



**HAL**  
open science

# L'unité de la pensée épistémologique d'Hermann Weyl sur la notion d'espace

Julien Bernard

► **To cite this version:**

Julien Bernard. L'unité de la pensée épistémologique d'Hermann Weyl sur la notion d'espace. Journée "Hermann Weyl", Sphere-Rheseis, org. A.Afriat et C.Eckes, May 2011, Paris, France. hal-00655903

**HAL Id: hal-00655903**

**<https://hal.science/hal-00655903>**

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.

*Journée « Hermann Weyl », Rheseis, Paris, 12 mai – 2011, organisée par A.Afriat et C.Eckes*

**L'unité de la pensée épistémologique  
de Weyl sur la notion d'espace**

Bernard Julien,

CEPERC, Université de Provence  
29 av. Robert Schuman, 13621 Aix-en-Provence

[ju\\_bernard@yahoo.fr](mailto:ju_bernard@yahoo.fr)  
[www.philo-bernard.fr](http://www.philo-bernard.fr)

### **Préambules :**

Bonjour. Je remercie les organisateurs de cette journée pour cette invitation. C'est un grand plaisir et une opportunité intéressante pour moi de venir parler d'Hermann Weyl. C'est l'auteur sur lequel je viens d'achever ma thèse au mois de novembre. Depuis lors, je ne travaille plus principalement sur Weyl, puisque je travaille dans le cadre de l'ANR Gödel, sur les manuscrits inédits de Kurt Gödel.

Cependant, je reste tout de même en contact avec la pensée de Weyl puisque je suis en train de rédiger des articles techniques en relation avec ma thèse, et je prépare avec Eric Audureau à Aix-en-Provence une traduction française commentée de l'*Analyse mathématique du problème de l'espace*, texte important de Weyl.

Pour aujourd'hui, on m'a demandé de proposer une intervention avec une partie un petit peu générale sur Weyl pour les non spécialistes de cet auteur, et une partie un plus technique pour les spécialistes. Je vais donc essayer de répondre à cette double exigence en traitant du thème de l'unité de la pensée épistémologique de Weyl à propos de la notion d'espace.

Je vais commencer directement en exposant les présupposés méthodologiques qui ont été les miens, et en exposant les résultats auxquels j'ai aboutis. Je reviendrai ensuite, si le temps le permet, sur les raisons qui justifient les choix méthodologiques qui ont été les miens pour aborder la pensée de Weyl.

(\*\*\*\*\*)

## **1 Méthodologie pour aborder la question de l'unité du travail philosophique de Weyl**

(\*\*\*\*\*)

Pour poser la question de l'unité de la pensée épistémologique de Weyl, nous avons mis de côté essentiellement la question de son rapport à la tradition philosophique, pour étudier les différentes thèses philosophiques qu'il fait siennes et qui lui servent véritablement de support *pour son travail scientifique*. Avec un tel point de vue interne au travail scientifique de Weyl, on va voir que l'unité de sa pensée ne va pas de soi.

On ne va pas considérer, dans ce qui suit, l'intégralité de la pensée philosophique de Weyl. Nous nous restreignons en fait à sa pensée de l'espace-temps. C'est une restriction qui n'est pas très coûteuse dans la mesure où l'essentiel de la réflexion philosophique de Weyl tient en deux thématiques : 1) l'espace-temps, et 2) la nature de la matière et de ses rapports à l'espace-temps. Notre restriction au premier grand thème correspond naturellement à une restriction chronologique. En effet, c'est à partir de 1923 que la réflexion de Weyl va progressivement évoluer, dans la mesure où il va peu à peu basculer son centre d'intérêt de la notion d'espace-temps vers la matière. Ce basculement coïncide (sans qu'il faille forcément y voir une relation de cause à effet) avec l'avènement d'une mécanique quantique mature, et la focalisation de Weyl sur la classification des groupes continus.

(\*\*\*\*\*)

A présent, quand on regarde la production de Weyl pendant la période 1917-1923, pour interroger son unité, la très grande majorité de sa production concerne la notion d'espace, corrélée ou non avec la notion de temps, et prise d'un point de vue purement mathématique, ou en corrélation avec la physique.

(Cf. le tableau, page suivante)

A côtés des articles, on trouve deux monographies majeures : *Das Kontinuum*, ouvrage publié en 1918 sur les fondements de l'analyse, et *Espace-Temps-Matière*, monographie sur la géométrie dans ses rapports à la physique, en particulier à la nouvelle théorie de la relativité générale. Les cinq éditions de cet ouvrage s'échelonnent de 1917 à 1923. C'est le grand texte de la synthèse de la pensée de Weyl sur l'espace. Mais il est difficile à exploiter directement dans la mesure où Hermann Weyl y mêle sa propre pensée avec une reconstruction historique et génétique des concepts de la géométrie et de la théorie de la relativité.

Quand on regarde ces différentes productions et qu'on se focalise sur les thèses philosophiques qui y sont défendues, l'unité de la pensée de Weyl à propos de la notion d'espace ne va pas de soi. Voici, selon nous, les thèses majeures qu'on rencontre dans ses écrits, à propos de la

*Bernard Julien, [www.philo-bernard.fr](http://www.philo-bernard.fr)*

notion d'espace, et que nous allons pour l'instant simplement juxtaposer pour montrer leur diversité, leur caractère apparemment hétéroclite.

**PRINCIPALES PUBLICATIONS De Weyl (1917-1923)**

**MONOGRAPHIES**

*Raum-Zeit-Materie*. 5 éditions : 1918, 1918, 1919, 1921, 1923

*Das Kontinuum*: 1918

**ARTICLES**

**Géométrie infinitésimale pure et théorie unifiée des champs de Weyl :**

1918: *Reine Infinitesimalgeometrie*, 1918: *Gravitation und Elektrizität*, 1918: *Ein neue Erweiterung der Relativitätstheorie*, 1920: *Elektrizität und Gravitation*, 1921: *Zur Infinitesimalgeometrie: Einordnung der projektiven und konformen Auffassung*, 1921: *Über die physikalischen Grundlagen der erweiterten Relativitätstheorie*, 1921: *Feld und Materie*, 1921: *Electricity and Gravitation*, 1922 : *Zur Infinitesimalgeometrie: p-dimensionale Fläche im n-dimensionalen Raum*

**Autres articles sur la théorie de la relativité générale et la gravitation:**

1917: *Zur Gravitationstheorie*, 1919 : *Über die statischen kugelsymmetrischen Lösung von Einsteins « Kosmologischen » Gravitationsgleichungen*, 1923: *Entgegnung auf die Bemerkungen von Herrn Lanczos über die de Sittersche Welt*, 1919: *Bemerkung über die axialsymmetrischen Lösung der Einsteinschen Gravitationsgleichungen*, 1920: *Die Einsteinsche Relativitätstheorie*, 1922: *Neue Lösungen der Einsteinschen Gravitationsgleichungen*, 1922: *Die Relativitätstheorie auf der Naturforscherversammlung*, 1923: *Zur allgemeinen Relativitätstheorie*

**Articles/Conférences sur le problème de l'espace:**

1921: *Das Raumproblem* (1ère partie), 1922: *Die Einzigartigkeit der Pythagoreischen Maßbestimmung*, 1922: *Das Raumproblem*(2ème partie), 1923: *Zur Charakterisierung der Drehungsgruppe*, 1923: *Mathematische Analyse des Raumproblems* (non publié dans [GA])

## Principales thèses de Weyl sur l'espace pendant la période 1917-1923

### UN IDEALISME DE L'ESPACE

Cela se manifeste chez Weyl par des affirmations comme « L'espace est la forme des apparences », ou il est « la forme de notre intuition ».

### L'HOMOGENEITE, PROPRIETE ESSENTIELLE DE L'ESPACE

Cette homogénéité est comprise comme possibilité de déplacer un objet géométrique en n'importe quelle portion de l'espace(-temps), et la possibilité pour le sujet de retrouver les mêmes apparences de l'objet après que ce dernier se soit déplacé, pourvu que le sujet lui-même se soit déplacé corrélativement.

### LA « VRAIE » GEOMETRIE EST LA GEOMETRIE DE RIEMANN

La « vraie » géométrie, celle qui de droit peut s'appliquer au monde physique, s'avère être la géométrie différentielle telle qu'elle a été développée par Bernhard Riemann, ou plutôt une version généralisée de celle-ci où la notion mathématique de connexion structure adéquatement chacune des strates de la géométrie.

### UN RATIONALISME QUANT A LA NATURE DE L'ESPACE

Légitimité pour la raison de légiférer sur la notion d'espace. Les concepts de la géométrie reposent sur des exigences rationnelles et ne sont pas expérimentaux.

Par ses réquisits, la raison achève de déterminer de manière univoque la nature de l'espace.

### LA SCIENCE DE L'ESPACE OPERE PAR ELIMINATION DU SUJET,

Le système de coordonnées est la trace résiduelle inévitable de cet Ego que la géométrie doit par ailleurs éliminer.

### L'APPEL RIEMANNIEN A LA PHYSIQUE POUR DETERMINER LES STRUCTURES METRIQUES

Einstein a confirmé la position de Riemann selon laquelle le champ des relations métriques doit être déterminé par des propriétés physiques de la matière.

### UNE VISION ALGEBRIQUE DE LA GEOMETRIE.

Il affirme que la notion fondamentale de toute la géométrie est celle du groupe des congruences.

Ce n'est pas les droites, les plans et les points qui sont les objets premiers de la géométrie mais les transformations (projectives, affines, conformes, métriques)

### HOLISME GEOMETRICO- PHYSIQUE.

Weyl nous apprend que seule la totalité formée par la géométrie + physique peut être comparée avec la réalité empirique

### FUSION POSSIBLE DE LA PHYSIQUE ET DE LA GEOMETRIE

Weyl croit en la possibilité d'une théorie unifiée des champs de nature géométrique. L'espace, si on dévoile complètement la structure complexe dont il est muni, doit rendre compte simultanément et de manière harmonieuse de tous les types d'interactions physiques.

Toutes ces positions sont des leitmotifs de la pensée de Weyl dans les années 1917-1923, qui sont répétés aussi bien dans ses grandes monographies que dans ses articles scientifiques. La plupart de ces thèses perdureront après cette période.

À première vue, ces positions sont hétéroclites et semblent même contradictoires sur certains points. Montrer l'unité de la pensée épistémologique de Weyl, à propos de la notion d'espace, c'est notamment parvenir à montrer comment s'articulent ces différentes thèses récurrentes dans ses écrits, et en particulier dépasser les apparentes oppositions.

Les oppositions les plus flagrantes qui apparaissent entre ces thèses sont :

- 1) Comment concilier l'idéalité de l'espace avec l'affirmation que la science de l'espace fonctionne par élimination du sujet ?**
- 2) Comment concilier le fait que la propriété essentielle de l'espace soit l'homogénéité avec la position selon laquelle la véritable géométrie soit celle de Riemann, voire une variété à connexion (C'est étonnant les espaces de Riemann sont précisément le prototype même des géométries qu'on nommerait métriquement hétérogènes)**
- 3) Comment concilier l'idée que c'est la raison et non pas l'expérience qui légifère dans le domaine des fondements de la géométrie, avec l'idée selon laquelle les relations métriques sont déterminées par les lois physiques d'interaction de la matière ?**

## **2 Connexions les plus faciles à établir entre ces thèses**

Pour lever la première contradiction apparente, il faut distinguer entre deux types de subjectivité apparaissant dans la pensée de Weyl.

Le premier type de subjectivité auquel on peut s'intéresser dans la pensée de Weyl, c'est le sujet au sens d'une entité individuelle, incarnée, et qui, par l'intermédiaire de son corps, occupe une place singulière dans le monde. En fait, cette première notion de sujet est la seule à laquelle Weyl réserve la terminologie de « sujet » [Subjekt]. C'est pourquoi on comprend que, pour Weyl, l'objectivité du savoir géométrique soit gagnée par une élimination du sujet. En fait, par « élimination du sujet », il faut comprendre que l'objectivité de la géométrie doit s'obtenir en « neutralisant » la singularité de la place qu'occupe le sujet-observateur dans le monde géométrique. On ne peut éviter d'introduire la place du sujet à travers la donnée du système de coordonnées. Mais aussitôt après avoir accompli notre description de l'espace depuis ce point de vue singulier, on s'abstrait de la

singularité de ce point de vue par la possibilité de basculer indifféremment d'un système de coordonnées à un autre. C'est le sens que Weyl donne au *principe de relativité*.

Ainsi, quand il a en tête cette notion de sujet (et c'est très souvent le cas) et quand il affirme alors le caractère idéal de l'espace, (\*\*\*\*\*) Weyl, nous semble-t-il, ne veut pas signifier quelque chose comme un idéalisme transcendantal. Il veut plutôt signifier que les structures de l'espace ne peuvent être données numériquement qu'après la détermination d'un certain nombre de paramètres contingents qui représentent la place singulière occupée par le sujet dans le monde. Ce sont tous ces paramètres contingents, pris ensembles, qui constituent ce qu'on appelle le système de coordonnées, et qui permettent la mesure numérique des grandeurs physiques. L'exemple le plus simple de tel paramètre contingent est la distinction entre l'Ici et l'Ailleurs, marque de l'emplacement local du sujet, et qui devient en mathématiques, le choix de l'origine 0 des coordonnées.

Maintenant, ces Egos sont autant de points de vue possibles sur une réalité structurelle de l'espace qui, quant à elle, n'a plus rien de subjectif *en ce sens là de la subjectivité*. Ce qui se laisse exprimer dans chacun des systèmes de coordonnées possibles c'est une structure qui peut être projective, affine, conforme ou métrique, et qui se trouve exprimée d'une façon équivalente à travers chacun des points de vue constitués par les systèmes de coordonnées. **Conformément à la vision algébrique de la géométrie (\*\*\*\*\*)**, **ces structures sont en fait exprimées à travers l'étude du groupe des transformations qui les préservent. Le caractère algébrique de la notion d'espace se manifeste donc** sous autant de formes équivalentes qu'il y a de sujets-coordonnées possibles. Le fait qu'il y ait une structure unique qui se dégage derrière toutes les différentes représentations subjectives de l'espace est précisément ce que Weyl appelle l'homogénéité de l'espace. (\*\*\*\*\*) **En effet**, L'espace n'est pas seulement homogène vis-à-vis de ses points, mais plus généralement vis-à-vis des différents systèmes de coordonnées. Cette homogénéité a une fonction épistémique essentielle. Elle exprime une forme d'intersubjectivité, une possibilité *a priori* de passer indifféremment d'un point de vue subjectif à un autre, pour la description **d'une même** réalité géométrique sous-jacente. Ainsi l'espace se présente comme une structure qui peut s'exprimer algébriquement, et l'homogénéité de cette structure est le fondement de l'objectivité (intersubjectivité) géométrique.

A présent, cette structure géométrique unique qui se dévoile lorsqu'on s'abstrait de la particularité du système de coordonnées choisi, a un caractère subjectif dans un sens nouveau de la subjectivité. C'est en effet pour Weyl, la raison qui impose ses exigences et qui conduit à déterminer *a priori* quelles sont les bonnes structures que l'on doit poser pour faire de la géométrie. Cette idée d'une détermination des structures de l'espace par la raison atteindra son apogée dans la pensée de Weyl entre 1921 et 1923, lorsqu'il parviendra à résoudre ce qu'il appelle *l'analyse mathématiques du problème de l'espace*.

C'est-à-dire qu'il montrera que certains réquisits de la raison suffisent pour déterminer notre choix vers une forme unique des relations métriques. On y reviendra

A travers cette détermination par la raison, on aperçoit chez Weyl quelque chose que nous aimerions appeler une nouvelle forme d'idéalité de l'espace. Mais ici l'idéalité ne renverrait plus à un sujet singulier et incarné, situé en un emplacement contingent du monde. Ici, « idéalité » renverrait plutôt au fait que nous donnons à l'espace une forme qui est commune à tous les sujets empiriques, au-delà de leurs singularités. Cette idée est présente chez Weyl. Et c'est sans doute pourquoi, à juste titre, les commentateurs le rangent parmi la famille (au sens large) des idéalismes transcendants. Mais, en revanche, il faut bien voir que Weyl refuse d'utiliser les termes de « sujet » ou d'« idéalité » pour parler de cette forme commune à chaque sujet individuel, et qui est au fondement de la possibilité pour eux de partager une même expérience géométrique. Autrement dit, il y a bien des facultés du sujet chez Weyl au cœur de la détermination des structures géométriques, mais, à la lettre, il refuse de parler dans les termes d'un *sujet transcendantal*.

### **3 L'apparente dualité de la notion d'espace chez Weyl**

Quand on est lecteur d'*Espace-Temps-Matière* et qu'on commence ainsi à établir les ponts entre les différentes thèses de Weyl sur la notion d'espace, on voit se dessiner à première vue *non pas* une unité de la pensée de Weyl sur l'espace, mais plutôt une dualité.

D'une part, on a vu, à l'instant, se dessiner (\*\*\*\*\*) une *notion mathématique* d'espace. Il s'agit d'une forme, par essence homogène, et dont la nature est fixée *a priori* et qui peut s'exprimer algébriquement. Cet espace mathématique est déterminé par des exigences de la raison. Enfin, l'homogénéité de cet espace fonde en fait l'objectivité de la géométrie.

D'autre part, les thèses de Weyl dont on n'a pas encore traité se relient facilement les unes aux autres, et dessinent ce qu'on pourrait convenir d'appeler, *contre l'usage de Weyl*, une (\*\*\*\*\*) notion physique d'espace. En effet, Weyl défend que la véritable géométrie, est celle de Riemann (ou une généralisation de celle-ci). Cependant, la notion d'espace de Riemann ne détermine pas univoquement le champ des relations métriques. Une fois qu'on a la notion abstraite du champ métrique  $g_{\mu\nu}(x)$ , encore faut-il déterminer la valeur contingente des fonctions  $g_{\mu\nu}(x)$ . Ici, aucune analyse *a priori* ne peut justifier un **tel** choix. (\*\*\*\*\*) L'appel à la physique est alors inévitable. Einstein nous permet de préciser que c'est la (\*\*\*\*\*) gravitation qui est le phénomène physique qui achève de déterminer la métrique. Gravitation et géométrie ont fusionné en une seule discipline et le holisme en découle naturellement. (\*\*\*\*\*) De plus, cela nous encourage à avoir un espoir, celui de trouver une théorie des champs unifiée qui soit de nature entièrement géométrique, **et qui achève la fusion du physique avec la géométrie.** (\*\*\*\*\*)

Ainsi, on voit ici nettement se dessiner deux notions d'espace dans la pensée de Weyl. Et ces deux notions sont d'autant plus facilement discernables l'une de l'autre qu'elles ont des caractères opposés. D'un côté, nous avons une notion mathématique d'espace. Elle est

caractérisée avant tout par son homogénéité. Ces caractères algébriques sont posés *a priori*. Enfin, elle est le lieu où la raison est souveraine et impose ses exigences.

De l'autre, on a une notion *physique* d'espace. Le champ métrique d'Einstein est une entité dynamique dont les propriétés ne peuvent être imposées *a priori*. Ce sont les interactions de la matière qui déterminent sa structure. Et une conséquence de ce lien entre la matière et le champ métrique, c'est la nécessaire hétérogénéité de cet espace vis-à-vis des relations métriques.

Nous allons voir que ces deux concepts, que nous appellerons pour simplifier le concept mathématique d'espace et le concept physique d'espace, ne forment pas véritablement une dualité irréductible dans la pensée de Weyl.

(\*\*\*\*\*)

La première raison est purement terminologique, mais elle peut être significative. En effet, Weyl réserve le terme d'espace « Raum » uniquement à ce que *nous* avons décidé d'appeler « espace mathématique ». C'est donc cette partie de la spatialité qui est homogène et qui est le lieu où la raison est souveraine. Quand il veut parler du champ gravitationnel d'Einstein, Weyl évite soigneusement d'employer le terme « espace ». Il parle plus volontiers de « la métrique » ou du « champ gravitationnel ». De ce point de vue purement terminologique, il y a donc une seule notion d'espace chez Weyl et celle-ci semble tout à fait cohérente comme nous l'avons montré.

Une deuxième raison plus fondamentale tient aux liens qu'entretiennent ces deux notions dans la pensée de Weyl. Une lecture superficielle d'*Espace-Temps-Matière* pourrait nous faire penser que ces deux notions seraient deux moments où une notion (la notion physique d'espace d'Einstein), viendrait se substituer à une autre notion (la notion mathématique d'espace de Klein) par un mouvement historique de la pensée. De fait, il est vrai que la notion mathématique d'espace est surtout développée dans le premier chapitre d'*Espace-Temps-Matière*, au moment où Weyl développe la géométrie euclidienne qui sera ensuite abandonnée. La considération des espaces de Riemann, et l'appel nécessaire à la physique pour la détermination de la métrique interviennent dans le chapitre 2. Le tour partiellement historique de l'écriture de Weyl pourrait nous faire penser qu'une certaine conception mathématique de l'espace, exemplifiée par la géométrie d'Euclide, et que les kantians avaient voulu lier nécessairement à une forme de notre sensibilité, auraient été remplacée, après le triomphe de la physique d'Einstein, par une notion physique et dynamique de l'espace.

Une telle lecture chronologique ne rend pas justice à l'unité de la pensée épistémologique de Weyl. Non seulement, Weyl continue bel et bien dans ses écrits postérieurs à l'avènement de la théorie de la relativité générale, à affirmer les traits caractéristiques de l'espace qui correspondent à ce que nous avons appelé l'« espace mathématique ». Mais on a même un texte où Weyl montre que toute sa pensée géométrique n'a pu se développer de manière cohérente et unifiée, que parce qu'il cherchait à dépasser cette

opposition entre l'espace mathématique et l'espace physique. Weyl voulait concilier sa vision idéaliste, rationaliste et algébrique de l'espace avec la conception Riemanno-Einsteinienne des relations métriques déterminées par la matière.

Il y a un texte dans *Espace-Temps-Matière* dans lequel je soutiens qu'on peut trouver le problème clef qui a permis à Weyl de construire une philosophie de l'espace cohérente. Ce texte se trouve précisément à un moment charnière d'*Espace-Temps-Matière*, à la fin du chapitre 2, au paragraphe 12. C'est le moment où, après avoir développé sa notion mathématique d'espace, Weyl demande au lecteur de reconnaître la validité du raisonnement épistémologique de Riemann qui conduit à faire appel à la physique pour déterminer les coefficients de la métrique.

Outre qu'il est central pour comprendre l'unité de la pensée de Weyl, ce texte a attiré mon attention en tant qu'il comporte un raisonnement analogue à ce que les historiens des sciences appellent l'*argument du trou* chez Albert Einstein.

Comparons brièvement les deux textes.

(\*\*\*\*\*)

Dans « l'argument du trou », Albert Einstein pose que le principe de Mach, c'est-à-dire le principe de la détermination de l'inertie par la matière, doit être pensée comme une détermination de la métrique par la matière. La matière doit être représentée par le tenseur énergie-impulsion  $T_{\mu\nu}$ . Et la détermination de la métrique par la matière doit prendre la forme d'une égalité tensorielle entre le  $T_{\mu\nu}$  et un tenseur  $G_{\mu\nu}$ , représentant indistinctement l'inertie et la gravitation, et qui est une fonction de la métrique et de ses dérivées. Ce sont les équations du champ. Einstein demande alors qu'on considère une portion de l'espace où aucune matière n'est présente, un « trou ». On part d'une solution supposée  $(T_{\mu\nu}(x), g_{\mu\nu}(x))$  aux équations du champ. On considère alors un changement de coordonnées qui se réduit à l'identité en dehors du trou, mais qui est différent de l'identité dans le trou. Cela nous conduit à une seconde solution  $(T'_{\mu\nu}(x'), g'_{\mu\nu}(x'))$  des équations du champ. En raison de la présence du trou,  $T'_{\mu\nu} = T_{\mu\nu}$ . Pour l'instant, cette seconde solution exprime le même contenu physique dans un autre système de coordonnées. Einstein nous demande ensuite de modifier notre interprétation de la transformation  $x \rightarrow x'$ . Au lieu d'un changement de coordonnées, on va l'interpréter comme un déplacement des deux champs  $T_{\mu\nu}$  et  $g_{\mu\nu}$  à même la variété spatio-temporelle. Le changement de coordonnées devient donc ce qu'on appelle parfois aujourd'hui une « transformation active ». Et les deux champs sont tractés par cette transformation active. Le résultat de tout ceci est qu'on est conduit à une nouvelle solution  $(T_{\mu\nu}(x), g'_{\mu\nu}(x))$ . Autrement dit, on a conservé les fonctions mathématiques  $T_{\mu\nu}$  et  $g'_{\mu\nu}$ , obtenues par notre changement de coordonnée initial, et on les a appliquées non pas aux nouvelles coordonnées  $(x')$  mais aux anciennes  $(x)$ . On se trouve au final avec deux solutions  $(T_{\mu\nu}(x), g_{\mu\nu}(x))$  et  $(T_{\mu\nu}(x), g'_{\mu\nu}(x))$  des équations du champ qui expriment une même répartition de la matière mais deux répartitions de la métrique  $g_{\mu\nu}(x)$  et  $g'_{\mu\nu}(x)$  différentes. Ainsi, le principe de Mach semble violé.

Dans « l'argument de la boule d'argile » (je l'appelle comme ça car Weyl remplace le trou d'Einstein par une boule d'argile), Weyl pose une version du principe de Mach très forte, à savoir que le champ métrique  $g_{\mu\nu}$  est entièrement déterminé par la matière, elle-même réduite à une pluralité de fonctions scalaires  $\rho(x)$ . Weyl demande alors qu'on considère une portion de l'espace avec de la matière. Pour simplifier, il n'y aura rien d'autre dans l'espace qu'une boule d'argile. On part d'une configuration  $(\rho(x), g_{\mu\nu}(x))$ . On suppose ensuite que la matière se déplace. Cela va se traduire par une transformation active qui se traduit numériquement par :

$$\rho(x) \rightarrow \rho'(x)$$

Maintenant, on applique une transformation passive (un changement de coordonnées) pour que la nouvelle répartition de la matière s'exprime dans les nouvelles coordonnées avec la même relation fonctionnelle que l'ancienne répartition de la matière dans le premier système de coordonnées.

Ainsi, on passe de

$$\rho'(x) \text{ à } \rho(x')$$

Weyl interprète cela en disant que si un observateur se place au point  $x'$  de notre second système de coordonnées, après la reconfiguration de la matière, il attribuera à la matière les mêmes propriétés intrinsèques que celles que lui attribuait l'observateur placé au point  $x$  du premier système de coordonnées avant la reconfiguration. Ainsi, les propriétés intrinsèques de la matière n'ont pas changé.

Voyons à présent si les propriétés métriques de notre boule d'argile ont changé.

Cela dépend répond Weyl. Si la métrique avait un caractère absolu comme chez Newton, indépendante de la matière, alors on aurait d'abord  $g'_{\mu\nu}(x) = g_{\mu\nu}(x)$ . C'est-à-dire que le déplacement de la matière n'entraînerait aucun changement de la métrique. Mais alors, lorsqu'on appliquerait le changement de coordonnées, les nouvelles fonctions  $g'_{\mu\nu}(x')$  différeraient de  $g_{\mu\nu}(x)$ . Ainsi, les relations métriques entre les parties de la boule d'argile se seraient modifiées. On arriverait donc à la conclusion qu'un mouvement rigide de notre boule d'argile serait impossible. Tout mouvement impliquerait une déformation. Alors l'homogénéité de l'espace serait contredite.

Mais, Weyl s'en sort par une pirouette étonnante. En effet, il nous dit que, si on accepte l'idée Riemanno-Einsteinienne que la métrique est déterminée par la matière, alors la situation est différente. C'est-à-dire que la métrique  $g'_{\mu\nu}(x)$ , après le déplacement de la matière, se sera modifiée pour suivre précisément le mouvement de la matière.  $g'_{\mu\nu}(x) \neq g_{\mu\nu}(x)$ . Et, quand on change ensuite le système de coordonnées, ce qui correspond à déplacer l'observateur simultanément avec la métrique et la matière, alors les relations métriques fonctionnelles  $g'_{\mu\nu}(x')$  redeviennent identiques à celles qu'elles étaient avant le déplacement de la matière :

$$g'_{\mu\nu}(x') = g_{\mu\nu}(x)$$

Ainsi, la boule d'argile n'a pas à changer de forme quand elle se déplace dans le monde Riemanno-Einsteinien. L'homogénéité de l'espace est sauvée conclut Weyl.

Ce texte de Weyl, étrangement analogue à l'argument du trou d'Einstein, est intéressant à un double titre.

(\*\*\*\*\*)

Le premier intérêt de ce texte ressort quand on fait une analyse comparative de l'argument de la boule d'argile de Weyl avec l'argument du trou d'Albert Einstein. Le résultat de cette comparaison nous montre certaines faiblesses techniques de l'argument de Weyl, qui ne nous intéressent pas directement aujourd'hui pour la question de l'unité de la pensée épistémologique de Weyl, mais qui sont très intéressantes du point de vue épistémologique, par ce qu'elles nous apprennent plusieurs choses sur le principe de Mach. Je me contente donc uniquement de quelques mots sur ce point.

(\*\*\*\*\*)

D'abord, en ce qui concerne les similarités entre l'argument d'Einstein et celui de Weyl, on voit que l'analogie va assez loin. Les deux arguments partent du principe de Mach et jouent sur la possibilité d'interpréter indifféremment une transformation comme active ou passive, pour produire au final une contradiction apparente, manifestant un point d'articulation problématique dans les rapports du mathématique au physique. Chez Einstein la contradiction est la violation du principe de Mach. Chez Weyl, la contradiction, comme on va le voir, est l'impossibilité du mouvement. Pour ce qui est de la distinction entre transformation passive et transformation active, il s'agit d'une manière contemporaine de parler, mais qui recouvre quelque chose d'essentiel dans les arguments d'Einstein et de Weyl. Mathématiquement, dans n'importe quelle variété, on peut passer automatiquement d'une interprétation active à une interprétation passive. La traduction réciproque n'est pas possible en général mais j'ai montré que, dans les cas restreints qui intéressent Weyl et Einstein, la traduction est possible.

(\*\*\*\*\*)

Considérons maintenant les différences entre les arguments d'Einstein et de Weyl. Du point de vue technique, l'argument de Weyl est défaillant par rapport à celui d'Einstein parce que :

1) (\*\*\*\*\*) Weyl n'a pas tenu compte des enseignements de l'argument du trou d'Einstein. En effet, sa formulation du principe de Mach stipule que les *coefficients* de la métrique sont déterminés par la matière, alors précisément que l'argument du trou avait été surmonté par Albert Einstein en 1915 en comprenant que ce n'était pas les

*coefficients* de la métrique qui devaient être déterminés par la matière, mais seulement les relations métriques entre événements physiquement identifiables. La différence entre détermination des coefficients de la métrique, et détermination des relations métriques entre événements physiques, en théorie de la relativité générale, tient à ce qu'on appelle en général, une jauge mathématique, c'est-à-dire une forme de liberté conventionnelle entre plusieurs manières mathématiques de paramétrer une même réalité physique.

2) (\*\*\*\*\*) La modélisation de la matière par des fonctions scalaires conduit Weyl à exprimer un principe de Mach beaucoup plus fort que celui d'Einstein. En effet, dans la théorie de la relativité générale, ce n'est pas la métrique qui est déterminée directement par la matière mais le tenseur gravitationnel d'Einstein, qui est une fonctionnelle de la métrique et de ses dérivées. Et ce tenseur n'est pas déterminé par une matière scalaire, mais par le tenseur d'énergie-impulsion. Cette notion recouvre l'idée de la *densité* de l'énergie, de l'*impulsion* de l'énergie, c'est-à-dire qu'il s'agit d'une notion de « matière » qui est déjà porteuse d'une dimension métrique.

La version du principe de Mach qui est valable en théorie de la relativité générale ne relie pas l'ensemble des relations métriques à un temps  $t$  dans le cosmos à la répartition de la matière dans le cosmos au même instant. Plutôt, conformément à l'enseignement de la relativité restreinte, l'interaction entre métrique et matière ne peut se propager qu'à vitesse finie. Les équations d'Einstein expriment une interaction locale entre la matière et la métrique. Et la détermination de la métrique par la matière ne peut valoir que si elle est comprise dynamiquement, comme l'exigence d'une solution unique au problème de Cauchy.

Weyl, parce que le principe de Mach qu'il suppose n'a pas ce caractère dynamique, tombe dans une aporie en un sens plus problématique que celle d'Einstein. En effet, on a vu qu'il voulait sauver, dans un contexte de géométrie Riemannienne déterminée par la matière, la possibilité d'un déplacement rigide, possibilité qui exprimait l'homogénéité de l'espace. Toutefois, la conséquence de l'argument de la boule d'argile va beaucoup trop loin. Il ne montre pas seulement la possibilité, mais même la *nécessité* du caractère rigide de tout déplacement. Et comme l'argument vaut, quelle que soit la portion d'espace considérée. On peut prendre l'Univers dans sa globalité qui en vient, dans la situation de l'argument de la boule d'argile, à être complètement immobile. Comme dans la philosophie éléatique, ou en particulier dans le chemin de la vérité du *Poème* de Parménide, la possibilité même du mouvement semble contredite. Weyl dit nous dit que l'homogénéité de l'espace a été sauvée mais qu'il semble qu'on n'arrive même plus à comprendre la possibilité de malaxer une boule d'argile entre nos mains.

Cette aporie dans laquelle tombe Weyl, sans doute par excès de simplifications didactiques, nous apprend par contraste beaucoup sur le principe de Mach adopté par Einstein. L'argument de Weyl nous montre qu'une physique où le principe de Mach n'a pas le caractère dynamique qu'il a en théorie de la relativité générale, et où on pose qu'une notion de matière absolument dénuée de tout aspect métrique déterminerait univoquement la métrique. Une telle physique donc est une impossibilité logique. Et cette impossibilité

semble indiquer la nécessité de mettre au même plan ontologique matière et métrique, plutôt qu'à chercher à faire de la matière un substrat pour les propriétés métriques.

Je renvoie pour ces développements techniques à un article que j'ai proposé à la publication :

« *From the hole argument to the ball of clay argument* »

(\*\*\*\*\*)

J'en viens maintenant au deuxième intérêt de ce texte. Il s'agit à présent de quitter le point de vue comparatif avec l'argument d'Einstein et de montrer l'objectif interne du texte de Weyl par rapport à l'unité de son épistémologie.

On a dit plus haut que le raisonnement de Weyl semblait une pirouette étonnante. Et en effet, chez des penseurs de la géométrie comme Henri Poincaré ou Hermann Ludwig von Helmholtz, le point de vue de Riemann est fondamentalement opposé à l'idée même d'homogénéité de l'espace. Selon eux, si on veut garder un espace homogène, on doit éliminer tous les espaces à courbures variables, les espaces de Riemann, pour ne conserver que les trois espaces à courbures constantes. Chez Weyl, on observe un renversement qui produit un effet rhétorique étonnant. En effet, il nous dit que, pourvu qu'on n'oublie pas de joindre l'hypothèse Riemannienne de la dépendance de la métrique à l'égard de la matière, à l'hypothèse d'une courbure variable de l'espace, alors l'homogénéité de l'espace est automatiquement sauvée. Nos deux concepts mathématiques et physiques d'espace peuvent donc cohabiter. Et c'est là l'objectif du texte.

Si Weyl produit ce renversement, s'il peut faire paradoxalement de Riemann le sauveur de l'homogénéité de l'espace, c'est parce que la notion même d'espace a subi dans cette argumentation un déplacement crucial. En effet, en tant qu'elle a dû être déplacée simultanément avec la matière pour rétablir l'homogénéité, la métrique ne doit plus faire partie de la notion d'espace proprement dite, mais elle fait à présent partie du *contenu* de l'espace. Ainsi, si la solution de Weyl esquissée ici sauve bien la cohérence de sa pensée, en articulant la notion mathématique d'espace et la notion physique d'espace... En revanche elle concède trop à la notion physique d'espace. La notion mathématique d'espace, comme forme homogène, en tant qu'elle a été dépouillée de sa structure métrique, est alors réduite à la seule idée topologico-différentielle d'une variété. On peut montrer (je ne le ferai pas ici) qu'une variété différentiable est toujours homogène (au sens de Klein) quant à ses propriétés topologiques et différentielles.

(\*\*\*\*\*)

(\*\*\*\*\*)

Cette solution pour articuler l'espace mathématique et l'espace physique est proche de ce que proposait Albert Einstein lui-même. En effet, il est bien connu qu'Einstein affirmait que sa théorie de la relativité générale était parvenue, par le réquisit de la

covariance générale, à « ôter à l'espace-temps les dernières traces d'objectivité physique ». (Einstein, les *fondements de la relativité générale*, 1916) A travers ce genre d'affirmations, Einstein caractérise l'espace-temps, non comme une réalité physique, mais comme un support mathématique posé par le sujet pour rendre possible la mesure physique. Cet usage du terme « espace-temps » est alors proche de la terminologie idéaliste employée par Weyl quand il parle d'espace « Raum ». Ce support subjectif qu'est l'espace-temps pour Einstein n'est pas métrique puisqu'il est caractérisé par le principe de covariance généralisé, c'est-à-dire par la possibilité de passer indifféremment d'un système de coordonnées à un autre par une transformation continue quelconque. C'est donc la notion de l'espace-temps comme pure variété différentiable qui est visée ici. Et la réalité physique qui est appréhendée à travers ce support subjectif, comprend en particulier la métrique qui a pris chez Einstein le statut d'une entité physique dynamique qui s'identifie au champ gravitationnel.

On peut alors supposer que le texte de l'argument de la boule d'argile, présent dès la première édition d'*Espace-Temps-Matière* correspond à un état précoce de la pensée de l'espace de Weyl où il était encore fortement marqué par l'œuvre grandiose d'Einstein. La solution proposée dans ce texte à la question de l'articulation entre la notion mathématique d'espace et la notion physique d'espace a le mérite d'être cohérente. Cependant, elle fait une place trop importante à la notion physique d'espace par rapport à la notion mathématique d'espace. En effet, cette solution ne laisse de place pour penser la détermination des relations géométriques par la raison, uniquement en ce qui concerne les relations topologico-différentielles. Cette position épistémologique réduit la géométrie mathématique à une branche relativement récente de la géométrie institutionnelle, la topologie donc, et qui n'est même pas une géométrie au sens étymologique du terme, puisqu'elle n'est même pas fondée sur une notion de métrique. Le domaine des mesures est alors laissé au domaine de l'empirie. Dans une telle hypothèse épistémologique, la géométrie au sens étymologique du terme semble ne pouvoir être que *physique* comme étude de l'entité physique « champ gravitationnel ».

Nous soutenons que le problème posé par le paragraphe 12 d'*Espace-Temps-Matière*, celui de l'articulation entre l'espace mathématique homogène et l'espace physique hétérogène et dynamique, est le problème central pour comprendre l'unité d'*Espace-Temps-Matière* et donc l'unité de la pensée épistémologique de Weyl à propos de la notion d'espace. En revanche, la solution à ce problème, esquissée dans ce texte, sera dépassée. Weyl va construire une solution plus acceptable à ce problème, qui sera moins influencée par la figure d'Einstein, que par celles de Gauss, de Riemann, et de leurs successeurs, Christoffel, Ricci et Levi-Civita, c'est-à-dire les penseurs mathématiciens, pionniers de la géométrie différentielle. Cette nouvelle solution prend forme au sein des travaux géométriques effectués par Weyl dès 1918, et sera exposé de façon systématique dans la troisième édition d'*Espace-Temps-Matière*.

(\*\*\*\*\*)

La solution définitive de Weyl au problème de l'articulation entre espace mathématique et espace physique, peut être désignée par l'idée d'une Nahegeometrie, qu'on peut traduire par « géométrie de contact », ou par l'idée d'une « géométrie infinitésimale ». Ces termes, « Nahegeometrie » ou « Infinitesimalgeometrie » renvoient souvent dans la littérature à une structure mathématique particulière. Il s'agit de celle qui est introduite par Weyl en 1918, celle qu'Alexander Afriat, après d'autres, appelle sa première théorie de jauge, et qu'on appelle parfois aussi aujourd'hui un « espace de Weyl ». Bref, il s'agit d'une variété différentiable munie de structures telles que la notion de direction d'un vecteur aussi bien que la notion de longueur d'un vecteur, ne sont transportées d'un point de la variété à un autre que de façon non-intégrable.

Pour notre part, nous donnons au terme de « Nahegeometrie » ou de « géométrie infinitésimale » une extension plus large. Nous ne signifions pas seulement cette structure mathématique, mais plus généralement tout l'appareil épistémologique que Weyl met en place en 1918, et qui a fourni le cadre à l'intérieur duquel Weyl a effectué ses recherches sur les espaces de Weyl, mais aussi sur sa théorie unitaire des champs, sur l'analyse mathématique du problème de l'espace, en fait toutes ses recherches géométrico-physiques des années 1917-1923.

Dans la Nahegeometrie, la frontière qui va séparer le lieu légitime d'application de la notion mathématique d'espace et le lieu légitime d'application de la notion physique d'espace va être la frontière entre les *relations infinitésimales* (locales) et les *relations à distance finie* (globales).

Ainsi, dans le cadre épistémologique de la Nahegeometrie, il y aura bien un rationalisme quant à la nature de l'espace. Mais cette *nature de l'espace* aura une signification seulement locale, infinitésimale. La raison va imposer deux choses. D'une part, elle impose la structure locale infinitésimale que revêtent les relations (qu'il s'agisse de relations affines ou métriques). Pensons ici à ce qu'on appelle en géométrie différentielle les espaces tangents à une variété, et la façon dont les relations affines, métriques ou vont s'exprimer à l'intérieur de ces espaces tangents. D'autre part, la raison impose aussi la forme générale des connexions (au sens mathématique du terme) qui imposent la façon dont les mesures effectuées dans un espace infinitésimal local vont pouvoir se transporter aux espaces infinitésimaux voisins.

Maintenant, ces structures infinitésimales, et cette forme générale de la connexion imposée par la raison, vont pouvoir s'exprimer algébriquement. En cela, la vision algébrique de la géométrie est conservée. Par exemple, la strate métrique va s'exprimer localement :

- 1) Par la caractérisation de ce que Weyl appelle « Drehungsgruppe », le groupe des rotations infinitésimales. Il faut comprendre ici qu'il s'agit du groupe de Lie des isométries linéaires agissant sur l'espace tangent.
- 2) Il faut aussi se donner la structure algébrique que revêtent ce que Weyl appelle les « Kongruenten Verpflanzungen » « transplantations congruentes infinitésimales ». Il s'agit du groupoïde des isométries linéaires qui envoient les éléments d'un espace tangent sur un autre espace tangent infiniment voisin.

Quant à l'homogénéité de l'espace mathématique, elle est également valable, mais pourvu qu'on l'interprète localement. Ainsi, l'espace est homogène, seulement au sens où tous les espaces infinitésimaux, les espaces locaux sont indiscernables les uns des autres. En termes algébriques, les groupes des rotations infinitésimales associés à chacun des points de la variété sont tous isomorphes.

Maintenant, dans une Nahegeometrie, si on veut effectuer une mesure sur un objet spatial non local, c'est-à-dire ayant une extension finie, il faut intégrer les mesures des éléments infinitésimaux qui le composent. Ce processus d'intégration mathématique ne peut prendre sens qu'en tenant compte de la valeur contingente que vont prendre les coefficients de la connexion, sur toute l'étendue finie caractérisant l'objet. Ainsi, en raison de cette contingence des coefficients de la connexion, la raison n'est plus compétente pour légiférer sur les formes possibles de tels objets finis. L'appel Riemannien à la physique est alors inévitable. La façon effective dont opère la connexion est l'expression de champs physiques dynamiques qui finissent de donner une structure à la spatialité dans le domaine fini. Ainsi, Weyl s'attend-il, à cette époque, à une fusion possible du physique et du géométrique.

(\*\*\*\*\*)

Enfin, à la question « Quelle est la vraie géométrie ? », c'est-à-dire quelle géométrie doit-on adopter pour faire de la physique, Weyl répond de façon très fine. Il y a une rupture épistémologique radicale entre la sphère des relations infinitésimales et la sphère des relations à distances finies. Dans l'infinitésimal, la raison est souveraine. Weyl essaie donc de déterminer de façon univoque les structures algébriques caractérisant les structures infinitésimales de l'espace.

Cette détermination univoque se fait par l'imposition de réquisits de nature rationnels :

(Cf. page suivante) Nous ne rentrerons pas ici dans le contenu technique complexe que recouvrent ces axiomes. L'important est de voir le statut épistémologique que Weyl leur donne. Il énonce clairement qu'il s'agit d'exigences rationnelles. Et Weyl démontre (c'est ce qu'il appelle *l'analyse mathématique du problème de l'espace*) que ces axiomes déterminent univoquement la structure infinitésimale de l'espace. Algébriquement, les

*L'unité de la pensée épistémologique de Weyl à propos de la notion d'espace*

groupes des rotations infinitésimales doivent être du type  $SO(p, n)$ . Les rotations ont pour invariant une formule de Pythagore généralisée du type :

$$(dx^1)^2 + \dots + (dx^n)^2 - (dx^{n+1})^2 - \dots - (dx^{p+n})^2$$

- 1) **Axiome 1 :**      **La nature de l'espace n'impose aucune restriction à la connexion métrique.**
- [C'est-à-dire qu'] Il est toujours *possible* de trouver une connexion affine dans l'espace entre le point  $P_0$  et les points de son voisinage de telle façon que la formule [(\*)] représente un système de transports congruents pour *des nombres*  $\Lambda_{kr}^i$  *arbitraires*.
- 2) **Axiome 2 :**      **La connexion affine est uniquement déterminée par la connexion métrique.**
- [Chaque système de  $n^3$  nombres  $\Lambda_{kr}^i$ ] doit pouvoir admettre une décomposition d'une et une seule manière conformément à la formule :  $\Lambda_{kr}^i = A_{kr}^i - \Gamma_{kr}^i$ , où  $A_{k1}^i, \dots, A_{kn}^i$  est un système de  $n$  matrices infinitésimales de l'algèbre de Lie associée à  $\text{Isom}(T_p, T_p)$ , et  $\Gamma_{kr}^i$  est un système de  $n^3$  nombres vérifiant la symétrie  $\Gamma_{kr}^i = \Gamma_{rk}^i$ .

Cette détermination univoque par la raison des structures infinitésimales de l'espace est finalement la forme que prend le rationalisme, la forme d'idéalisme transcendantal que défend Weyl.

C'est par un même mouvement épistémologique, que Weyl justifie l'appel à la physique pour la détermination des relations à distance finie puisque, comme l'indique le premier axiome, « la nature de l'espace n'impose aucune restriction à la connexion métrique ». Autrement dit, la connexion est sous-déterminée par les exigences de la raisons qui imposent la nature de l'espace. La physique trouve alors sa place légitime au sein de la géométrie, en tant que c'est à elle de déterminer la valeur effective des coefficients de la connexion, en fonction des interactions physiques qui sont en jeu au sein de l'espace.

Pour conclure, nous avons donc montré, au sein du travail scientifique de Weyl de 1917 à 1923, une pensée épistémologique cohérente quant à la nature de l'espace et aux places respectives que jouent la raison et l'expérience dans la détermination des relations géométriques. On a vu comment certaines difficultés superficielles disparaissaient quand on acceptait la terminologie singulière de Weyl à propos de la notion de sujet. Le problème central à résoudre pour comprendre l'unité de la pensée de Weyl était donc d'arriver à comprendre comment articuler ensemble la notion mathématique d'un espace comme forme homogène, et la notion physique d'espace comme champ dynamique hétérogène en interaction avec la matière. Ce problème est celui que pose explicitement Weyl dans le paragraphe 12 d'*Espace-Temps-Matière*, avant ce que nous avons appelé « l'argument de la boule d'argile ».

Cet argument est intéressant par ce qu'il nous apprend sur le principe de Mach, lorsqu'on le compare avec l'argument du trou d'Einstein.

Mais l'argument nous a surtout intéressé aujourd'hui parce qu'il pose la question essentielle pour comprendre l'unité de la pensée épistémologique de Weyl à propos de la notion d'espace. La réponse proposée dans le texte de l'argument de la boule d'argile, réponse d'inspiration encore très einsteinienne s'est révélée épistémologiquement insuffisante. On a esquissé comment l'idée de Nahegeometrie fournissait finalement à Weyl une réponse définitive au problème de l'articulation entre espace mathématique et espace physique.

L'épistémologie qui se dégage de cette idée de Nahegeometrie justifie simultanément une forme d'idéalisme transcendantal réduite aux relations infinitésimales, et l'avènement d'une géométrie physique qui pourrait s'identifier à la limite avec l'intégralité de la science physique. La raison a donc un domaine d'action limité à l'infinitésimal au sein du spatial, mais, dans cette sphère, elle est entièrement souveraine comme le montre la résolution par Weyl du problème de l'espace. En contrepartie, avec Weyl, la raison abandonne sa prétention à légiférer sur les relations spatiales à distance finie. Et c'est pourquoi la Nahegeometrie a fourni un cadre épistémologique aussi bien pour son analyse mathématique du problème de l'espace, que pour ses travaux d'unification de l'électromagnétisme avec la gravitation, et sa tentative d'une théorie unifiée des champs.

La justification de cette rupture épistémologique entre les relations spatiales infinitésimales et les relations spatiales à distance finie, peut sans doute être fondée sur la conception du sujet par Weyl. Pour Weyl, le sujet, s'il partage avec ses congénères des facultés rationnelles communes, se caractérise aussi essentiellement par la place singulière qu'il occupe dans le monde du fait de son incarnation. Ce caractère fondamentalement local du sujet fonde la rupture épistémologique entre le domaine de l'infinitésimal et le domaine du fini. L'unité de la pensée épistémologique de Weyl sur l'espace repose sur cette rupture épistémologique.

Merci pour votre attention...

(Fin probable de l'intervention. Ce qui suit sera présenté si le temps le permet)

#### **4 Les arguments généraux liés aux rapports de Weyl à la philosophie**

Expliquons pourquoi nous avons adopté cette méthodologie interne aux textes scientifiques de Weyl, pour rendre compte de sa philosophie.

Quand on s'intéresse à l'unité de la pensée philosophique de Weyl, on rencontre un type d'arguments qui concerne de manière générale les *rapports de Weyl à la philosophie*. Il s'agit ici, en partie, d'arguments *ad hominem*. Weyl est avant tout un mathématicien de profession, sans doute un des plus grands du siècle dernier, et non pas un philosophe. Aussi peut-on le suspecter de faire un usage grossier de la philosophie, depuis un point de vue extérieur à la discipline.

Quelques arguments peuvent étayer cette accusation :

### **Une pensée philosophique non systématique**

D'abord, Weyl ne propose pas de *système* philosophique. S'il a l'habitude de produire de la philosophie au sein de ses ouvrages, cela ne prend pas la forme d'une œuvre achevée où toutes ses thèses philosophiques se donneraient de manière explicite et exhaustive, et s'organiseraient de manière organique. Le seul ouvrage à proprement parler de philosophie qu'il publie, *Philosophy of mathematics and natural sciences*, n'est pas structuré par un *système* philosophique mais plutôt par une *histoire*, celle des rapports entre les problèmes philosophiques traditionnels et la science qui y fait face. En général, la production philosophique de Weyl prend plutôt la forme de courtes citations ou de commentaires, égrainés au sein de ses publications scientifiques, participant à forger cette image d'un savant qui utiliserait des *morceaux* de philosophie, plutôt qu'un véritable producteur d'une pensée philosophique *systématique*.

### **Une diversité inconciliable de références à la tradition**

Ensuite, on peut reprocher la diversité apparemment inconciliable des auteurs philosophes auxquels il dit être redevable. Suivant les textes, il affirme adhérer à la pensée de Husserl ou à celle de Fichte, se reconnaître en partie dans la philosophie de Kant ou dans celle de Leibniz. Cette multiplicité des références peut nous mener parfois à lui attribuer une forme d'éclectisme suspect. Comment, en récupérant des idées philosophiques à des penseurs dont les systèmes philosophiques sont mutuellement inconciliables, Weyl pourrait-il parvenir à une pensée épistémologique cohérente ? N'y a-t-il pas une forme d'opportunisme de sa part dans cette facilité de passer d'une référence philosophique à l'autre ?

### **Une utilisation désinvolte des références philosophiques**

Enfin, en plus de cette diversité suspecte des références, on pourrait lui reprocher une utilisation désinvolte de chacun des philosophes qu'il invoque. En effet, il se contente souvent de donner simplement le nom du philosophe qui est sa référence au moment voulu. Il cite assez peu explicitement les textes philosophiques, se contentant de reproduire la pensée du philosophe qu'il exploite sur le moment, sous une forme très souvent altérée.

## **5 Contrarguments par ceux qui ont étudié les rapports de Weyl à la tradition philosophique**

Certains commentateurs de Weyl ont essayé de défendre la légitimité de son rapport à la tradition philosophique, en approfondissant la signification des appels de Weyl à cette tradition. Ainsi, par exemple, Paulo Mancosu et Thomas Ryckman ont-ils approfondi les liens de Weyl à la phénoménologie husserlienne, tandis que Norman Sieroka a montré l'interprétation que Weyl faisait des pensées de Fichte et de Husserl, en relation avec son ami philosophe, Fritz Medicus, à Zurich.

A la lecture de ces différentes recherches et des textes mêmes de Weyl, il nous semble clair que:

1) Premièrement, Weyl est un véritable *lecteur en première main* des textes philosophiques de la tradition, et il entretient des rapports intellectuels étroits avec plusieurs professionnels de la philosophie.

2) Deuxièmement, c'est de manière *consciente* qu'il ne reçoit en bloc aucun système philosophique. Il ne souhaite pas plus être kantien, que fichtéen, leibnizien ou husserlien, si on entend par là qu'adopterait complètement la philosophie d'un de ces auteurs pour ensuite l'« appliquer » (pour peu qu'une telle application ait un sens) à la science de son époque. Il trouve plutôt dans la pensée de ces auteurs des idées plus ou moins isolées qui aiguillent sa recherche, ce qu'on peut appeler des *heuristiques*. Ce n'est pas qu'il démente la nature systématique de la philosophie, et le fait que, *de droit*, elle devrait pouvoir être établie *a priori* comme un système, avant le mouvement de la science. C'est plutôt parce que, *dans les faits*, selon lui, la philosophie n'a pas atteint un état suffisamment mature pour pouvoir prendre la place qui lui reviendrait et établir une telle théorie de la connaissance qui *a priori*. Les métaphysiciens qui procèdent ainsi, dit-il, sont des impatientes qui ratent leur objet par précipitation. Au lieu d'une philosophie spéculative et hâtive, Weyl plaide pour une philosophie prudente qui se construit dans le dialogue avec l'avancée scientifique.

3) Troisièmement, en tant précisément qu'il ne cherche pas chez ces auteurs philosophes une pensée déjà unifiée, mais plutôt des « heuristiques », Weyl se permet de s'approprier un vocabulaire philosophique, des concepts philosophiques, ou des thèses philosophiques, en les faisant varier de leur sens original. Les commentateurs de Weyl montrent que cette déviation est d'autant plus importante qu'il hérite de certaines interprétations locales de la pensée des auteurs de la tradition. Ce sont par exemple les interprétations de Medicus à Zurich, comme le montre Sieroka. Ce particularisme local des interprétations que Weyl reçoit de la tradition philosophique n'est pas gênant, à partir du moment où Weyl ne fait pas œuvre d'historien de la philosophie, mais plutôt fait usage de cette tradition pour comprendre la science de son époque.

Nous pensons que ces différentes analyses défendent pertinemment Weyl contre le type d'attaques que nous avons présentées d'abord, qui voudraient mettre en question l'unité,

et du sérieux de la pensée philosophique de Weyl simplement à partir de la forme des références et des emprunts qu'il fait à la tradition philosophique.

Cependant, pour la défense de l'unité de la pensée philosophique de Weyl, ces arguments ne sont bien sûr pas suffisants. Encore, faut-il montrer que, à défaut d'avoir à chercher chez un auteur-philosophe de la tradition, l'unité recherchée de la pensée de Weyl, on peut la trouver chez Weyl lui-même. C'est-à-dire qu'il faut prendre au sérieux la distance que notre auteur prend vis-à-vis de la tradition philosophique, et chercher comment s'opère l'unité de sa pensée philosophique, au cœur même des réflexions qu'il produit en personne au sein de son travail scientifique.