste « à la Göttingen » de la théorie de la relativité, et la fonction motivationnelle de ce réalisme :

(Diapositive 4)

> *"Although this book offers fruits of knowledge in a refractory shell, yet communications that have reached me have shown that to some it has been a source of comfort in troublous times. To gaze up from the ruins of the oppressive present towards the stars is to recognize the indestructible world of laws, to strengthen faith in reason, to realize the "harmonia mundi" that transfuses all phenomena, and that never has been, nor will be, disturbed."*

Hermann Weyl, *Espace, Temps, Matière*,
introduction à la troisième édition(1919)

2. Quelle philosophie du sujet dans *Espace, Temps, Matière* ?

Quittons le contexte général du « réalisme » de Göttingen pour entrer dans le texte même d'*Espace, Temps, Matière*. Dès l'introduction, Weyl insiste sur le fait que la théorie de la relativité générale ne se réduit pas qu'à une simple correction des équations newtonniennes du mouvement. Elle amène en effet à réviser en profondeur les notions de temps, d'espace et de matière ; au point de ne plus les concevoir que comme des aspects interconnectés d'une seule et même réalité. C'est sans doute cet aspect qui fait de la théorie de la relativité une théorie éminemment philosophique. Cette fusion (partielle) des notions de temps, d'espace et de matière est de plus corrélative d'une fusion (partielle) des disciplines qui prenaient ces notions pour objets :

(Diapositive 5)

« […] la géométrie, la mécanique et la physique forment […] une unité théorique indissoluble, que l'on doit avoir *en bloc* devant les yeux, quand on se demande si ces sciences-là expriment rationnellement la réalité transcendante à la

conscience, mais dont on a connaissance par les états de conscience : la vérité forme un *système.* »

***Espace, Temps, Matière,* chapitre I, p57**

Ce texte est intéressant à plusieurs titres. On y voit notamment l'unification des disciplines dont nous venons de parler et une certaine forme de holisme à laquelle nous reviendrons à la fin de notre exposé. Mais on y voit aussi que la pensée d'Hermann Weyl s'appuie sur une certaine « philosophie du sujet » ; si nous prenons cette expression dans le sens très général d'une théorie qui pose comme principe fondamental que l'étude des sciences doit toujours partir des capacités du sujet et des expériences auxquelles sa conscience accède immédiatement.

(Diapositive 6)

Weyl accepte une telle philosophie du sujet comme cadre dans lequel il exprime son interrogation épistémologique. Il part toujours du sujet conscient et percevant quand il désire décrire la nature de la démarche mathématique et physique. Son vocabulaire est en fait emprunté à Edmond Husserl et à Franz Brentano. Pour Weyl, la connaissance du transcendant, en tant qu'elle est connaissance de l'objectif, passe par une démarche qui vise à éliminer la place du sujet dans la constitution de la connaissance, ou parfois du moins à rendre insignifiante la place individuelle qu'occupe chaque sujet (démarche « dé-subjectivante »). Weyl part donc du sujet conscient et percevant et pousse à son comble l'interrogation idéaliste puisqu'il va jusqu'à poser le problème de l'existence du monde extérieur à la conscience. Mais son idéalisme est seulement problématique puisque, là où le dieu vérace cartésien garantit l'existence d'un monde et libère le sujet de son isolement, Weyl place le procédé dé-subjectivant de la théorie physique, dernière garant de l'existence objective du monde.

Le processus de dé-subjectivisation va s'appliquer en particulier dans le domaine des sciences mathématique et physique de l'espace. Si bien qu'on va aboutir dans les textes de Weyl à un dédoublement des notions de temps et d'espace. D'un côté, nous auront le temps et l'espace dits « intuitifs », c'est-à-dire ceux qui sont immédiatement abstraits des phénomènes perceptifs. Weyl définit ainsi le *temps intuitif* comme étant « la forme du courant de conscience ». L'*espace intuitif* c'est, par exemple, la forme du phénomène visuel qui permet de constater qu'un crayon repose sur une table pendant une durée donnée. Ces notions sont donc subjectives dans un sens fort. Ce sont des notions « psychologiques » dépendantes d'un sujet individuel.

Ces notions « intuitives » de temps et d'espace s'opposent aux notions *mathématiques* et *cosmologiques* qui sont élaborées dans la théorie de la relativité et ont une valeur objective. Ce sont donc les notions que l'on obtient à l'issu du processus de dé-subjectivisation.

Dans ce processus, certaines propriétés de l'espace et du temps intuitifs sont purement et simplement *éliminéés*. Dans ce sens, l'objectivité physique se conquiert par une sorte d'épuration. C'est le cas par exemple de la propriété de « continuité intuitive » du temps et de l'espace intuitifs qui consiste dans le fait que les continus spatiaux ou temporels, *tels qu'ils nous sont donnés immédiatement*, sont des totalités qui préexistent antérieurement à leurs parties et sont indécomposables en points alors que le temps et l'espace mathématique doivent au contraire être décomposés en points rigoureusement isolés.

Par contre, certains rapports du sujet à l'espace et aux mouvements, ne sont pas purement et simplement éliminables. Il s'agit de ceux liés à la position dynamique individuelle du sujet, c'est-à-dire sa position, sa vitesse, plus généralement : son mouvement à l'égard des autres constituants de la réalité. Ce

sujet que l'on ne peut éliminer dans la description de la structure spatio-temporelle n'est plus vraiment le sujet psychologique individuel que l'on a appelé plus haut « conscience » mais bien plutôt ce qu'on peut appeler le « sujet-référentiel ». La subsomption de la notion physique de « référentiel » sous la notion de sujet est justifiée dans la mesure où chacun de ces systèmes de référence donne un cadre par rapport auquel le monde peut être connu, ce qui signifie dans ce cas qu'il peut être mesuré. Il faut finalement retenir le caractère d'individualité de ce sujet-référentiel qui fait de chaque individu un point de vue unique sur le monde. Le sujet-référentiel est donc un sujet individuel mais il n'est pas le sujet individuel concret avec toutes ses caractéristiques propres. Il s'agit plutôt d'un sujet individuel abstrait dans la mesure où on n'a seulement conservé du sujet individuel ce qui le distingue dynamiquement des autres.

Revenons à la démarche dé-subjectivante qui doit nous amener aux concepts physiques d'espace et de temps. On a dit que le sujet-référentiel ne pouvait pas être purement et simplement éliminé de la description du mouvement. Weyl dit que le référentiel est comme un « résidu inévitable de l'Ego ». Si le sujet-référentiel ne peut être *éliminé*, on peut néanmoins *abstraire* d'une description egocentrée de l'espace ce qui en elle est invariant ; invariance qui est rendue explicite par la donnée de la *loi mathématique* qui permet de passer de la description de l'espace depuis un sujet-référentiel donné vers un autre référentiel. On parle alors plutôt de covariance.

L'explicitation de la forme mathématique de la covariance devient la *condition de possibilité* de toute science qui s'appuie sur la mesure. C'est cela le sens que Weyl donne au principe de relativité d'Einstein. L'objectivité physique passe 1) par une explicitation de la part du sujet de la position particulière qu'il occupe dans le monde, et 2) par la donnée des lois de covariance qui permettent de s'abstraire de cette position. On voit bien ici la portée épistémologique de ce principe. Bien plus qu'un simple instrument mathématique, ce principe redéfinit la forme d'objectivité de la physique.

Il faut remarquer ici que l'abstraction dont il est question (quand nous parlons d'*abstraire* le sujet-référentiel) peut être comprise au sens technique de ce que Weyl nomme « *abstraction mathématique* » et qui est au cœur de la forme de constructivisme ou d'idéalisme mathématique qu'il défend dans *Le Continu*. Weyl y avait insisté sur le fait que l'on devait restreindre les entités mathématiques acceptées à celles qui pouvaient être abstraites d'un socle intuitif.

(Diapositive 7)

Par exemple, pour définir une certaine forme géométrique, disons un triangle, on est obligé de partir de ce qui nous est donné intuitivement, c'est-à-dire d'un triangle concret avec une certaine dimension et une certaine position dans l'espace. Or, ces deux traits ne sont pas pertinents pour caractériser sa forme géométrique. Il faut alors s'*abstraire* de la position et de la dimension du triangle. Pour cela, il faut arriver à déterminer mathématiquement la relation qui lie deux triangles concrets si et seulement si ils ont même forme. Il suffit pour cela de dire que deux triangles ont même forme s'il existe une similitude (au sens mathématique) qui fasse passer d'un triangle à l'autre. Autrement dit, on a défini ce que voulait dire « être de même forme géométrique que <u>ce</u> triangle (donné à l'intuition) ». Pour concevoir ce qu'est la forme géométrique en elle-même, il suffit donc de ne considérer dans ce triangle que les propriétés qui sont invariantes par similitude (par exemple : la mesure de ses angles). La forme géométrique de tel triangle est alors conçue comme l'*ensemble* de tous les triangles qui sont images du triangle intuitivement donné par une similitude.

C'est exactement cette notion d'abstraction dont on a besoin pour exprimer mathématiquement l'essence du principe de relativité. Les mathématiques « intuitionnistes » et « constructivistes » de Weyl sont donc une condition suffisante

du mode d'objectivité physique que nous avons caractérisé plus haut comme le résultat d'une abstraction du sujet-référentiel. De même qu'en mathématiques pure, selon Weyl, nous devons toujours partir d'une donnée intuitive (dans notre exemple : le triangle concret), déterminer une loi d'invariance (intension, dans notre ex : la simitude), pour finalement en abstraire l'objet mathématique pertinent (extension, ici : la figure géométrique comprise comme un ensemble de triangle similaires). En physique, on doit partir de ce qui nous est donné intuitivement (la description physique du système considéré *depuis le sujet-référentiel choisi*), donner la loi de covariance, pour finalement en abstraire l'objet géométrico-physique.

Jusqu'où avons-nous progressé sur la question du réalisme physique de Weyl à propos de l'espace ? Nous avons montré que le principe de relativité, en tant qu'il permet de s'abstraire du sujet-référentiel est la condition de l'*objectivité* de l'espace physique relativiste, objectivité qui est en fait plutôt une forme d'intersubjectivité. Nous avons montré ce faisant que les mathématiques constructivistes de Weyl étaient suffisantes pour définir cette opération. Mais on ne peut directement passer de cette objectivité à la *réalité physique* proprement dite de l'espace. Il faudrait pour cela étudier le rapport de l'espace physique à l'expérience afin de réfuter les deux positions épistémologiques concurrentes du réalisme physique de l'espace : à savoir, l'idéalisme transcendantal d'un côté, et le conventionnalisme géométrique « à la Poincaré » de l'autre.

(Diapositive 8)

De fait, le débat entre la théorie de la relativité générale et l'idéalisme transcendental de l'espace et du temps ne figure pas dans *Espace, Temps, Matière*. C'est étonnant car la position kantienne sur le temps et l'espace, était restée depuis sa création un point de référence philosophique pour poser le problème épistémologique de la nature de l'espace. Cette abscence peut néanmoins s'expliquer si on se souvient des rapports qu'*Espace, Temps, Matière* entretient avec la philosophie. Au début de l'ouvrage, Weyl précise qu'il ne s'agit pas pour lui de rapporter des débats nés au sein de la philosophie mais de se laisser guider par la

théorie physique elle-même pour trouver les questions philosophiques pertinentes. Or, Weyl se place dans l'interprétation courante à Göttingen, et largement diffusée par le cercle de Vienne, selon laquelle l'idéalisme transcendantal de l'espace aurait été largement réfuté par l'émergence des géométries non-euclidiennes et par la théorie de la relativité. Il est alors probable que, pour Weyl, la question de l'idéalité de l'espace ne soit plus une question d'actualité, encore problématique au sein de la théorie de la relativité, mais plutôt un moment de l'histoire de la philosophie qui ne trouve pas sa place dans le projet d'*Espace, Temps, Matière.* Weyl laisse le soin à d'autres d'exposer les erreurs de Kant. Il se contente, dans l'introduction, d'une affirmation assez vague selon laquelle l'époque qui a débuté avec les Grecs, où l'on pouvait concevoir la géométrie comme un savoir pur, a priori, et parfaitement certain, vient de s'achever avec l'émergence de la théorie de la relativité.

Il reste à comprendre les raisons qui ont amené Weyl à considérer l'idéalisme transcendantal comme une position obsolète et à juger si ce rejet est justifié. Weyl avait eu ses premiers contacts avec la philosophie à travers la lecture de la *Critique de la raison pure* de Kant quand il n'était encore qu'au lycée. Cette lecture l'avait enthousiasmé. Mais en prenant conscience à travers les *Fondements de la géométrie* de Hilbert de l'existence d'une pluralité de géométries non-euclidiennes cohérentes, la philosophie kantienne avait perdu pour lui tout son charme et sa crédibilité. La possibilité de développer une géométrie non-euclidienne allait contre l'opinion, répandue à l'époque, selon laquelle l'idéalisme transcendantal devait s'appuyer sur le caractère évident de la géométrie euclidienne devant l'imposer *à l'exclusion de toute autre.*

Cet argument est en réalité un argument assez faible contre l'idéalisme transcendantal. Les néo-kantiens avaient montré que le caractère d'*évidence exclusive* de la géométrie euclidienne n'était pas un réquisit pour rendre cohérente la position de l'idéalisme transcendantal de l'espace. On peut même trouver chez Kant lui-même des affirmations qui montreraient une certaine latitude à l'égard des axiomes de la géométrie. Mais ce genre d'argument était relayé par d'autres membres du réseau de Göttingen qui n'avaient pas ou peu de connaissance des

développements néo-kantiens. D'autre part, le cercle de Vienne contribuait à la diffusion de telles opinions. Weyl semble ne jamais être revenu sur son opinion à l'égard de la philosophie kantienne ni d'ailleurs sur les textes kantiens pour lesquels il semble n'avoir gardé qu'un souvenir de lycéen.

Même si ce premier argument semble suffisant à Weyl pour le rejet de la philosophie kantienne, nous devons cependant explorer les autres arguments contre l'idéalisme transcendantal qui circulaient à l'époque depuis l'émergence de la théorie de la relativité. Nous verrons par-là en quoi le rejet par Weyl de l'idéalisme transcendantal n'est pas dû simplement à une connaissance superficielle de la position kantienne mais est partiellement justifié par des traits internes à la théorie de la relativité.

On peut relever d'abord trois principaux arguments concernant la théorie de la relativité restreinte qui circulaient à l'époque contre l'idéalisme transcendantal. La théorie de la relativité restreinte réfutait en effet certaines positions (prétendument) essentielles pour l'idéalisme transcendantal : 1) l'irréversibilité du temps, 2) la séparation du temps et de l'espace et 3) la nécessité d'un principe de relativité général. On pourrait montrer (j'y reviendrai éventuellement dans les questions) que ces trois arguments ou bien ne sont fondés que sur une mauvaise connaissance de la philosophie kantienne, ou bien réfutent la philosophie kantienne stricto-sensu mais non pas l'idéalisme transcendantal en général.

Par contre, un dernier argument, concernant cette fois la théorie de la relativité générale, nous semble plus pertinent. Cette réfutation s'appuie sur un trait essentiel de la théorie dont Weyl avait évidemment conscience. Il s'agit du fait que l'espace de la théorie de la relativité générale est ce qu'on peut appeler un « espace-contenu » par opposition à un « espace-forme ». Nous voulons signifier par là que la *forme métrique* de l'espace, qui est ce qu'il y a d'objectif dans l'espace relativiste, ce qui est le résultat même du processus dé-subjectivant, ne peut être donnée *a priori* car elle

est interdépandante du contenu de l'espace c'est-à-dire de la répartition de l'énergie-matière dans le secteur spatio-temporel étudié.

Cet argument contre l'idéalisme transcendantal est plus fort puisque ce qui est remis en cause est la distinction kantienne entre, *d'un côté,* la forme (espace ou temps) supposée déterminée *a priori* et, d'un autre côté, la matière (contenu physique de l'espace) qui seule était supposée déterminée par l'expérience. Tout idéalisme transcendantal qui accepte ce mode de séparation est incompatible avec la théorie de la relativité générale. L*a forme métrique de l'espace a autant de réalité physique que son contenu*. Le passage de l'objectivité de l'espace relativiste à sa *réalité physique* est donc jusitifé par un trait interne de la théorie de la relativité générale. Cela démontre que cette théorie, à défaut d'imposer une position épistémologique parfaitement déterminée, a au moins un contenu philosophique négatif : la réfutation d'une famille d'idéalisme transcendantaux que nous venons de caractériser.

Avant de conclure, remarquons que cette propriété de l'espace de la théorie de la relativité générale d'être un espace-contenu justifie en même temps l'affirmation selon laquelle la physique et la géométrie ont fusionné dans la *théorie de la relativité générale*. La géométrie ne peut qu'être physique. Il n'y a plus de barrière épistémologique de l'une à l'autre. Du même coup, nous allons voir que le conventionnalisme géométrique « à la Poincaré » est également partiellement réfuté. Revenons au texte suivant :

(Diapositive 9)

« […] la géométrie, la mécanique et la physique forment […] une unité théorique indissoluble, que l'on doit avoir *en bloc* devant les yeux, quand on se demande si ces sciences-là expriment rationnellement la réalité transcendante à la

conscience, mais dont on a connaissance par les états de conscience : la vérité forme un *système.* »

***Espace, Temps, Matière,* chapitre I, p57**

Ce texte montre bien que Weyl défend, comme Poincaré quelques années plus tôt, une forme de holisme. Nous appelons en général « holisme au sens de la thèse Duhem-Quine », une position sur les énoncés de la physique qui annonce qu'aucun énoncé pris individuellement ne peut être testé expérimentalement. Le rapport à l'expérience concerne toujours une théorie physique prise dans sa totalité. On voit qu'ici Weyl défend une telle position, non pas seulement à l'égard de la physique, mais à l'égard du complexe géométrico-physique. Une telle position avait déjà été défendue au début du siècle par Poincaré. Mais, chez ce dernier, l'holisme servait à démontrer le caractère conventionnel de l'espace. Pour Poincaré, la géométrie et la physique formaient des corps d'énoncés séparables. Ainsi, à la suite de tout désaccord entre la théorie physique et l'expérience, on avait toujours le choix entre changer de géométrie ou changer de loi physique. Et Poincaré avait pris résolument le second parti pour sauver le caractère *a priori*, non-révisable de la géométrie, telle qu'elle était conçue classiquement. Mais cette séparation des énoncés géométriques et physiques n'est plus possible dans la théorie de la relativité générale. Hermann Weyl a pris acte de ce fait et son holisme à l'égard du complexe géométrico-physique ne permet pas de conclure au caractère conventionnel de l'espace mais au contraire à sa *réalité physique* au même titre que le *contenu* spatio-temporel.

En conclusion, nous avons montré une partie de la richesse de la pensée épistémologique d'Hermann à l'égard de la théorie de la relativité, et en particulier concernant la place du sujet connaissant dans les deux volets mathématiques et physique cette théorie. Cette richesse de la pensée épistémologique d'Hermann Weyl demande cependant un véritable travail historique et conceptuel pour pouvoir être correctement appréciée.

Travail historique d'abord parce que la pensée d'un auteur ne nait pas isolément mais en dialogue avec son époque et son environnement intellectuel. Ainsi, on a vu que le réalisme physique de Weyl s'est construit dans un rapport positif à un certain réalisme ambiant à Göttingen même mais également dans un rapport négatif à une certaine image de l'idéalisme transcendantal véhiculée à cette époque dans l'environnement intellectuel de Weyl.

Travail historique donc mais travail conceptuel aussi. Parce qu'une théorie comme la théorie de la relativité générale s'appuie sur des notions primitives dont les rapports sont complexes et qui, pourvu qu'on prenne la peine de les expliciter par un travail épistémologique correctement mené, sont lourdes de conséquences philosophiques. La théorie de la relativité générale n'est ainsi pas neutre philosophiquement. Elle a au moins un contenu philosophique négatif au sens où certaines positions philosophiques, à défaut d'être tranchées par la théorie de la relativité générale, doivent néanmoins prendre de nouvelles formes pour prendre acte de l'avancée scientifique. (Nous l'avons montré à propos du débat entre le réalisme physique et l'idéalisme transcendantal, mais nous pourrions le montrer sur d'autres questions comme, par exemple, le débat entre une conception substantielle et une conception relationnelle de l'espace, débat ouvert par la controverse Leibniz-Newton…)

Enfin, nous avons montré en quoi la théorie de la relativité générale réorganisait d'une façon radicale les différentes sphères de la connaissance scientifique : la géométrie et la physique fusionnent, un nouveau mode d'objectivité et de réalité physique voit le jour.

Dans ce bouleversement épistémologique opéré par la théorie de la relativité, Weyl joue un rôle clef. Il n'est pas qu'un simple objet de curiosité pour l'histoire des idées. La façon dont il pense l'objectivité physique comme le résultat d'une explicitation de la part du sujet de la position particulière qu'il occupe dans le monde, et d'une abstraction (mathématique) de cette position par la donnée des lois de covariance, reste jusqu'à ce jour au cœur de toutes les approches scientifiques de

l’espace. La physique relativiste a même évolué dans cette direction, mettant de plus en plus l’accent sur les notions de symétries et de covariances chères à Weyl. En ce sens, on peut dire que la science d’aujourd'hui est plus proche de l’esprit de Weyl que celle de son temps.

En rendant compte de la forme de réalisme physique de Weyl à l’égard de l’espace, nous avons de plus jeté certains ponts entre sa façon de concevoir les mathématiques et sa façon de concevoir la physique. Nous avons vu en particulier en quel sens le principe d’abstraction, au cœur même du type d’idéalisme mathématique que défend Weyl dans *Le Continu*, est une condition pour penser correctement le principe de relativité. Il resterait encore à montrer si ces ponts jetés entre la sphère mathématique et la sphère physique sont suffisants pour dissiper la grande interrogation épistémologique qui nait de la constatation étonnante d’une apparente harmonie préétablie entre la nature physique et l’esprit mathématique.