

Thèse de doctorat en philosophie
et en épistémologie

La théorie coordinative de la connaissance
et son lien avec
les problèmes épistémologiques de la mesure
dans les écrits empiristes-logiques
de la première moitié du XX^{ème} siècle.

Présentée et soutenue par
Gabriel Giovannetti

Sous la direction de :

Gabriella Crocco (Aix-Marseille Université – CGGG – directrice)
Thierry Masson (Aix-Marseille Université – CPT – co-directeur)
Igor Ly (Aix-Marseille Université – CGGG – co-encadrant)

Rapporteurs :

Flavia Padovani (University of Drexel)
Anastasios Brenner (Université de Montpellier)

Membres du jury :

Nadine de Courtenay (Université Paris-Diderot)
Georg Schiemer (Universität Wien)
Scott Walter (Université de Nantes)

Thèse de doctorat en philosophie
et en épistémologie

**La théorie coordinative de la connaissance
et son lien avec
les problèmes épistémologiques de la mesure
dans les écrits empiristes-logiques
de la première moitié du XX^{ème} siècle.**

Présentée et soutenue par
Gabriel Giovannetti

Sous la direction de :

Gabriella Crocco (Aix-Marseille Université – CGGG – directrice)
Thierry Masson (Aix-Marseille Université – CPT – co-directeur)
Igor Ly (Aix-Marseille Université – CGGG – co-encadrant)

Rapporteurs :

Flavia Padovani (University of Drexel)
Anastasios Brenner (Université de Montpellier)

Membres du jury :

Nadine de Courtenay (Université Paris-Diderot)
Georg Schiemer (Universität Wien)
Scott Walter (Université de Nantes)

Je remercie tout d'abord chaleureusement ma directrice de thèse, Gabriella Crocco, ainsi que mes co-directeurs, Thierry Masson et Igor Ly, qui m'ont été d'une aide précieuse dans la rédaction de mon travail, mais qui m'ont aussi guidé dans les premiers pas de la carrière d'enseignant-chercheur. J'ai tissé avec eux des liens professionnels, mais aussi amicaux, qui sont inestimables, et qui m'ont permis de m'épanouir intellectuellement au sein du Centre (CGGG anciennement CEPERC).

Je remercie tous les membres du jury, qui ont accepté de relire mon travail et de participer à la soutenance.

Je remercie mes ancien.ne.s professeurs de master, sans qui je n'aurais jamais fait de la recherche. Je pense notamment à Nadine de Courtenay dont le cours sur l'épistémologie de la mesure a été une énorme source d'inspiration.

Je remercie Flavia Padovani, dont les articles sur Reichenbach et le concept de coordination ont été d'une incroyable utilité.

Je remercie également Brigitte Parakenings, des Archives Philosophiques de l'Université de Constance, pour m'avoir communiqué les éléments de la correspondance entre Schlick et Reichenbach.

Je remercie aussi mes parents, Michèle et Jean, sans l'aide de qui je n'aurais pas pu achever sereinement ce travail. Je les remercie pour l'aide qu'ils m'ont apporté à la relecture.

Je remercie enfin toutes celles et tous ceux qui, de près ou de loin, collègues ou amis, m'ont aidé et accompagné durant ces quatre années.

J'ajouterai en dernier lieu un mot pour mes amies et amis du Collectif Vélos en Ville, association militante marseillaise, qui, s'ils ne m'ont pas nécessairement soutenu pour le travail de thèse en lui même, m'ont fait découvrir un usage de la vie émancipateur et libérateur. Je leur rends ici hommage.

Table des matières

Table des matières

Table des matières.....	7
Introduction.....	15
Partie I – Les problèmes de définitions des concepts métriques et les fondements de l'épistémologie coordinative.....	35
Le concept de grandeur et la coordination.....	37
I. A) Les problèmes de définition des concepts métriques.....	39
1 – L'exemple de la distance.....	39
2 – Les différents types possibles de définition des concepts métriques. .	42
3 – Qu'est-ce qu'une définition complète, ou exhaustive ?.....	44
4 – L'opérationnalisme (Bridgman).....	48
Par delà les critiques.....	48
L'épistémologie coordinative sous-jacente.....	52
L'imprécision conceptuelle des mathématiques.....	56
Un empirisme prudent.....	65
I. B) Hasok Chang et les problèmes de la mesure empirique.....	67
Introduction : de la mesure de la température aux « principes ontologiques ».....	67
1 – Les paradoxes liés au progrès de la mesure.....	70
2 – Le principe de respect et le progrès métrologique.....	73
3 – Le minimalisme de Regnault et la surdétermination.....	76
4 – Le principe de la valeur unique.....	81
5 – Le problème de l'élargissement des échelles.....	89

Conclusion : Les principes nécessaires à la mesure physique.....	97
I. C) Hilbert et le sixième problème.....	99
Introduction.....	99
1 – Le sixième problème de Hilbert.....	100
2 – Géométrie et Mécanique.....	105
3 – La méthode axiomatique et les sciences empiriques.....	109
4 – Le principe de continuité et l'axiome d'Archimède.....	115
L'axiomatisation comme socle de la théorie coordinative.....	119
Conclusion : Progrès de l'instrumentation et axiomatisation.....	121

Partie II – L'épistémologie coordinative post-relativiste et sa critique par Reichenbach.....123

Introduction à la partie II.....	125
L'épistémologie coordinative et l'empirisme logique.....	125
L'empirisme-logique contre l'empirisme « classique ».....	128
L'empirisme comme philosophie de la révolution scientifique.....	131
II. A) Schlick : Les articles sur la relativité et les origines de l'épistémologie coordinative.....	135
1 - L'article sur la relativité.....	135
2 - La <i>Théorie Générale de la Connaissance</i> de Schlick.....	147
L'esprit anti-kantien.....	147
La connaissance comme coordination.....	148
La définition concrète et la définition implicite.....	150
Les conventions.....	153
La vérité comme univocité de la coordination.....	156
3 – Un empirisme conventionnaliste.....	159
II. B) Reichenbach, La relativité et la connaissance <i>a priori</i>	161
1 - Introduction.....	161
2 - <i>La théorie de la relativité et la connaissance a priori</i>	163

3 - La contradiction entre la théorie de la relativité et l'épistémologie kantienne.....	167
4 - La distinction entre axiomes de coordination et axiomes de connexion	169
5 - Les principes mathématiques sont-ils des principes de coordinations ?	172
6 - Un kantisme ouvert.....	174
7 - La pseudo-critique de la notion de coordination et la définition de la réalité.....	176
8 - Le statut des perceptions.....	183
9 - Une coordination circulaire ?.....	184
10 - Reichenbach et la signification des constantes de la physique.....	193
11 - Reichenbach et la philosophie de la mesure.....	198
12 - La méthode des approximations successives : empirisme, développement historique et anti-conventionnalisme.....	200
13 - Qu'est-ce qui limite formellement la connaissance ?.....	202
14 - Les principes de coordination comme des principes de la connaissance	207
15 - L'analyse logique d'une théorie selon Reichenbach.....	211
16 - Conclusion.....	214
II. C) La correspondance entre Schlick et Reichenbach.....	217
1 - Présentation de la correspondance.....	217
2 - Principes synthétiques <i>a priori</i> ou conventionnels ?.....	221
3 - L'univocité de la coordination comme critère de la vérité est-elle un principe synthétique ou analytique ?.....	225
4 - Examen critique des arguments.....	227
5 - Les ouvrages ultérieurs.....	231
The Philosophy of space and time (1928).....	231
L'article de 1949 : « The philosophical Significance of the Theory of Relativity ».....	232
La position d'Einstein.....	238

Conclusion de la partie II.....245

Partie III – La transformation de l'épistémologie coordinative, son abandon, et sa postérité.....251

Introduction : De la survivance du synthétique *a priori* chez les empiristes-logiques.....253

III. A) Carnap : de la définition explicite à l'interprétation partielle des théories.....257

1 – L'influence de Russell, le conventionnalisme et la théorie de la mesure257

2 – 1936 : *Testabilité et signification*, les termes dispositionnels et les chaînes introductives.....262

3 – 1939 : *Foundations of Logic and Mathematics* et l'interprétation partielle des théories.....267

Les calculs formels et leur interprétation.....268

L'épistémologie coordinative et la théorie de la mesure.....272

Le statut de la géométrie.....273

La critique de la doctrine kantienne de l'espace.....277

Les théories physiques comme des calculs interprétés.....278

La vérité des « théorèmes physiques ».....282

4 – 1956 : « The Methodological Character of Theoretical Concepts » et la critique de l'opérationnalisme.....284

5 – Épilogue : « vrai en vertu de » et les énoncés synthétiques P-valides299

6 – Conclusion.....302

III. B) Hempel et l'autocritique de l'empirisme-logique.....307

1 – Introduction.....307

2 – Hempel, les définitions complètes et la critique de l'opérationnalisme308

3 – Le dilemme du théoricien.....313

4 – Les principes de liaison (*bridges principles*) la signification systématique (*systematic import*) et les propositions interprétatives.....319

5 – La métaphore de la construction du pont.....	328
III. C) Un empirisme historique ?.....	331
1 – La fin de la théorie coordinative de la connaissance ?.....	332
La signification théorique antérieure.....	333
Les principes de liaisons sont des principes inter-théoriques.....	338
2 – Le problème de la mesure fondamentale.....	342
3 – Qu’est-ce qu’une grandeur ?.....	346
4 – Signification empirique et possibilité physique.....	350
5 – Corriger les principes constitutifs par l’expérience : où Reichenbach réfute Kant.....	354
6 – La <i>coévolution</i> des méthodes de mesure et la définition du concept de grandeur.....	357
 Conclusion et perspectives de la recherche.....	 363
 Bibliographie.....	 375
 Index.....	 385
 Table des matières de fin.....	 391

Introduction

Faire l'histoire d'un principe physique, c'est en même temps en faire l'analyse logique.

Pierre Duhem, *La théorie physique : son objet, sa structure*, p.369

Le présent travail propose de faire l'analyse d'un concept – celui de « principe de coordination » - tel qu'il se déploie au sein d'une philosophie empiriste. Par « philosophie empiriste » nous ne désignons pas la philosophie empiriste au sens classique du terme, c'est-à-dire cette catégorie assez générale d'histoire de la philosophie qui permet de réunir sous une même étiquette des philosophies aussi différentes que celles de Locke, Hobbes, Hume, Condillac, John Stuart Mill ou encore Ernst Mach.

Nous allons certes nous intéresser essentiellement aux textes des « empiristes-logiques », ou aussi des « néo-empiristes », qui, à partir des années vingt du XX^{ème} siècle, et sous la double impulsion de la méthode logistiquette et de la révolution relativiste, occupent le terrain de la philosophie des sciences dans l'Europe germanophone. Cependant notre but n'est pas tant de défendre l'une ou l'autre méthode mise en place par les représentants de ce courant – Moritz Schlick, Hans Reichenbach, Rudolph Carnap, Carl Hempel, pour ne citer que ceux que nous étudierons substantiellement – mais plutôt de rester fidèle à l'esprit de l'empirisme, qui est selon nous bien résumé par Bas Van Fraassen dans son livre *The Empirical Stance*¹.

La posture empiriste, pour reprendre son expression, se définit essentiellement par le rejet des concepts et des systèmes *métaphysiques*. Cela se résume, pour nous, à une attitude cherchant l'élimination, chaque fois que cela est possible, des hypothèses non-empiriques dans la construction des théories scientifiques. Cette tentative d'élimination n'est bien évidemment pas radicalement possible ; mais elle suscite une réflexion sur le statut des principes de la science qui est

1 Bas C. van Fraassen, *The Empirical Stance*, Yale University Press, 2002.

particulièrement enrichissante lorsqu'il s'agit de saisir la structure des théories, et surtout, dans le cas des théories mathématisées, lorsqu'il s'agit de saisir le rapport qui s'élabore entre les mathématiques et l'expérience.

Le caractère problématique de ce rapport, que nous désignons par « problème de la coordination » est ce qui nous intéresse plus particulièrement dans la philosophie empiriste de la première moitié du XX^{ème} siècle. La réflexion portant sur ce problème nous a été inspirée par un autre livre de van Fraassen, *Scientific Representation : Paradoxes of Perspectives*². Le philosophe y consacre un chapitre entier à l'explication du « problème de la coordination ».

Le problème de la coordination – l'expression « coordination » provient, dans la reconstruction du problème par van Fraassen, du texte de Reichenbach, *The Theory of Relativity and a priori Knowledge*³ – ne se pose, d'après nous, qu'au sein d'une compréhension particulière de la connaissance, que nous choisissons d'appeler « la théorie coordinative de la connaissance ». Nous parlerons aussi pour plus de brièveté de « théorie coordinative », ou encore « d'épistémologie coordinative », en utilisant dans ce dernier cas le terme d'épistémologie plutôt dans le sens anglo-saxon de « théorie de la connaissance » que dans celui français de « philosophie des sciences ».

Cette manière de concevoir la connaissance émerge au cours du XIX^{ème} siècle dans l'Europe germanophone. Les grandes découvertes mathématiques d'un côté – géométries non-euclidienne, analyse complexe, théorie des cardinaux transfinis – et la formulation de théories physiques identiques sous des formes mathématiques différentes – mécanique des forces, mécanique de Lagrange, mécanique de Hamilton, par exemple – font tendre les savants vers une conception de la connaissance physique comprise comme la mise en rapport, la coordination, d'une théorie

2 Bas C. van Fraassen, *Scientific Representation : Paradoxes of Perspectives*, Oxford University Press, 2008.

3 Hans Reichenbach, *The theory of relativity and a priori knowledge*, trad. by Maria Reichenbach, University of California Press, Berkeley, Etats-Unis, 1965,

mathématique abstraite d'un côté avec l'ensemble des phénomènes empiriques de l'autre. Le fait que les possibilités offertes par les mathématiques dépassent si ouvertement les possibilités physiques, couplé au fait que des formalismes mathématiques différents permettent de représenter le même contenu expérimental⁴ trace une séparation entre la « forme pure » et le « contenu empirique ». Cette séparation rend en retour nécessaire l'établissement d'un lien, d'une coordination entre les deux ensembles, faute de quoi la connaissance véhiculée par les théories physiques deviendrait impossible – elle serait soit purement formelle, et donc inapplicable ; soit simplement empirique et par conséquent sans généralité et sans pouvoir prédictif.

Or ce lien est problématique car il doit s'établir entre deux ensembles de nature différente : des concepts et des principes mathématiques d'un côté, des observations et des expériences de l'autre. Il trouve son expression la plus acérée à propos du problème de la définition des concepts de grandeur. Nous y reviendrons.

Mais cette conception, plus ou moins implicite chez les savants au cours du XIX^{ème} siècle, prend soudainement un intérêt philosophique explicite lorsqu'il devient nécessaire d'expliquer la théorie de la relativité restreinte et générale proposée par Einstein. La vision bipartite de la science devient un moyen de mettre un terme aux interrogations portant sur l'étrangeté des conséquences des théories relativistes sur l'espace et le temps. Si ces deux dernières notions, prises dans leur sens classique d'espace et de temps absolus, sont pensées, ainsi que le voudrait une vulgate kantienne, comme les formes *a priori* de notre entendement pour opérer la synthèse du divers empirique, alors il n'est pas possible de les mettre en accord avec les conséquences et les prédictions des théories relativistes, comme la « contraction » des longueurs et la « dilatation » des temps.

La solution de la théorie coordinative est, de manière simplifiée, la suivante : l'espace et le temps font partie de l'ensemble mathématique et formel de la théorie, il ne faut pas chercher à leur donner un quelconque contenu intuitif, seules comptent les mesures d'espace et de temps, et ces

4 Ce propos peut être nuancé par la lecture de Marion Vorms, *Qu'est-ce qu'une théorie scientifique*, Vuibert, 2011.

dernières, aussi étrange que cela puisse paraître vis-à-vis de nos habitudes de représentation, sont en accord avec la théorie.

Par conséquent, et à cause de son rôle éliminateur, la théorie coordinative de la connaissance est devenue l'outil privilégié des empiristes-logiques dans leurs tentatives successives de reconstruction des théories logiques, mathématiques et physiques.

Mais il ne s'agit pas tellement pour nous de faire l'histoire de cette théorie de la connaissance. Cela nous aurait conduit par exemple à en étudier le développement chez des auteurs non-empiristes, comme par exemple le néo-kantien Cassirer. Il s'agit pour nous, à travers une analyse des limites de l'épistémologie coordinative, de montrer qu'une conception empiriste laissant une place au devenir historique de la science est possible. Nous en viendrons, en effet, à proposer un empirisme historique, dont les éléments se trouvent disséminés dans les écrits des empiristes-logiques, sans jamais avoir été réunis de manière cohérente. Proposer cette réunion est l'objet de notre travail.

L'enjeu est ici crucial. Il s'agit de sauver l'empirisme d'une objection majeure. Que reste-t-il, en effet, d'une théorie qui voudrait réduire tous les concepts et principes abstraits de la science à des observations, des expériences, voire des sensations, face à des épisodes historiques de révolution scientifique ? Lors de ces épisodes, les transformations profondes que subissent les théories n'ont pas pour seule origine l'amélioration des instruments de mesure et d'observation. De même, la vérification de leur prédictions nouvelles est souvent ardue, voire impossible. Les concepts mêmes des théories changent de signification : le concept de vitesse n'a pas du tout le même contenu, par exemple, au sein d'une théorie aristotélicienne du mouvement, dans la physique de Galilée-Newton, ou selon la théorie de la relativité restreinte. L'explication de la manière dont cette signification évolue ne semble pas possible si l'on s'en tient à une reconstruction empiriste des concepts de la science.

Or nous pensons que les ressources existent, dans les écrits des néo-empiristes, pour rendre compte de la signification des concepts scientifiques *tout en tenant compte de l'histoire*. Néanmoins ces ressources sont la plupart du temps à l'état d'ébauche. Nous nous proposons de montrer que ces différentes ébauches peuvent conduire au prototype d'un empirisme historique cohérent. L'aspect empiriste de notre proposition vient par conséquent du fait que la question de la définition des concepts physiques, donc *a fortiori* des concepts de grandeur physique (comme la masse, la vitesse, l'énergie, la température, etc.), est centrale et primordiale. Le caractère historique de cet empirisme découle de la reconnaissance du fait que l'analyse des concepts de grandeur ne peut en aucun cas se passer de leur histoire.

Ce rôle que peut jouer l'histoire au sein d'une philosophie empiriste n'est rendu possible que par une critique élaborée et constructive de la théorie coordinative de la connaissance. Il faut en effet montrer que le problème de la coordination – le problème qui consiste à faire correspondre des concepts mathématiques à des observations et des mesures – ne peut être efficacement résolu que si, à la fois l'histoire des mathématiques et l'histoire des théories physiques, sont prises en compte. Nous sommes convaincu que les positions du néo-empiriste auquel nous allons le plus nous intéresser, Hans Reichenbach, sont compatibles avec un tel empirisme historique.

La méthode que nous avons suivie peut être exposée de la sorte.

La théorie coordinative de la connaissance constitue un cadre très général de compréhension des théories scientifiques⁵, et peut en l'état servir d'outil à un spectre étendu de positions philosophiques parfois incompatibles. Il serait hors de propos et totalement démesuré pour nous de

5 Nous nous sommes intéressés ici aux théories physiques. Mais la même étude pourrait être menée, par exemple, avec les théories économiques, qui commencent à trouver, à la fin du XIX^{ème} et au début du XX^{ème} siècle, leur premières formulations mathématiques conséquentes ; que l'on pense par exemple aux œuvres de Léon Walrass ou de Vilfredo Pareto.

vouloir parcourir toute cette étendue. Nous ne désirons pas, par ailleurs livrer une histoire philosophique de cette théorie. Nous nous sommes donc limités premièrement à l'empirisme-logique, deuxièmement à certains textes seulement des empiristes-logiques.

Nous nous sommes limités à l'empirisme-logique, outre notre sympathie pour ce courant, car c'est le mouvement qui a conduit le plus loin, et tenté d'élaborer le plus précisément possible, la théorie coordinative de la connaissance. La distinction au fondement de cette théorie épistémologique est, en effet, une distinction pour ainsi dire fondatrice du mouvement néo-empiriste.

Au sein de l'empirisme-logique, nous avons restreint notre étude à des textes, même parfois seulement à des passages de textes, où la critique de la théorie coordinative est évidente, et où le caractère problématique de la définition des concepts métriques est reconnu. Ce sont les textes de Hans Reichenbach qui se trouvent le plus souvent à l'intersection de ces deux critères. Dans son livre de 1920, sur lequel nous reviendrons longuement en section II, B, inspiré par la récente révolution relativiste, il se montre particulièrement critique envers une certaine manière de concevoir l'épistémologie coordinative. Cela le conduit à des thèses qui auront une importance cruciale pour notre construction d'un empirisme historique.

La théorie de la relativité, comme nous l'avons déjà indiqué, agit comme un véritable catalyseur des thèses philosophiques dans les années vingt et trente du XX^{ème} siècle. Il n'est pas question non plus, pour nous, de faire l'histoire des débats acharnés qu'a lancés la théorie révolutionnaire d'Einstein. Nous nous attacherons néanmoins à étudier en détail cette période, dans la deuxième partie, mais seulement pour mettre en avant deux auteurs, Moritz Schlick et Hans Reichenbach, dont les conceptions se sont construites autour de la théorie de la relativité. Tous deux y voient en effet une occasion inédite de mettre en application la théorie coordinative de la

connaissance.

Le problème qui nous guidera tout au long de l'étude de textes de ces deux auteurs, et des critiques qu'ils ont échangées par voie épistolaire, est celui de la confrontation de trois positions sur l'interprétation des théories sur l'espace et le temps : l'apriorisme, le conventionnalisme et l'empirisme. Ces positions sont aussi au cœur de la compréhension du problème de la définition des concepts de grandeurs physiques.

Attardons-nous dès à présent sur ce dernier problème. Cela nous permettra de délimiter encore plus précisément le cadre de la théorie coordinative de la connaissance, dont le problème de la définitions des concepts métriques en est comme le condensé représentatif.

Le problème peut être résumé par la question suivante : comment définir les concepts métriques ?

Nous désignons par l'expression « concept métrique » toutes les grandeurs que manipulent les physiciens, tant dans leur travail théorique, qu'expérimental : la longueur, la masse ou la température en sont les exemples les plus classiques, mais la liste peut être prolongée ; le temps, la vitesse, la force, l'énergie, l'entropie, la différence de potentiel, la tension de surface, etc.⁶

Que la définition de ces concepts pose réellement un problème, n'apparaît pas de manière immédiate. Les physiciens ne les manipulent-ils pas quotidiennement ? Les manuels n'en donnent-ils pas des définitions claires et distinctes ? Les grandeurs physiques fondamentales ne font-elles d'ailleurs pas directement appel à nos sens, ou à notre intuition immédiate ?

C'est qu'en réalité, le caractère problématique de la définition de ces concepts ne surgit pas dans le contexte de la pratique normale de la science ; ni dans l'apprentissage des théories

6 Les physiciens ne sont pas les seuls à utiliser des concepts de grandeur dans leurs théories. Les économistes, par exemple, le font aussi. Nous ne nous intéressons ici qu'aux grandeurs des théories physiques mathématisées. Nous ne voulons pas, pour l'instant, proposer de définition des concepts de grandeur. Nous voulons exposer les problèmes que soulève la tentative de formuler une telle définition. Nous nous contentons donc de commencer avec une définition d'usage.

classiques ; ni dans les domaines théoriques ou expérimentaux, qui ne se confrontent pas directement aux limites instrumentales, ou conceptuelles, de notre savoir.

Le caractère problématique de ces définitions ne devient sensible que dans des situations particulières du développement de la science. Il est possible de diviser ces situations particulières en deux types différents.

D'un côté il y a les situations de *crise* et de *révolution scientifique*, au cours desquelles des théories incompatibles entrent en concurrence, et où une seule en ressort gagnante. Durant ce processus, qui pour l'historien des sciences Thomas Kuhn est caractéristique du progrès scientifique⁷, les concepts, surtout les plus fondamentaux, comme ceux de longueur ou de temps, font l'objet d'une critique et d'une redéfinition quasiment systématique. Ainsi une analyse critique du concept de simultanéité peut conduire à la redéfinition des notions de longueur et de temps.

D'un autre côté, dans la pratique « normale » de la science, les progrès de l'instrumentation peuvent conduire les savants à réviser en profondeur les définitions et les relations entre les concepts métriques. Ainsi, les progrès de la mesure du temps – un progrès en précision, mais aussi par rapport à l'amplitude de l'intervalle mesuré – ont permis la définition rigoureuse de grandeurs comme la vitesse, la quantité de mouvement ou l'accélération. Comme le montre Hasok Chang, les progrès techniques en thermométrie, ont aussi contribué à la clarification et à la rigourisation du concept de température.⁸

Ce qu'il y a de commun à ces deux types de situations, est le fait que les savants se confrontent dans les deux cas, aux limites de leurs connaissances ; des limitations qui peuvent être théoriques (des instruments très précis, voire trop précis, existent, mais aucune théorie n'a été formulée pour rendre compte de manière unifiée de tous les phénomènes) ou bien expérimentales (des théories, ou tout au moins des prédictions, sont formulées, mais il n'existe encore aucun

7 Voir Thomas Kuhn, *La structure des révolutions scientifiques*, Champs-Flammarion, 1983.

8 Voir Hasok Chang, *Inventing temperature, measurement and scientific progress*, Oxford University Press, 2004.

instrument de mesure – accélérateur ou télescope par exemple – suffisamment puissant ou précis pour les tester).

Dans ces situations *à la limite*, le caractère problématique de la définition des concepts métriques se manifeste de la manière la plus évidente. Tentons maintenant de préciser exactement ce qui pose problème dans ces définitions.

Deux choses peuvent poser problème dans ces définitions. Premièrement, les relations avec les autres grandeurs. Ainsi la vitesse, qui semblait être, avant la révolution galiléenne, une grandeur intensive indépendante, devient, après l'épisode révolutionnaire, une fonction de la distance et du temps. Cette nouvelle *définition théorique*, permet de concevoir de nouvelles *manières de mesurer* la vitesse *moyenne*. Puis, l'invention du calcul différentiel et intégral – une autre révolution théorique – permet d'ajouter un sens supplémentaire au concept métrique de vitesse, celui de vitesse *instantanée*, pour lequel il devient alors possible d'imaginer de nouvelles méthodes de mesure (par l'intensité de l'impact, par exemple).

D'un côté donc, des progrès théoriques suscitent l'invention de nouvelles méthodes de mesure, pour la *même* grandeur. Mais d'un autre côté les progrès instrumentaux peuvent conduire à de nouvelles méthodes de mesure, sans qu'il y ait un progrès théorique fondamental correspondant, comme lorsque la mesure d'une grandeur au delà d'un certain seuil empirique est rendue possible par un nouvel instrument. Chang en donne de nombreux exemples avec le concept de température : le thermomètre à alcool n'est bon que pour mesurer des températures inférieures au point d'ébullition de l'alcool ; au delà de ce point il faut trouver un autre type de thermomètre, par exemple celui à mercure ; mais dans les deux cas la définition théorique de la température, en fonction⁹ de la dilatation des corps, est la même.

Ainsi il devient évident qu'il existe *deux manières*, bien différentes, de définir un concept

9 Dans ce cas, c'est la forme de cette fonction qui pose problème. Voir H. Chang, *op. cit.*

métrique. Il est possible de le définir de manière *purement théorique*, en donnant la relation qu'il entretient avec d'autres concepts, comme lorsque l'on dit que la *vitesse* d'un objet est proportionnelle à la *distance* parcourue, et inversement proportionnelle au *temps* mis à la parcourir. Cette définition prend généralement la forme d'une *équation* mathématique, où les grandeurs physiques sont représentées par des *variables* mathématiques, reliées entre elles par des *fonctions*. Si G désigne une variable mathématique représentant une grandeur, V_n des variables mathématiques représentant d'autres grandeurs, et f une fonction quelconque, alors la définition théorique d'une grandeur est de la forme suivante :

$$G = f(V_1, V_2, V_3, \dots V_{n-1}, V_n)$$

Mais il est aussi possible de définir *empiriquement* une grandeur physique, en faisant la liste de toutes les *méthodes de mesure* disponibles pour cette grandeur. Qu'est-ce que la température ? C'est ce que l'on mesure quand on utilise un thermomètre à alcool, *ou* un thermomètre à mercure, *ou* une loi de refroidissement, *ou* etc. La proposition constituée par cette longue série de disjonctions est une définition *empirique* de la grandeur en question. Si G désigne un concept de grandeur, et si les M_n désignent des méthodes de mesure, alors la définition empirique d'une grandeur est de la forme suivante :

$$G \text{ est identique à } (M_1 \text{ ou } M_2 \text{ ou } M_3 \text{ ou } \dots \text{ ou } M_{n-1} \text{ ou } M_n)$$

ou, selon le formalisme logique :

$$G \equiv (M_1 \vee M_2 \vee M_3 \vee \dots \vee M_{n-1} \vee M_n)$$

la disjonction étant, bien évidemment, *inclusive*. On suppose, en outre, que les méthodes de mesure disponibles sont *en nombre fini*.

Nous avons, à présent, les éléments pour énoncer clairement le problème de la définition des concepts métriques : la *fonction mathématique* définissant une grandeur peut-elle être mise en rapport avec la *proposition disjonctive* énumérant les méthodes de mesure disponibles pour la mesurer ? En d'autres termes, nous nous posons la question suivante :

$f(V_1, V_2, V_3, \dots, V_{n-1}, V_n)$ peut-il être coordonné à $(M_1 \vee M_2 \vee M_3 \vee \dots \vee M_{n-1} \vee M_n)$?

Il faut remarquer que la physique mathématisée, qui représente les grandeurs par des variables mathématiques, peut avoir son origine dans les thèses nouvelles de Galilée. Mais ce n'est pas avant le XVIII^{ème} et surtout le XIX^{ème} siècle qu'une formalisation rigoureuse de cette conception est effectuée.

C'est chez Helmholtz que l'on peut trouver de la manière la plus claire les premières tentatives de morphisme entre les opérations sur des grandeurs mathématiques, et des opérations physiques sur des objets (ou des propriétés d'objets). Par exemple, si l'on veut pouvoir représenter une grandeur physique par des nombres, il faut qu'il existe certaines opérations physiques sur les objets et leur propriétés, qui miment les opérations mathématiques sur les nombres. Si l'on met bout à bout deux bâtons, leurs longueurs s'additionnent, et pourvu qu'une unité soit donnée, alors il est possible de représenter cette « addition » physique des longueurs par une addition mathématique de nombres.

Nous appelons *coordination*, ce rapport qui est fait entre les propriétés d'un ensemble

d'opérations physiques d'un côté, et les propriétés mathématiques d'un ensemble abstrait (par exemple de nombres) d'un autre. Ce terme, qui traduit l'allemand *Zuordnung*, provient de la théorie des fonctions mathématiques.

Le développement de ce problème sera l'objet de la première partie. Nous y montrerons que le défi qui se pose à la définition des concepts métriques consiste à accorder ces deux manières, très différentes, de définir les grandeurs physiques. Cela revient à déplier les composantes de ce problème au sein de l'épistémologie coordinative. Nous n'avons donc pas choisi un ordre historique, mais un ordre analytique et problématique, bien que notre étude se focalise sur des auteurs bien situés historiquement.

Après un développement du problème que nous n'avons que sommairement décrit, nous analyserons en détail les thèses opérationnalistes de Percy W. Bridgman. Ce ne sera pas pour nous ranger aux thèses de cet auteur, ni au contraire pour les critiquer, mais pour mettre en avant une attitude que nous n'avons trouvée que chez ce physicien de la première moitié du XX^{ème} siècle.

Bridgman est un auteur intéressant pour plusieurs raisons. Tout d'abord, il fait partie des premiers physiciens à s'intéresser et à vouloir répandre la théorie de la relativité. Deuxièmement, il s'inscrit, nous le montrerons, au sein de la théorie coordinative de la connaissance de manière très caractéristique. Et troisièmement, et c'est là la chose la plus intéressante, son attachement à l'épistémologie coordinative se fait avec, de sa part, beaucoup d'embarras.

Nous aimerions aller à l'encontre d'une compréhension commune des thèses opérationnalistes de Bridgman. Ce dernier affirme certes bien que la signification des concepts métriques doit être réduite, par le moyen de définitions opérationnelles, à des opérations de

mesures. Mais il le fait pour souligner l'aspect problématique de ce genre de définitions. Cette affirmation s'accompagne d'une analyse critique de la représentation mathématique : il s'agit de mettre en garde le savant contre certaines illusions du langage mathématique. Bridgman est, en tant que physicien expérimentateur embarrassé par ces deux choses : 1) les mathématiques ne représentent pas correctement les phénomènes ; 2) les seules définitions rigoureuses que l'on pourrait donner aux concepts métriques (les définitions opérationnelles) ne sont pas suffisantes pour rendre compte de leur signification réelle.

Face à cet embarras, il y a d'abord deux solutions. Soit tenter de définir les concepts métriques uniquement par l'intermédiaire de l'observation, de l'expérience, et des opérations de mesure, en rejetant toute généralisation mathématique ou théorique jugée comme douteuse. Soit tenter de définir les concepts métriques de manière purement théorique grâce à une analyse axiomatique des principes et des postulats sans se soucier de leur mesurabilité effective.

Hasok Chang, à travers son analyse historique du minimalisme de Regnault et la mise en évidence de ce qu'il nomme des « principes ontologiques » donne un exemple des limites de la première solution.

David Hilbert, avec certains des cours qu'il a donné dans les dernières années du XIX^{ème} siècle, et par l'intermédiaire de la conception des théories physiques sous-entendue par la formulation du sixième des vingt-trois problèmes, explore et indique les impasses de la deuxième solution.

Dans les deux cas, l'analyse aboutit toujours à des principes qui ne sont jamais ni purement mathématiques, ni totalement empiriques, et qui sont pourtant nécessaires à la compréhension des concepts métriques. Ce sont ces principes que nous nommons, à la suite de Reichenbach, des principes de coordination.

Car il existe une conception qui évite l'opposition stérile des pseudo-solutions présentées en première partie. Il s'agit de la position de Reichenbach en 1920. Ce sera l'objet de la deuxième partie.

Or il n'est pas possible de saisir l'originalité de la position de Reichenbach si l'on n'expose pas d'abord l'une des théories épistémologiques contre laquelle elle se construit : la théorie générale de la connaissance de Moritz Schlick. Nous exposerons donc les thèses de ce dernier que l'on peut caractériser comme celles d'un empirisme conventionnaliste, dans la mesure seulement où elles permettent d'éclairer les idées de Reichenbach.

Dans l'ouvrage capital de Schlick, la *Théorie Générale de la connaissance*, publié en 1918, et qui délimite la période dite « pré-positiviste » pendant laquelle le Cercle de Vienne n'était pas encore formé, est donné un critère précis de la vérité pour une théorie physique. Une théorie physique est pour Schlick vraie, si et seulement si il existe une et une seule interprétation empirique de sa formalisation axiomatique, autrement dit s'il y a une *univocité de la coordination*.

Il est parfois nécessaire, pour assurer cette univocité, d'ajouter aux axiomes de la théorie, des *principes conventionnels* qui restreignent la théorie exactement aux phénomènes ciblés. Schlick pose ainsi les bases d'un empirisme conventionnaliste, tout en libéralisant les distinctions kantienne : la plupart des lois d'une théorie sont d'origine expérimentale, et sont vérifiées par l'expérience (synthétique *a posteriori*), d'autres sont purement formelles et conventionnelles, comme de simples définitions (analytique *a priori*).

Ensuite, les idées de Reichenbach tournent toutes autour d'une conception « relativisée » de l'*a priori*. Cette notion tend chez Reichenbach à devenir celle d'un *a priori* fonctionnel et historique. Nous voulons avant tout montrer que cette conception est tout à fait compatible avec un empirisme engagé.

Dans son premier livre, publié en 1920, *La théorie de la relativité et la connaissance a priori*¹⁰, Reichenbach élabore une interprétation de la physique relativiste un peu différente de celle de Schlick. Bien qu'empiriste dans l'esprit, elle tente toutefois de réintroduire la notion de proposition synthétique *a priori*, qui avait été éjectée hors du champ de l'épistémologie par Schlick. Mais le concept d'*a priori* y est, selon l'expression des commentateurs, « relativisé ». Pour Reichenbach, il y a deux sens d'*a priori* chez Kant : nécessairement vrai, et constitutif de la notion d'objet. Le jeune philosophe ne retient que le second sens : une proposition *a priori* n'est donc pour lui pas nécessairement vraie, bien qu'elle soit constitutive du concept de l'objet qu'elle décrit. Les propositions synthétiques *a priori* de la physique sont selon lui révisables sur la base de l'expérience bien qu'elle soient en même temps constitutives de l'objet physique.

Cette révision du concept de l'*a priori* permet à Reichenbach de prononcer deux critiques à l'égard de la théorie schlickéenne de la connaissance. Premièrement la relation entre une théorie physique axiomatisée et le réel empirique ne correspond pas, selon lui, à une coordination entre deux ensembles prédéfinis (avec d'un côté la structure mathématique, et de l'autre côté les résultats d'expérience par exemple). Le côté du réel empirique, explique le jeune philosophe, n'est pas défini indépendamment de la théorie physique, il trouve au contraire cette définition à travers la coordination elle-même.

Cela implique la deuxième critique. Comme les principes de coordination ne peuvent pas être purement conventionnels (il sont en effet constitutifs selon Reichenbach), ils ne peuvent pas être ajoutés à la structure théorique de manière *ad hoc*, pour préserver l'univocité de la coordination. C'est pourquoi Reichenbach critique de manière assez radicale ce critère d'univocité : il n'est pour lui jamais réalisé complètement, mais seulement de manière approché, à travers un processus dynamique qu'il nomme la « méthode des approximations successives ».

Enfin, en étudiant la correspondance entre les deux philosophes, qui se déroula durant la fin

10 Hans Reichenbach, *The theory of relativity and a priori knowledge*, University of California Press, 1965.

de l'année 1920, nous expliquerons pourquoi nous pensons que, contrairement à ce que certains commentateurs affirment, Reichenbach ne s'est pas rangé à une position conventionnaliste dans la lignée de Schlick, même si il modifie son vocabulaire pour en effacer les traces de son apriorisme.

Nous voulons montrer, dans la troisième partie, que les éléments développés par Reichenbach en 1920 se retrouvent dans certains passages des œuvres de Rudolph Carnap. Il n'est pas question ici de reconstituer l'évolution du programme carnapien. Nous voulons simplement montrer que les éléments propres à construire un empirisme prenant en compte la dimension historique de la définition des concepts de grandeurs se retrouvent aussi chez ce philosophe pourtant formaliste. La traque de ces passages révélateurs se fera en toute neutralité vis-à-vis des critiques quiniennes visant à dénoncer l'anti-naturalisme de Carnap. Quoi qu'il en soit de ces critiques, et de la manière dont elles ont été rectifiées par les thèses de Alan Richardson ou de Michael Friedman, nous voulons montrer qu'elles ne touchent pas aux passages qui nous intéressent.

La figure de Hempel est plus ambiguë. De part l'auto-critique qu'il a adressée à son propre programme empiriste, il est souvent retenu que l'empirisme-logique est tombé dans une impasse. Nous voulons montrer, à travers l'étude de certains de ses textes, que ses conceptions sont si explicitement engagées dans une épistémologie coordinative radicale, qu'il est en effet difficile de répondre à certains problèmes évidents. Nous proposons une étude de ce philosophe pour montrer, par contraste, comment il est possible de ne pas tomber dans les problèmes qui ont mis un terme au courant empiriste-logique.

Finalement il nous faudra poser les bases de ce que nous avons appelé un « empirisme historique ».

**Partie I – Les problèmes de définitions des concepts métriques
et les fondements de l'épistémologie coordinative**

Le concept de grandeur et la coordination

Dans cette première partie nous allons expliquer en quoi les tentatives de résolution des problèmes de la mesure sont liées à une nouvelle forme de théorie de la connaissance, que nous allons appeler « épistémologie coordinative », ou « épistémologie de coordination ».

Cette épistémologie voit peu à peu le jour, au cours du développement du questionnement historique et philosophique de l'activité scientifique, à la fin du XIX^{ème} siècle et au début du XX^{ème}. La découverte des géométries non-euclidiennes, des axiomatisations alternatives de la mécanique¹, alimente, dans les universités allemandes tout particulièrement, une réflexion qui dépasse largement le cadre de la seule physique mathématique.

Mais ce qui se situe au centre de notre problématique est le changement de statut du concept de grandeur. Auparavant perçu comme une réalité (de la nature ou de l'intuition) il est progressivement perçu comme une construction physico-mathématique, susceptible de prendre des formes différentes.

Nous nous proposons d'étudier comment cette transformation du statut du concept de grandeur modifie l'épistémologie sous-jacente aux mathématiques et à la physique. Mais nous ne nous y intéresserons qu'à partir du XX^{ème} siècle. Car c'est seulement à partir de ce nouveau siècle les savants prennent suffisamment de recul pour formuler clairement ce que possède de problématique le concept de grandeur. Le problème ne devient parfaitement clair, selon nous, qu'après la publication par Hilbert de son *Axiomatisation de la Géométrie*, et de sa conférence de

1 Nous parlons ici de la mécanique laplacienne, hamiltonienne, mais aussi des présentations de Hertz ou de Mach.

1900.

À partir de ces avancées le concept mathématique de grandeur ne trouve sa définition que dans des systèmes d'axiomes, indépendants de toute intuition ou source empirique. L'application de ce concept dans le champ de la physique et de la mécanique devient alors problématique : comment un concept défini de manière mathématique (par des définitions implicites) peut-il être appliqué à la description du réel empirique, qui n'est pas – affirmons-le – de nature mathématique ?

Et surtout, comment la rigorisation des mathématiques rend nécessaire d'établir des liens entre la théorie et l'expérience ?

I. A) Les problèmes de définition des concepts métriques

Afin de commencer cette étude nous allons nous demander comment définir le plus précisément possible un concept de grandeur. Comme nous l'avons déjà vu dans l'introduction, une définition qui se veut complète, en raison de l'origine mathématique de ces concepts, se doit d'être double. Il faut d'un côté une définition mathématique du concept, de l'autre une description des méthodes de mesure empirique.

Nous appellerons, en suivant Bridgman (sur qui nous reviendrons plus loin), la description d'une méthode empirique de mesure, une *définition opérationnelle* de la grandeur à définir. La définition physico-mathématique, s'exprimant le plus souvent à travers une formule (comme $F = G \cdot mm / r^2$), sera désignée sous l'appellation de *définition formulaire*.

Or, même si cela est parfois le cas, la définition opérationnelle n'est souvent pas la description d'une opération de mesure utilisant uniquement la loi servant de définition formulaire.

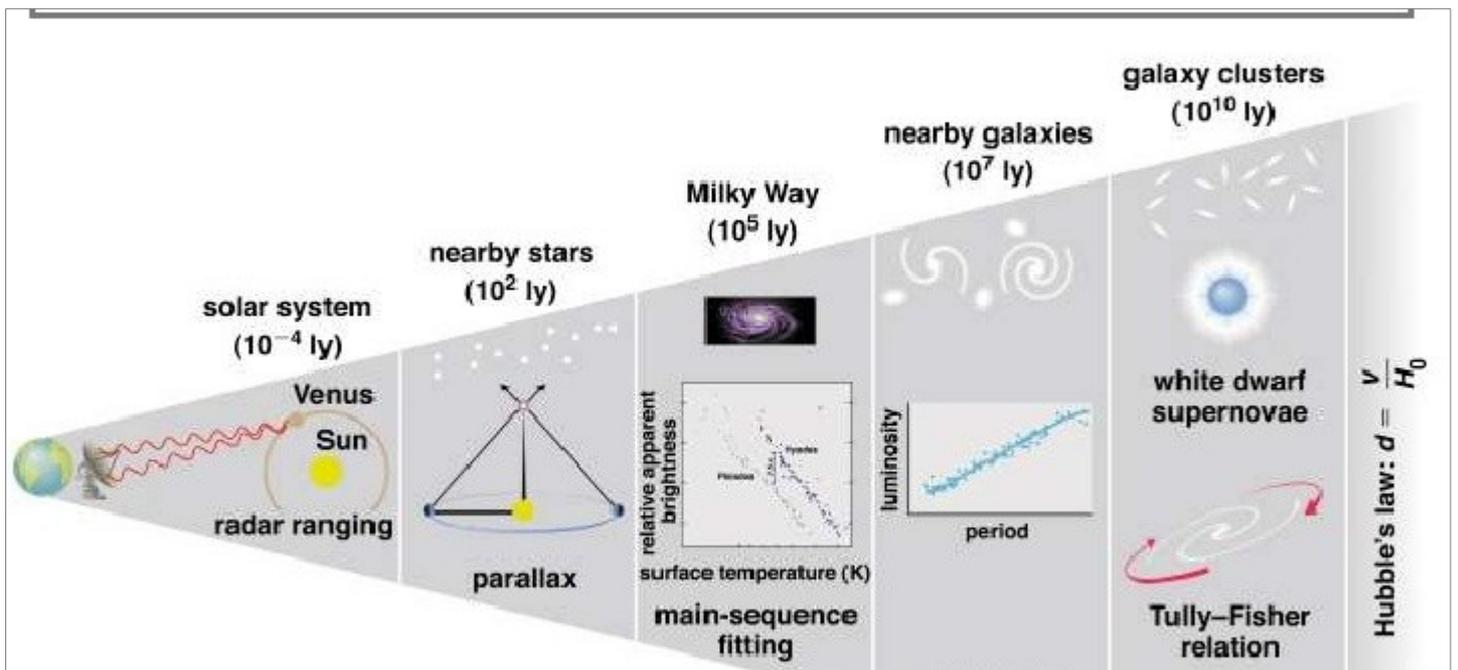
1 – L'exemple de la distance

Prenons l'exemple de la distance. En physique classique, et dans un repère du plan cartésien, la définition formulaire de la distance entre deux points est la suivante :

$$d = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Or cette formule n'est que d'une utilité limitée pour mesurer physiquement une distance. Il faut, à un moment donné, utiliser des instruments de mesure. Par exemple une règle graduée. Mais la règle graduée ne peut servir qu'à des mesures de l'ordre de grandeur du décimètre. Pour des mesures dans un ordre de grandeur plus grand ou plus petit il faut utiliser d'autres instruments, d'autres techniques, d'autres stratégies.

Ainsi l'échelle des distances, de la plus petite distance à la plus grande que nous soyons capable de mesurer, se reconstruit à partir d'une multitude d'opérations, d'instruments, de lois. Et toute cette multitude ne suffit pas à couvrir l'infinité des valeurs permises par la définition formulaire, qui ne limite les valeurs de la distance qu'à l'intervalle réel $[0, +\infty]$.



Ci-dessus un schéma représentant l'échelle des distances cosmiques en fonction de la méthode de mesure employée. L'unité est l'année lumière (*light year* en anglais, *ly*).

Nous voyons très bien que chaque méthode utilise des procédés totalement différents qui reposent chacun sur des connaissances très spécifiques concernant des objets cosmiques particuliers

(céphéïdes, supernovae, naines blanches, etc.) à la fin de l'échelle, le recours à la loi de Hubble est nécessaire. Mais il devient alors impossible de vérifier cette loi à l'échelle concernée (on se fie alors à une extrapolation). Et nous sommes alors confrontés au problème, identifié par Bridgman, comme nous le verrons quelques pages plus loin, de la définition des concepts aux extrêmes de l'échelle : à cette échelle la notion de distance n'est plus indépendante des autres grandeurs apparaissant dans la loi de Hubble.

Il y a donc un fossé entre l'intervalle des valeurs théoriques possibles de la distance² et les valeurs expérimentales effectivement mesurables. Ce fossé ne concerne d'ailleurs pas seulement les extrémités de l'intervalle. Les opérations de mesures ne conduisant, quoi qu'il arrive, qu'à des mesures approchées, non infiniment précises, les valeurs obtenues ne s'expriment en développement décimal, qu'avec un nombre de décimales fini³. Autrement dit, les valeurs effectivement mesurables se situent toujours dans un intervalle de valeurs rationnelles (et non pas réelles).

Pour résumer, les valeurs théoriques possibles sont définies sur l'intervalle réel $[0, +\infty]$. Mais les valeurs expérimentales effectivement mesurables sont définies sur l'intervalle rationnel $[n, N]$, avec n et N respectivement le plus petit et le plus grand rationnel accessible à la mesure. Si la théorie physique n'est pas menacée d'une révolution imminente, l'intervalle rationnel est en général intégralement compris dans l'intervalle réel.

2 Nous ignorons ici volontairement les limitations que des théories spécifiques, comme le Modèle Standard des Particules, ou le Modèle Standard Cosmologique pourraient imposer aux valeurs dans les échelles de grandeur extrêmes.

3 C'est-à-dire que leur développement décimal conduit toujours à une série infinie de zéro au bout d'une série finie d'autres chiffres.

2 – Les différents types possibles de définition des concepts métriques

Il y a plusieurs manières de définir des concepts. Au sein de la période qui nous intéresse, la définition implicite devient un outil approprié pour définir les concepts abstraits comme ceux des mathématiques. Elle permet en effet, à la fois une définition exhaustive – qui recoupe tous les usages possibles d'un terme dans un système formel, ou qui épuise l'extension du concept défini – sans pour autant avoir à fournir un énoncé sur la nature, l'essence, ou encore l'intension du concept.

Le projet schlickéen d'élargissement de la méthode axiomatique hilbertienne à toutes les sciences physiques suppose ainsi de pouvoir donner une définition implicite des concepts de grandeur en physique. Dans l'esprit de la philosophie de Schlick, cette définition se doit d'être exhaustive (complète) afin d'assurer l'univocité de la théorie.

L'idée de Schlick est que la définition implicite d'un concept au sein d'un système axiomatisé est nécessairement complète, ou exhaustive.⁴ La découverte de nouvelles lois ou principes non déductibles des précédents (à condition qu'ils soient compatibles avec les principes et les lois précédemment établis) se faisant nécessairement de manière cumulative, ils n'ont qu'à être ajoutés à la liste des axiomes. La définition d'un concept de grandeur, apparaissant dans cette loi ou ce principe, se trouve par là enrichie.

Cette idée est-elle correcte ? La définition implicite est-elle exhaustive ?

Ensuite il s'agit de savoir si la définition implicite des grandeurs physiques suffit pour faire de la physique. Il agit là d'une question pratique. Si les grandeurs ne sont définies qu'implicitement, il manque encore les procédés par lesquels il faut conduire les mesures particulières.

L'opérationnalisme est la position positiviste qui montre que ni une définition implicite, ni

4 On peut aussi se demander si une définition univoque est nécessairement complète, et inversement. Il ne semble pas. Un concept plurivoque peut être complètement défini. Mais un concept univoque est nécessairement complètement défini.

une définition exhaustive des concepts de grandeurs physiques n'est possible.

Il est possible de reconstruire l'argument de Bridgman de la sorte (son argument est systématiquement mal compris) : la seule et unique manière de donner une définition exhaustive à un concept de grandeur physique serait de réduire, de manière radicale, le sens d'un concept de grandeur, à une, et une seule, opération de mesure. Or, Bridgman dit bien cela, cela n'est pas souhaitable, car cela empêcherait la pratique de la physique plus théorique qui a besoin de concepts très étendus. Ce n'est pas une raison (ajoute Bridgman) pour oublier que tous les rapprochements sont faillibles.⁵

Pour Bridgman, la définition opérationnelle n'est pas un moyen inadéquat pour rendre compte du caractère supposément exhaustif des définitions des concepts métriques, elle est au contraire un moyen adéquat pour sans cesse rappeler au physicien qu'une définition exhaustive des concepts métriques est impossible.

D'où la question plus fondamentale : une définition exhaustive d'un concept de grandeur physique est-elle seulement possible ?

Pour Bridgman, la réponse est clairement négative. L'argument qu'il utilise est intéressant en ce qu'il se réfère à la représentation mathématique des concepts métriques. Ces derniers sont, pour leur grande majorité, représentés par des variables, parfois bornées (à zéro), mais parfois non. La longueur par exemple, peut, théoriquement, conformément à l'usage que l'on en fait en analyse mathématique avec l'intégration et la dérivation, prendre n'importe quelle valeur entre 0 et $+\infty$.

L'usage mathématique de la variable impose que le concept possède un sens pour toutes les valeurs comprises dans l'intervalle de définition théorique. Or, soutient Bridgman, les opérations de mesure sont très loin de recouvrir le champ entier de cet intervalle.

⁵ Nous renvoyons, pour une analyse plus détaillée, à la section I, A, 4, de notre travail, entièrement consacrée à Bridgman.

Premièrement l'infiniment petit n'est pas couvert, l'infiniment grand pas davantage. Mais plus intéressant encore, le résultat d'une mesure possédant nécessairement un nombre fini de décimales, l'ensemble des résultats de mesure peut se contenter d'une définition dans l'ensemble de rationnels (alors que l'usage mathématique de la variable impose une définition de cette dernière sur un intervalle de l'ensemble des réels).

Il n'est d'ailleurs pas étonnant que Bridgman en vienne finalement à critiquer cette représentation mathématique et à affirmer qu'elle ne représente pas bien la nature des concepts métriques.

Arrivés à ce point, la question est de savoir si les productions des empiristes-logiques de la deuxième génération (Carnap et Reichenbach) et de la troisième génération (Hempel), apportent ou non des solutions satisfaisantes au problème de la définition exhaustive des concepts métriques.

La reconnaissance finale par Carnap et Hempel que les systèmes des sciences physiques ne peuvent être que partiellement interprétés vient corroborer le fait que les concepts métriques ne sont pas exhaustivement définissables.

3 – Qu'est-ce qu'une définition complète, ou exhaustive ?

Une définition complète, ou exhaustive, est une définition qui détermine intégralement l'usage et/ou l'extension d'un concept.

Nous ne nous intéressons ici qu'aux définitions dans le cadre de systèmes axiomatisés. La définition explicite est une définition complète. La définition implicite en est une aussi, tout au moins pour Schlick.⁶ La manière dont un système formel (c'est-à-dire un système exprimé dans un

⁶ Pour Hilbert, au contraire, une définition implicite ne donne que des relations, et ne dit rien du type d'objet. Pour

langage formalisé) altère l'usage déjà établi d'un concept ne nous intéresse pas pour l'instant.

La définition opérationnelle, au sens réductif, celle qui prétend réduire le sens de chacun des concepts métriques à une seule opération de mesure, est complète, de manière triviale. Elle correspond en l'occurrence à une définition stipulative.

On pourrait aussi défendre l'idée selon laquelle les définitions opérationnelles sont des définitions ostensives.⁷ Russell y voyait le fondement de la science empirique. Mais les définitions opérationnelles sont trop complexes pour être ostensives, elles nécessitent en effet déjà un langage extrêmement élaboré pour être formulées.⁸

Imaginons que l'on désigne la course quotidienne du Soleil par « *bâ* ». Ce terme peut recevoir une définition ostensive (monter la course du Soleil en prononçant *bâ*). Et il peut servir d'unité de mesure du temps : « je te rendrai ton argent dans trois *bâ* ». Mais il faut ici distinguer entre le processus proprement dit et la durée de ce processus, si le terme « *bâ* » désigne indifféremment l'un ou l'autre alors il est plurivoque. Si l'on veut expliciter le sens d'unité de mesure du temps, alors la définition ostensive ne suffit plus. Il faudrait dire en effet « Par *bâ* je n'entends pas simplement le processus par lequel le Soleil parcourt la voûte céleste (geste), mais aussi la durée, le temps, que ce processus délimite », qui n'est évidemment pas une définition ostensive.

Il apparaît alors possible de définir les concepts métriques comme des descriptions définies⁹, construites sur la base de définitions ostensives. Mais alors nous retrouvons les problèmes de substituabilité du *definiendum* et du *definiens* dans les propositions ou définitions contextuelles. En

Schlick, les relations sont les seules choses à savoir à propos des objets. Pour plus de détails, voir la section I, C, entièrement consacrée à Hilbert.

7 Russell écrit par exemple, à la page 242 de *Human Knowledge* : « all nominal definitions, if pushed back far enough, must lead ultimately to terms having only ostensive definitions, and in the case of an empirical science the empirical terms must depend upon terms of which the ostensive definition is given in perception. ». Cité dans Gupta, Anil, "Definitions", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2015 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/sum2015/entries/definitions/>>.

8 À moins d'admettre une ontologie des processus (ou des opérations) où il serait possible de désigner directement un processus élémentaire et de le nommer. Mais les opérations de mesure, même les plus simples, ne ressemblent pas à des processus élémentaires, même les plus simples nécessitent une théorie pour être décrits et anticipés (considérer par exemple le battement d'un pendule, la course du Soleil, le mouvement des étoiles, le cycle des lunes, etc.).

9 Voir Bertrand Russell, « On denotation », (1905).

effet, si un concept de grandeur est introduit par une description définie (ex : « La longueur est ce qui est mesuré à l'aide d'une règle »), il est possible de mettre en défaut la substituabilité du *definiendum* et du *definiens*. Par exemple la phrase suivante est correcte : « La longueur est ce qui permet d'exprimer la distance entre la Terre et le Soleil », alors que la phrase où le terme défini est remplacé par sa définition est fautive : « Ce qui est mesuré à l'aide d'une règle est ce qui permet d'exprimer la distance entre la Terre et le Soleil ». Il est en effet impossible de mesurer la distance entre la Terre et le Soleil avec une règle graduée.¹⁰ Le problème provient du fait qu'il est possible de mesurer la distance de différentes manières, mais que selon les systèmes physiques concernés, les différentes méthodes ne sont pas toutes applicables.

Les deux solutions à ce type de problème sont :

1) Soit de réduire chaque terme métrique à une opération particulière de mesure (ou à une description définie), il s'agit de l'opérationnalisme radical, et l'on échappe au problème précédent, car la longueur-que-l'on-mesure-à-l'aide-d'une-règle n'est pas la longueur avec laquelle on mesure la distance Terre-Soleil.

2) Soit d'introduire les termes métriques par un *ensemble* d'opération de mesure, ensemble le plus exhaustif possible. C'est la solution de Bridgman dans le texte que nous allons analyser bientôt.¹¹ Cette solution a malheureusement pour conséquence que les définitions des concepts métriques ne sont pas des définitions exhaustives ; car si il est en principe possible d'énumérer toutes les méthodes de mesure *connues* d'une grandeur, il est impossible de préciser toutes les

10 Nous parlons ici d'une impossibilité pratique. Pour un développement sur la notion d'impossibilité voir la section III, C, 4.

11 Comme nous le verrons, c'est la solution qui est souvent privilégiée. Voir par exemple notre analyse des textes de Carnap dans la section III, A.

méthodes de mesure *possibles* de cette même grandeur.

Chaque opération de mesure, en effet, est limitée à un sous-ensemble de valeurs possibles sur l'ensemble qui définit la grandeur générale concernée. Par exemple, la longueur (ou distance) est définie sur \mathbb{R}^+ . Mais les longueurs accessibles à la mesure avec une règle graduée sont comprises entre 10^{-3} m et 1 m ; et encore, n'est accessible que le sous-ensemble des valeurs rationnelles de cet intervalle réel $[0,001 ; 1]$, qui n'ont pas de chiffre significatif après la troisième décimale.

Or il ne semble pas possible de reconstituer l'intégralité de l'intervalle de définition général (qui contient un nombre infini indénombrable de valeurs) avec un nombre fini d'opérations de mesure qui ne donnent chacune accès qu'un un nombre fini de valeurs. Et même si l'on se donnait un nombre infini d'opérations de mesures, se recoupant toutes sur les extrémités de leur intervalles, cela ne permettrait que d'obtenir un nombre infini dénombrable de valeurs. En réalité il n'est pas possible de reconstituer la puissance du continu avec des opérations de mesure qui ne donnent que des valeurs rationnelles limitées par la précision empirique des méthodes employées.¹²

Dans le cas où la définition serait une longue disjonction de méthodes différentes, il existe aussi le risque que les méthodes énoncées ne mesurent pas en réalité la même grandeur, ou qu'elles mesurent la même grandeur à des échelles qui ne se recoupent pas. La grandeur n'est alors définie que de manière expérimentale (ou pragmatique).

Le sens originel du « principe de coordination » est de mettre en relation l'ensemble réel infini sur lequel est défini la grandeur théorique, avec l'ensemble fini de valeurs rationnelles qui sont accessibles par les opérations de mesure.¹³ Lorsqu'un tel principe de coordination est posé, on

12 Il est certes mathématiquement possible de définir les réels à partir des rationnels en utilisant par exemple la méthode de coupure de Dedekind. Mais il n'est pas possible d'exprimer des résultats de mesure par des irrationnels. Il faudrait en effet que les opérations de mesure puissent avoir une précision infinie. Nous reviendrons sur ce problème dans la section III, B, sur Hempel.

13 Nous faisons abstraction ici du problème des dimensions physiques des grandeurs. Toutes les grandeurs physiques, en effet, sont définies par un système d'unités qui assigne à chacune d'entre elle une « dimension », en termes de

passer des mathématiques à la physique.

L'essence même de la définition par coordination est que la définition ne peut pas être exhaustive. Il est empiriquement impossible qu'elle soit exhaustive (il faudrait une infinité d'opérations de mesure, chacune infiniment précise ; ou bien une opération de mesure infiniment précise qui couvrirait tout l'intervalle réel ; les deux conditions sont empiriquement impossibles, à moins que l'intervalle réel se limite à un seul nombre).¹⁴

Dans la suite, nous allons examiner les études de Bridgman et de Hasok Chang. Le premier est un des rares savants à formuler le plus radicalement le problème de la définition des concepts métriques. Le second, dans un cheminement semblable au premier, propose une solution pour relier le double sens des concepts métriques.

4 – L'opérationnalisme (Bridgman)

Par delà les critiques

À plusieurs égards, l'opérationnalisme, tel qu'il est développé par le physicien américain Percy William Bridgman est l'une des tentatives les plus sévères pour caractériser l'incomplétude des concepts métriques.

En suivant des thèses parfois polémiques, Bridgman a le mérite de mettre en lumière les principaux problèmes liés à la définition des concepts de grandeur. Il insiste notamment sur la

longueur [L], de temps [T], et de masse [M]. Mathématiquement parlant, cela se traduit par une contrainte sur la manipulation des symboles de grandeurs : on ne peut pas, par exemple, additionner deux grandeurs de dimensions différentes. Or la définitions des ces « dimensions » ne peut pas être purement mathématique ou logique. Les dimensions d'une grandeur doivent donc, en principe, être fixées par des « principes de coordination ».

¹⁴ Remarquons que notre énoncé n'affirme qu'une impossibilité empirique? Est-il *logiquement* possible d'envisager un tel cas de figure ? Serait-il possible que la science du futur parvienne à cela ?

relation entre l'aspect mathématique du concept de grandeur (une variable dans des équations) et la réalité empirique de la mesure, pour en souligner tous les points faibles.

Que nous apprend Bridgman, à travers son analyse sur les faiblesses de la correspondance entre les mathématiques et la mesure, sur la nature des concepts métriques ?

D'un point de vue philosophique, les conceptions du physicien ont pourtant été largement critiquées par les empiristes, Hempel notamment, qui y voyait une menace pour leurs propres conceptions.¹⁵ Cette critique repose selon nous sur une mécompréhension de la position fondamentale de Bridgman.

Selon ce dernier, et d'après une phrase énormément citée, un concept métrique serait « synonyme d'un ensemble correspondant d'opérations »¹⁶. En guise d'exemple Bridgman écrit : « that is, the concept of length involves as much and nothing more than the set of operations by which length is determined ».¹⁷

Contrairement à une critique pourtant largement répandue, Bridgman ne tente pas d'assigner à chaque opération de mesure distincte, un concept métrique différent. Même si certains passages, mal lus, peuvent conduire à cette interprétation. Comme l'atteste les deux phrases précédemment citées, le physicien parle bien de *l'ensemble des opérations* de mesure. Il n'y a pas selon Bridgman, autant de concepts de longueur que d'opérations de mesure pour cette grandeur. La longueur est définie par *l'ensemble* des opérations existantes qui sont considérées comme des mesures de la longueur. Le problème devient justement de définir correctement cet ensemble d'opérations.

15 Carnap est – dans un texte au moins – plutôt en accord avec les conceptions opérationnalistes. Voir Carnap, « The Methodological Character of Theoretical Concepts ». Nous analyserons ce texte dans la section III, A. Si l'on veut avoir, par ailleurs, un aperçu des critiques, et des réponses qu'en a fait Bridgman, on peut lire avec intérêt le chapitre II de Frank, Philipp G., ed. *The Validation of Scientific Theories*, 1956 Boston : Beacon Press, qui sous le titre de « The present state of operationalism » reproduit les actes du symposium éponyme s'étant déroulé lors du colloque annuel de la « American Association for the Advancement of Science » à Boston en décembre 1953. Une des interventions à ce colloque, celle de Hempel, sera analysée dans la section III, B, 2.

16 Voilà le passage exact : « *The concept is synonymous with the corresponding set of operations* », Bridgman, Percy Williams, *The logic of modern physics*, New York, Etats-Unis d'Amérique, The Macmillan company, 1948, (par la suite *LMP*), p. 5.

17 *LMP*, p. 5.

Il y a à cet égard une distinction qui n'est jamais bien explicitée par le physicien, mais qui dirige son argumentation : la distinction entre ce qu'un savant devrait faire, s'il suivait rigoureusement la logique, et ce qu'il fait dans la pratique afin de faire progresser sa discipline. Établir une différence conceptuelle pour la même grandeur, lorsqu'elle est mesurée de deux manières différentes, est cohérent vis-à-vis de la logique, mais inopérant en pratique : même si, en droit, les opérations devraient conduire à la définition de deux grandeurs différentes, en pratique cela n'est pas justifié si, pour un certain intervalle de valeurs, les deux opérations conduisent aux mêmes résultats dans les mêmes conditions :

Strictly speaking, length when measured in this way by light beams should be called by another name, since operations are quite different. The practical justification for retaining the same name is that within our present experimental limits a numerical difference between the results of the two sorts of operations has not been detected.¹⁸

Opérer une distinction entre grandeurs est donc toujours, selon Bridgman, dicté par l'expérience. L'avantage de cette conception est qu'elle permet de se préparer à d'éventuelles reconfigurations de la définition des grandeurs : deux opérations de mesure, qui à une certaine échelle donnent les mêmes résultats dans les mêmes conditions, et qui sont par conséquent considérées comme des mesures de la même grandeur, peuvent, à une échelle différente, donner des résultats différents dans les mêmes conditions :

We must always be prepared some day to find that an increase in experimental accuracy may show that the two different sets of operations which give the same results in the more ordinary part of the domain of experience, lead to measurably different results in the more unfamiliar parts of the domain. We must remain aware of these

¹⁸ *Ibid*, p. 16.

joint in our conceptual structure¹⁹ if we hope to render unnecessary the services of the unborn Einsteins.²⁰

Mais deux opérations de mesure ne peuvent donner les mêmes valeurs que si elles utilisent la même unité. Mesurer les longueurs en pouces ou en centimètres ne donne pas lieu aux mêmes valeurs, et c'est pourtant la même grandeur que l'on mesure. Ici Bridgman est imprécis, il devrait dire que deux opérations de mesure sont des mesures de la même grandeur si à l'échelle concernée, les valeurs obtenues par l'une *sont proportionnelles* aux valeurs obtenues par l'autre ; le facteur de proportionnalité étant un simple facteur de conversion.

Or il existe de nombreuses grandeurs considérées comme différentes, et qui pourtant ne sont reliées que par une simple relation de proportionnalité linéaire²¹. Ce qui diffère dans ce cas n'est pas la nature de la relation (proportionnalité numérique), mais la nature du facteur de proportionnalité. Selon que ce facteur change avec le changement d'unité ou avec le changement de système, il représente une constante de nature différente. Si ce facteur représente par exemple une constante « universelle » alors les deux grandeurs sont considérées comme différentes.²²

On pourrait encore reprocher à Bridgman de ne pas tenir compte de la dimension des grandeurs, reproche qui serait particulièrement injustifié, le physicien étant l'un des premiers à avoir publié un livre sur le sujet.²³

19 Le caractère anti-platonicien d'une telle affirmation, que Bridgman, soit conscient ou pas, nous semble assez évident. Voir Platon, *Phèdre*, 265 e – 266 b, où Socrate parle de « découper les espèces selon les articulations naturelles ». Pour Bridgman il ne semble pas y avoir d'articulations « naturelles », mais seulement « conceptuelles ».

20 *Ibid*, p. 24.

21 C'était le cas, par exemple, du travail et de la chaleur, reliés dans la loi d'équivalence travail-chaleur par la constante de Joule. La proportionnalité n'est d'ailleurs pas le seul critère pour assimiler deux grandeurs, puisqu'il est possible de définir des grandeurs sur des échelles logarithmiques.

22 Sur ce problème voir Norman Campbell, *Physics : The Elements*, (1924) et *An account of the principles of measurement and calculation* (1928), Brian Ellis, *Basic concepts of measurement* (1968), Jean-Marc Lévy-Leblond, « On the conceptual nature of the physical constants », *La Rivista del Nuovo Cimento* (1971-1977) 7, n^o. 2 (1977): 187–214 ; et enfin le résumé de leur positions que nous avons réalisé dans notre mémoire de master 2, « Le statut des constantes de la physique entre réalisme et conventionnalisme : l'historicisme propre à la formation des concepts de grandeurs », soutenu le 11 juin 2011, sous la direction de Nadine de Courtenay.

23 P. W. Bridgman, *Dimensional analysis*, Yale University Press, (1922).

L'épistémologie coordinative sous-jacente

La radicalité de la position de Bridgman ne consiste donc pas dans le fait qu'il multiplierait inutilement les concepts d'une théorie (ce qu'il ne fait clairement pas) mais réside plutôt dans la tentative de réduction de la *signification* des concepts métriques à des opérations de mesure. Cette analyse *sémantique* doit pourtant être envisagée avec beaucoup de précautions. Premièrement Bridgman n'est pas tellement intéressé par le *contenu* sémantique des concepts (c'est-à-dire par la définition intensionnelle de ces derniers) , mais plutôt, pour ainsi dire, par la *forme* de leur définition.

Bridgman, en effet, développe une conception qui n'est pas exactement compréhensible si elle n'est pas rapportée à l'épistémologie coordinationniste, à laquelle il adhère implicitement. Selon cette épistémologie, il doit y avoir une correspondance *univoque* entre l'expérience et la théorie. Or quel est le moyen le plus direct de réaliser l'univocité de cette correspondance sinon de restreindre formellement la définition d'un concept métrique à l'ensemble des opérations de mesure disponibles à un moment donné du développement scientifique ? :

We must demand that the set of operations equivalent to any concept be *a unique set*, for otherwise there are possibilities of ambiguity in practical applications which we cannot admit.

[...]

It is evident that if we adopt this point of view towards concepts, namely that the proper definition of a concept *is not in terms of its properties but in terms of actual operations*, we need run no danger of having to revise our attitude towards nature. For if experience is always described in terms of experience, *there must always be correspondence between experience and our description of it* [...]²⁴

24 LMP, pp. 6-7. Nous soulignons. Remarquons aussi que Bridgman conçoit implicitement la définition des concepts métriques comme une définition stipulative (où l'on montre l'objet), et non comme une définition nominale. Bridgman parle bien de relier les concepts métriques à des *opérations*, non à l'*énoncé décrivant ces opérations*.

Autrement dit, la position de Bridgman ne prétend pas révéler le contenu sémantique des concepts métriques : il ne s'agit pas, écrit le physicien, de détailler les « propriétés » des concepts (Bridgman parle bien ici d'une éventuelle définition intensionnelle, et non extensionnelle des concepts). Bridgman veut plutôt faire remarquer que la restriction de leur définition à des opérations effectivement réalisables élimine les possibles ambiguïtés, c'est-à-dire *garantit l'univocité de la coordination*. Si en effet la définition est limitée aux opérations effectivement réalisables, il n'y a plus de risque qu'un progrès de la physique conduise à rendre caduque la *signification* d'un concept. Dans l'esprit de Bridgman, la signification ne devrait pas véhiculer autre chose que les opérations de mesure.

Cela a pour conséquence qu'un concept métrique auquel ne correspondrait aucune opération de mesure (ou aucun ensemble *cohérent* d'opérations de mesure²⁵) n'est pas un concept qui viserait une propriété empirique pour laquelle aucune mesure n'est connue, mais est tout simplement un concept dénué de sens (*meaningless*) :

Applying this idea of « concept » to absolute time, we do not understand the meaning of absolute time unless we can tell how to determine the absolute time of any concrete event, *i.e.*, unless we can measure absolute time. Now we merely have to examine any of the possible operations by which we measure time to see that all such operations are relative operations. Therefore *the previous statement that absolute time does not exist is replaced by the statement that absolute time is meaningless*. And in making this statement *we are not saying something new about nature*, but merely bringing in to light implications already contained in the physical operations used in measuring time.²⁶

Implicitement Bridgman ne fait que marquer son accord avec la conception empirico-

25 Cette notion d' « ensemble cohérent » sera explicitée par la suite.

26 *Ibid*, p. 6. Nous soulignons.

conventionnaliste de la physique, pour laquelle les définitions des concepts métriques ne sont que des propositions analytiques, et non pas synthétiques. Ces définitions *ne nous apprennent rien de nouveau* à propos de la nature ; elles ne sont destinées qu'à garantir l'univocité de la coordination.

Une autre conséquence intéressante, souvent retournée à tort contre la position de Bridgman est la suivante. Si la définition des concepts métriques est formellement limitée aux opérations effectivement réalisables, alors toute prédiction théorique tombant hors du champ des valeurs accessibles à l'expérimentation est automatiquement dénué de sens. Les critiques de l'opérationnalisme ne manquent pas d'affirmer qu'il s'agit là d'une conception qui empêche tout progrès en physique (ou du moins ce progrès qui nécessite un continuel dépassement des limitations expérimentales). Malheureusement pour ces critiques, Bridgman, en bon physicien, récompensé par un Nobel pour ses travaux en physique des hautes pressions, n'affirme pas du tout que de telles prédictions doivent être rejetées, mais affirme au contraire qu'elles doivent être utilisées sous le régime d'une « extrapolation conventionnelle » :

[...] if we remember that the operations to which a physical concept are equivalent are actual physical operations, the concepts can be defined only in the range of actual experiment, and are undefined and meaningless in regions as yet untouched by experiment. It follows that strictly speaking we cannot make statements at all about regions as yet untouched, and that when we do make such statements, *as we inevitably shall*, we are making a *conventionalized extrapolation*, of the looseness of which we must be fully conscious, and the justification of which is in the experiment of the future.²⁷

L'extrapolation conventionnelle évoquée par l'auteur, et qui peut se résumer sous la forme d'un principe pragmatique²⁸, bien qu'à proprement parler dénuée de sens, n'en est pas moins

²⁷ *Ibid*, p. 7. Nous soulignons.

²⁸ Ce pourrait être un énoncé de ce type : « Il est possible d'utiliser un concept dans un champ qui dépasse celui de sa définition stricte, pourvu que cette utilisation repose sur un espoir bien fondé de mesure effective » ; il est

« inévitable » et nécessaire, pourvu qu'elle encourage à manipuler les concepts métriques avec prudence. Ce genre d'extrapolation constitue un exemple paradigmatique de « principe de coordination » ; elle affirme que le remplacement (ou au moins la reformulation) des définitions des concepts métriques est possible ; nous devons rajouter toutefois que cette possibilité est conditionnée par des exigences de conservation, il faut que les nouvelles définitions puissent contenir (directement ou par des passages à la limite) les définitions précédentes ; (ce sont ces exigences qui pousseront Reichenbach à voir dans les principes de ce type des propositions synthétiques).

On pourrait voir dans cette position (qui correspond à main égards aux positions des empiristes comme Schlick, Reichenbach ou Carnap) une aporie : comment est-il possible de caractériser comme analytique (et donc *a priori*) une proposition qui de toute évidence est révisable sur la base de l'expérience ?

Bridgman, qui n'est pas philosophe, n'utilise pas ces concepts. Toutefois une élaboration plus précise de cette conception se trouve dans l'ouvrage de Schlick, la *Théorie Générale de la Connaissance*, que nous analyserons dans la deuxième partie. Contentons-nous pour l'instant de dire que si ces propositions peuvent être caractérisées comme analytiques, cela provient du holisme de la vérification, tel qu'énoncé par Duhem. La définition des concepts métriques ne peut pas entrer directement en contradiction avec l'expérience. Seule l'ensemble des propositions d'une théorie le peut. Les définitions ont donc par conséquent un statut certes analytique, mais purement conventionnel (non empirique). Notons-le au passage, cette conception laisse une place royale au changement théorique : il est en effet beaucoup plus simple de remplacer une proposition analytique et conventionnelle, qu'une proposition synthétique *a priori*.

Une des caractéristiques principales de l'épistémologie de type coordinationniste, est qu'elle nécessite, pour faire simple, que les *conditions de mesurabilité*, pour ce domaine de valeurs, soient spécifiables.

permet une constante remise en cause des principes fondamentaux. À chaque nouvelle découverte empirique inattendue, l'univocité de la coordination est compromise ; il est en de même lorsqu'une prédiction tombe hors du champ des valeurs effectivement mesurables. Dans ces situations en effet, quelque chose dans la théorie (un principe, une définition, une loi empirique) doit être modifié, supprimé ou ajouté. Si les principes ou les définitions sont considérés comme de simples conventions, il devient plus aisé de les remplacer.

L'imprécision conceptuelle des mathématiques

Au-delà de cette apparente aporie, et des critiques qu'elle suscite, la conception de Bridgman est intéressante d'un autre point de vue : celui du rapport des concepts métriques à leur définition et à leur notation mathématique.

Comme nous l'avons déjà remarqué plus haut, le caractère continu et souvent illimité de la variable mathématique utilisée pour représenter les grandeurs physiques, contraste radicalement avec le caractère discontinu et borné des multiples opérations de mesure des grandeurs. Or, comme l'auteur tente de nous le faire comprendre, la définition des grandeurs physiques est relative à l'échelle considérée, et est soumise à ce que nous pourrions considérer comme un effet de seuil :

To find whether the field equations are correct on a small scale, we must verify the relations demanded by the equations between the electric and magnetic forces and the space coördinates, to determine which involves measurement of lengths. But if these space coördinates cannot be given an independent meaning apart from the equations, not only is the attempted verification of the equations impossible, but the question itself is meaningless. If we stick to the concept of length by itself, we are landed in a vicious circle. *As a matter of fact, the concept of length disappears as an independent thing, and fuses in a complicated way with other concepts,*

*all of which are themselves altered thereby, with the result that the total number of concepts used in describing nature at this level is reduced in number.*²⁹

Pour résumer, à partir d'une certaine échelle (très petite ou très grande), il devient impossible d'avoir une définition indépendante pour toutes les grandeurs caractéristiques du système. Il en résulte que certaines grandeurs auparavant distinctes, se retrouvent liées inextricablement. Dans l'exemple de Bridgman, il s'agit de vérifier si les équations de champ décrivent correctement les phénomènes à très petite échelle³⁰. Or si, à cette échelle, il n'existe pas de mesure de la longueur indépendante de la mesure des forces électromagnétiques, la vérification des équations risque de tomber dans un processus circulaire.³¹ Les différents concepts métriques (longueur, force électromagnétique) n'ont alors, à cette échelle, plus de définitions (ni d'opérations pour les mesurer) indépendantes les unes des autres : il n'y a plus, à cette échelle, de moyen pour distinguer entre une mesure de la force et une mesure de la longueur. La distinction entre ces concepts métriques n'est alors plus possible. Voilà pourquoi Bridgman affirme que le nombre total de concepts est, à cette échelle, diminué. Au lieu de manipuler deux concepts métriques bien différents (la force électromagnétique et la longueur), le physicien ne manipule plus qu'un seul concept complexe et altéré, la longueur-force. Il faut s'imaginer que dans les systèmes physiques permettant des mesures à ces échelles, la méthode de mesure disponible pour la première grandeur en question est une mesure indirecte, et que la méthode de mesure pour la deuxième grandeur en question est aussi la même méthode indirecte : ce sont par des calculs à partir de la mesure d'une troisième grandeur que sont déterminées les valeurs des deux premières grandeurs. Or si jamais l'expérience avait pour but de vérifier des lois à cette échelle, la vérification tourne en rond.

29 *Ibid*, p. 22. Nous soulignons.

30 Cette notion de « petite échelle » est relative aux instruments de mesure disponibles à une époque du développement de la science.

31 Avec Hasok Chang, nous verrons que cette circularité n'est pas nécessairement vicieuse, pourvu qu'elle se conforme à certains impératifs.

Ce phénomène de réduction conceptuel, qui surgit lorsque le physicien s'attaque aux phénomènes qui sont à la limite des capacités théoriques et expérimentales, inspire à Bridgman une critique assez radicale de l'usage des mathématiques en physique. Cette critique tranche avec la foi, généralement absolue, que certains physiciens accordent aux mathématiques dans la description, la représentation ou la prédiction des phénomènes physiques.

À partir de la page soixante de son livre, Bridgman se livre à un examen de cette conception des mathématiques comme outil miraculeux pour révéler les lois mystérieuses de la nature. Il prend l'exemple caractéristique de la géométrie euclidienne et de son rapport aux mesures empiriques réalisées sur Terre. L'approche du physicien est intéressante et originale car, au lieu de prêter au monde extérieur ou à la nature des propriétés que le langage mathématique aurait des difficultés à mimer, elle fait l'inverse – elle accorde au langage mathématique des propriétés qui sont absentes du monde extérieur :

The correspondence [between mathematics and reality] is not by any means perfect, however, but there is always in mathematics a precise quality to which none of our information about nature ever attains. The theorems of Euclid's geometry illustrate this in a preëminent degree. The statement that there is just one straight line between two points and that this is the shortest possible path between the points is entirely different in character from any information ever given by physical measurements, for all our measurements are subject to error.³²

Ce caractère abstrait ou idéalisé des mathématiques peut être considéré, par exemple au sein d'une philosophie rationaliste, comme procédant d'une faculté spéciale de l'entendement, qui rendrait l'homme capable de saisir de manière *a priori* certains principes ou certaines lois de la nature. Pour Bridgman il s'agit au contraire d'un défaut du langage mathématique, puisque ce

³² *Ibid*, p. 61.

caractère abstrait ou idéalisé fait croire au physicien que la nature s'y conforme aussi, de la même manière que les structures de la grammaire pourraient faire croire au locuteur que le monde est divisé en sujets et en prédicats. Il existe néanmoins une conception, précise Bridgman, qui tente de rendre compatible l'aspect abstrait et idéalisé des mathématiques avec le caractère faillible de la mesure empirique :

It is possible, nevertheless, to give a certain real physical meaning to the ideally precise statements of geometry, because it is a result of everyday experience that as we refine the accuracy of our physical measurements the quantitative statements of geometry are verified within an ever decreasing margin of error. From this arises the view of the nature of mathematics which apparently is most commonly held ; namely that if we could eliminate the imperfections of our measurements, the relations of mathematics would be exactly verified.³³

Dans cette conception, l'erreur de la mesure empirique serait due aux propriétés (imparfaites) de la matière, qui ne réalise qu'approximativement les idées d'où elle tire sa forme. Il faudrait alors une amélioration constante des instruments de mesure, qui vérifieraient, jusque dans l'infiniment petit, les relations mathématiques idéales et abstraites.

Pour Bridgman, une telle vision, que l'on pourrait caractériser comme une conception asymptotique du rapport entre le réel et les mathématiques, est une vision intenable empiriquement :

This idealized view of the connection of mathematics with nature could be maintained only during that historical period when the accuracy of physical measurement was low, and must now be abandoned.³⁴

33 *Ibid.* Bridgman critique implicitement le présupposé philosophique selon lequel la nature est écrite en langage mathématique : celui-ci implique en effet que si nos instruments étaient infiniment précis, les relations mathématiques permettant de décrire le réel seraient toujours exactement vérifiées. Or pour Bridgman, et c'est en cela qu'il est empiriste, un tel présupposé est illusoire : il est une extrapolation qui n'est possible qu'à une étape primaire de l'histoire de l'instrumentation.

34 *Ibid.*, p. 61.

en effet, elle suppose que la mesure empirique ne sera jamais mise en défaut et sera toujours possible à des échelles de plus en plus petites (ou de plus en plus grandes). Or pour mesurer des grandeurs de plus en plus petites (ou de plus en plus grandes), il faut des instruments de mesure non seulement perfectionnés, mais aussi totalement différents. Mesurer des longueurs avec une précision de l'ordre du dixième, voire du centième de millimètre peut encore se réaliser à l'aide de règles perfectionnées, comme les pieds-à-coulisse, mais en deçà, des systèmes optiques sont nécessaires, et font intervenir des lois dépendantes de l'optique géométrique, voire même de théories plus complexes. À des échelles plus petites encore, la prise en compte de la théorie quantique est nécessaire, et la longueur n'y a plus du tout la même définition :

For it is no longer true that the precise relations of Euclid's geometry may be indefinitely approximated to by increasing the refinements of the measuring process, but there are essential physical limitations to the very concept of length, etc., which enter the geometrical formulations, set by the discrete structure of matter and radiation.³⁵

Pour Bridgman la difficulté pour faire correspondre exactement les théories physiques mathématisées, et les résultats des mesures empiriques, n'est pas à mettre au compte de l'imperfection de ces mesures, mais à celui de l'imperfection du langage mathématique :

There is no longer any basis for the idealization of mathematics, and for the view that our imperfect knowledge of nature is responsible for failure to find in nature the precise relations of mathematics. It is the mathematics made by us which is imperfect and not our knowledge of nature.³⁶

Ce retournement, qui accorde plus de confiance à l'approximation empirique,

³⁵ *Ibid.*

³⁶ *Ibid*, p. 62.

nécessairement entachée d'erreur, qu'à l'idéalisation mathématique, est selon nous le marqueur le plus sensible de l'empirisme du XX^{ème} siècle.³⁷ Ce retournement possède une justification : l'erreur empirique de mesure est généralement circonscrite ; il est généralement possible de préciser les marges dans lesquelles une mesure a le plus de chances de se situer.³⁸ L'idéalisation mathématique, au contraire, peut entretenir l'illusion que les grandeurs physiques se comportent comme des variables mathématiques, ce qui n'est pas le cas. L'empiriste du XX^{ème} siècle préfère l'approximation à l'illusion.

Toutefois, Bridgman n'est pas dupe de la théorie mathématique de l'erreur, il la critique aussi comme une imperfection mathématique, au même titre que l'inadaptation intrinsèque des mathématiques à représenter le concept de grandeur physique :

Mathematics appears to fail to correspond exactly to the physical situation in at least two respects. In the first place, there is the matter of errors of measurement in the range of ordinary experience. Now mathematics can deal with this situation, although somewhat clumsily, and only approximately, by specifically supplementing its equations by statements about the limit of error, or replacing equations by inequalities – in short, the sort of thing done in every discussion of the propagation of error of measurement. *In the second place, and much more important, mathematics does not recognize that as the physical range increases, the fundamental concepts become hazy, and eventually cease entirely to have physical meaning, and therefore must be replaced by other concepts which are operationally quite different.*³⁹

37 Il est même radicalement empiriste, puisqu'il contredit directement, dans la théorie de Kant, le principe des axiomes de l'intuition, selon lequel « *toutes les intuitions sont des grandeurs extensives* ». Voir Kant, Emmanuel, *Critique de la raison pure*, trad. Alain Renaut, Garnier-Flammarion, 2006, p. 239 (AK, III, 148). L'affirmation de Bridgman est radicalement anti-kantienne, puisqu'elle revient à dire que la représentation des phénomènes physiques en termes de grandeurs mathématiques continues est une illusion entretenue par le langage mathématique, là où Kant disait que les phénomènes (physiques) ne pouvaient être appréhendés qu'à travers cette représentation. Plus loin (p. 240 de la traduction ou AK, III, 149) Kant écrit : « les phénomènes sont tous globalement des grandeurs, et plus précisément des grandeurs extensives, parce que, comme intuitions dans l'espace ou dans le temps, il leur faut être représentés au moyen de la même synthèse que celle par laquelle sont déterminés l'espace et le temps en général ». Pour plus de détails, voir la section III, C, 6.

38 Si l'on se réfère à la théorie de l'erreur de Gauss. Il y a une critique évidente que l'on peut alors adresser à Bridgman. Si l'erreur empirique paraît circonscrite, c'est seulement grâce à une théorie mathématique ; on ne voit pas alors pourquoi on devrait attribuer plus de confiance à cette théorie mathématique de l'erreur qu'au reste des mathématiques en général. En réalité Bridgman répond à cette critique un peu plus loin.

39 *Ibid*, pp. 62-63. Nous soulignons.

Alors que d'un côté, la théorie mathématique de l'erreur n'entretient aucune illusion quand à la nature de l'erreur, prétend Bridgman,⁴⁰ la représentation mathématique des grandeurs, d'un autre côté, instaure l'illusion que les concepts métriques conservent leur signification alors que les échelles auxquelles on les applique augmentent ou diminuent radicalement. Or, argumente le physicien, lorsque les échelles changent radicalement, les méthodes de mesure changent aussi de manière radicale, à tel point que la signification opérationnelle du concept métrique n'est plus la même ; pourtant, la représentation mathématique, qui donne le sens physique du concept, ne rend pas compte de ce changement. Bridgman illustre son propos :

For instance, the equations of motion make no distinction between the motion of a star into our galaxy from external space, and the motion of an electron about the nucleus, although physically the meaning in terms of operations of the quantities in the equations is entirely different in the two cases.⁴¹

La critique des mathématiques qui en résulte est assez sévère, et conduit à la recherche d'une représentation mathématique qui puisse rendre compte du changement de signification opérationnelle des concepts métriques lors du changement d'échelle :

The structure of our mathematics is such that we are almost forced, whether we want to or not, to talk about the inside of an electron, although physically we cannot assign any meaning to such statements. [...] What we would like is some development of mathematics by which the equations could be made to cease to have

40 Encore une fois, nous pouvons ici nuancer. Que l'erreur empirique de mesure se conforme à la théorie de Gauss n'est qu'une supposition idéalisée. La théorie mathématique de l'erreur *impose une certaine forme* à l'erreur empirique ; or il est impossible de vérifier empiriquement que l'erreur de mesure se conforme bien à cette forme mathématique, sans tomber dans un raisonnement circulaire. En réalité, la théorie mathématique de l'erreur fait aussi partie des principes de coordination. Ceci deviendra plus clair dans les sections consacrées à Reichenbach.

41 *Ibid*, p. 63. N'oublions pas qu'à l'époque de la publication (1927), si la théorie de la relativité générale et la physique quantique existaient déjà, les modèles, connus aujourd'hui sous le nom de *Modèle Standard Cosmologique* (MSC) et de *Modèle Standard des Particules* (MSP), n'avaient pas encore été formulés. La similitude entre les deux phénomènes dont parle Bridgman, pouvait alors sembler plus évidente que de nos jours.

meaning outside the range of numerical magnitude in which the physical concepts themselves have meaning.⁴²

On comprend mieux, en lisant ces écrits opérationnalistes, pourquoi les empiristes du XX^{ème} siècle ont eu tellement à cœur de séparer, dans les théories physiques, ce qui relève de l'affirmation empirique stricte, et ce qui relève du pure cadre mathématique. Il s'agit de séparer le contenu réellement empirique des théories physiques, des affirmations physico-mathématiques sur la nature des concepts métriques.

Chose étonnante, Bridgman se permet, au même endroit, une comparaison, qui n'est pas sans rappeler la critique générale du langage opérée par certains auteurs de littérature : « As at present constructed, mathematics reminds one of the loquacious and not always coherent orator, who was said to be able to set his mouth going and go off and leave it ».⁴³ Comme si les mathématiques continuaient à parler, alors qu'elles sont depuis longtemps sorties du champ dans lequel leur discours possède encore un sens, ôtant ainsi toute pertinence, et tout pouvoir prédictif, à leurs énoncés.

Cette capacité des mathématiques à sortir du champ sémantique qui leur est imposé par une interprétation strictement opérationnelle de la signification des concepts physiques, n'est cependant pas, pour le physicien américain, seulement un défaut, mais aussi un avantage. Il faut pourtant toujours garder à l'esprit les limites de cet avantage :

All experience justifies the expectation that the laws of nature with which we are already familiar hold *at least approximately* and without violent change in the unexplored regions *immediately beyond our present reach*. By assuming an unlimited validity for the laws as we know them, mathematics enables us to penetrate the twilight zone, and make predictions which may be later verified. It is only when we are carried *to far afield* that we

⁴² *Ibid*, p. 63.

⁴³ On retrouve ce genre de critique du langage comme outil incapable d'exprimer quoi que ce soit, sinon un flot de paroles vides, le rapprochant inéluctablement de la simple rhétorique, voire de la glossolalie, chez, par exemple, Pascal Quignard : Quignard, *Le nom sur le bout de la langue*, P.O.L., 1993.

must deprecate this characteristic of our mathematics.⁴⁴

Ce que l'on pourrait appeler la *puissance d'extrapolation* des mathématiques⁴⁵, est ici clairement défendu par Bridgman, qui nous rappelle cependant que tout raisonnement inductif est faillible. Le physicien ajoute toutefois une affirmation non justifiée, mais plausible pour ceux qui pratiquent la physique : l'extrapolation d'une loi physique au delà de son intervalle numérique d'origine est d'autant plus sujette à caution que cette extrapolation est ample. Mais cette affirmation de Bridgman est vague, car que signifient exactement les expressions « immédiatement au-delà de notre portée » et « trop loin en dehors du champ » ? Il est en effet difficile d'établir un seuil précis au delà duquel il deviendrait certain qu'une extrapolation est erronée. Cela dépend des lois, des phénomènes, des échelles, des intervalles spécifiques d'erreurs, liés aux grandeurs concernées, etc.

Selon cette interprétation douce de l'opérationnalisme, la doctrine se réduit donc à une triviale injonction de méfiance à l'égard des extrapolations. Il est cependant clair, après ce passage, que *l'on ne peut pas reprocher* à Bridgman de vouloir réduire radicalement le sens des concepts physiques à leur seul sens opérationnel. Si Bridgman avait vraiment voulu opérer cette réduction, il aurait été nécessaire pour lui de rejeter *toute forme* d'extrapolation, et donc tout progrès de la science.

Il reste encore un point que Bridgman souligne, qui est en parfait accord avec l'épistémologie coordinative qu'il défend. Il s'agit de l'idée que le contenu empirique d'une loi ou d'un principe physique n'est pas entièrement déterminé par la formulation mathématique de cette loi ou de ce principe :

44 Bridgman, *LMP*, p. 64. Nous soulignons.

45 Dans un tel contexte, Bachelard, par exemple, n'hésiterait pas à parler de la puissance « inductive » des mathématiques. Voir, *La valeur inductive de la relativité*, 1929, et *Le nouvel esprit scientifique*, PUF, 1934.

There is another aspect of the use of mathematics in describing nature that is often lost sight of ; namely, *that any system of equations can contain only a very small part of the actual physical situation ; there is behind the equations an enormous descriptive background through which the equations make connection with nature.* This background includes a description of all the physical operations by which the data are obtained which enter the equations.⁴⁶

Cet « arrière-plan » dont parle l'auteur contient des spécifications de toutes les méthodes de mesure ; sans elles, les équations n'expriment qu'une partie de la signification empirique. Tout se passe comme si l'appareil mathématique était uniquement destiné à conduire les lois empiriques juste un tout petit peu au-delà de ce qu'elles établissent empiriquement ; et c'est pourquoi cet appareil mathématique reste sujet à caution : le physicien ne peut jamais être certain *a priori* que les extrapolations permises par le système mathématique correspondent aux phénomènes empiriques.

La formulation de Bridgman est par ailleurs étrange. On pourrait en effet se demander quelle partie de la signification empirique véhicule le système d'équation, indépendamment de l'arrière-plan opérationnel. Il se contente de dire que cette partie est « très petite ».

Un empirisme prudent

Pour finir, les thèses de Bridgman constituent, plus qu'un manifeste opérationnaliste radical, plutôt un exemple, parmi tant d'autres à cette époque, d'épistémologie empiriste basé sur le principe que les équations mathématiques de la théorie doivent être coordonnées à la mesure par un arrière-plan, dont la nature n'est pas ici analysée en détail.

Ce point de vue n'a rien d'original, encore moins de radical. La seule caractéristique originale de Bridgman est le fait d'insister, parfois lourdement, sur la faillibilité de la représentation
46 *Ibid.* Nous soulignons.

mathématique des phénomènes, surtout dans les situations où les savants sont contraints à formuler des extrapolations, où bien dans les situations expérimentales à la limite de la mesurabilité.

Plutôt qu'une doctrine réductive sur la signification des concepts métriques, l'opérationnalisme de Bridgman est une épistémologie soulignant le caractère problématique qu'il y a à élargir un concept métrique au-delà de l'échelle de son unité.

Bridgman donne une leçon intéressante sur la manière d'envisager les concepts métriques. Bien loin de vouloir réduire leur signification de manière radicale, Bridgman porte surtout son attention aux méthodes (empiriques et théoriques) par lesquelles les savants parviennent à combler les irrégularités des concepts de grandeurs.

Mais il ne propose pas de solution quand à la manière de connecter le sens mathématique et le sens empirique d'un concept métrique – en étant toutefois l'auteur qui en souligne le plus le caractère problématique.

Dans la section suivante, consacrée au travail de Hasok Chang, nous verrons que cette connexion est réalisable, mais à un certain prix : il faut accepter certaines hypothèses fondamentales quand à la nature des concepts de grandeur, sans que l'on puisse caractériser adéquatement le statut de ces hypothèses.

Auparavant, on avait eu dans la contrée un vérificateur des poids et mesures fainéant. Depuis combien de temps – les vieux en gardaient encore la mémoire – y connaissait-on même les poids et les mesures ? On ne connaissait que les balances. Les étoffes de mesuraient avec le bras et l'on sait dans le monde entier que, du poing fermé au coude, un bras d'homme fait exactement une aune. Le monde entier sait aussi qu'un chandelier d'argent pèse une livre vingt grammes et un chandelier de cuivre jaune à peu près deux livres. Et il y avait même dans le pays bien des gens qui ne fiaient pas du tout aux balances et aux poids. Ils soupesaient sur le plat de la main, ils mesuraient des yeux. Contrée peu favorable à un contrôleur officiel.

Joseph Roth, *Les fausses mesures*, pp. 15-16.

I. B) Hasok Chang et les problèmes de la mesure empirique

Introduction : de la mesure de la température aux « principes ontologiques »

La section précédente nous a permis d'identifier certains problèmes fondamentaux liés à la définition des concepts métriques. La signification bivalente de ces concepts nécessite une liaison : il faut que leur sens mathématique – celui déterminé par les équations de la théorie – soit relié à leur sens opérationnel – celui déterminé par les opérations de mesure. Or cette liaison, comme nous allons le voir dans cette deuxième section, ne peut s'effectuer que grâce à des propositions (des hypothèses, des principes) d'un genre très particulier⁴⁷. Ces principes de liaison, souvent implicites car très généraux, n'apparaissent, comme le dit si bien Duhem⁴⁸, qu'à travers une analyse historique

47 Ces deux significations ne sont pas de même nature. Le sens mathématique est une caractérisation relationnelle qui spécifie à quels autres concepts de la théorie est relié la grandeur à définir. Le sens opérationnel n'est rien d'autre que la description des méthodes de mesures disponibles pour la grandeur à définir.

48 Voir la conclusion de Pierre Duhem, *La Théorie Physique, son objet, sa structure*, Vrin, 1914. Ainsi que l'exergue principale de cette étude.

de la physique.

Comment l'analyse historique des principes et des hypothèses de la physique permet-elle de mettre en évidence les propositions nécessaires à l'unification des deux significations des concepts métriques ?

Nous élaborerons, dans les chapitres ultérieurs, une analyse à la fois historique et formelle du concept de principe de coordination. Mais afin de cerner d'ores et déjà de quel concept épistémologique il s'agit, nous allons, grâce à l'étude historique de Chang sur le concept de température, montrer comment identifier de tels principes.

Or, et c'est là un fait épistémologique intéressant, de tels principes peuvent se rencontrer lors d'épisodes scientifiques au cours desquels des théories d'un niveau fondamental n'existent pas encore pour expliquer certains phénomènes. Au cours de ces épisodes, que cible Chang dans son étude, la science se construit essentiellement sur des bases empiriques et expérimentales, la valeur heuristique des principes théoriques existants, n'ayant peu ou pas d'importance, et pouvant même se révéler un obstacle. Néanmoins, pour que certaines expérimentations puissent prétendre à un niveau de généralisation suffisant aux exigences de la recherche scientifique, certaines « hypothèses » doivent être admises, dont la nature, si elle n'est pas tout à fait théorique, est bien loin d'être empirique ou expérimentale. Ces « hypothèses », que Chang appelle dans certains cas des « principes ontologiques »⁴⁹ sont, pensons-nous, des exemples caractéristiques de principes de coordination.

49 Pour des raisons que nous exposerons le moment venu, nous serons conduits à nuancer cette appellation métaphysiquement réaliste. Ce « réalisme » de Chang n'est d'ailleurs pas toujours consistant, puisque l'historien affirme clairement que de tels principes peuvent être reformulés ou même abandonnés. La raison que retient Chang vis-à-vis du caractère ontologique de ces principes relève de ce que nous appelons, en suivant plutôt Reichenbach, la dimension *constitutive* de ces principes. Dans un article (« Contingent transcendental arguments for metaphysical principles », *Royal Institute of Philosophy Supplement*, 63, 2008, pp. 113-133) Chang parle de « principes métaphysiques » synthétiques *a priori* mais contingents (sic.), c'est-à-dire relatifs à des champs particuliers de l'activité scientifique elle-même : « I would like to say the synthetic *a priori* only exists in a contingent way — not as universal conditions of human cognition, but as local conditions of particular brands of cognition », p. 122.

Chang nous apprend en réalité à identifier les principes minimaux nécessaires à la pratique physique expérimentale en absence de théorie unificatrice. Ces principes ne sont ni des principes logiques, ni des recettes expérimentales. Leur nature intrigante est si proche de celle décrite par Reichenbach pour les principes de coordination, qu'une étude suivie du livre de Chang nous semble indispensable.

Dans son livre, *Inventing Temperature*, maintenant classique, Hasok Chang met en évidence ce qu'il appelle des « stratégies épistémiques »⁵⁰ permettant de valider des résultats empiriques dans des contextes où les méthodes employées ne sont pas encore soutenues par un ensemble théorique solide.

Les procédés de justification fondationnalistes, qui tentent de faire reposer tout nouveau résultat sur des bases incontestables, ne sont alors pas efficaces : du fait de la charge théorique de tout résultat empirique, la stratégie « empiriste » est vouée à l'échec, mais la stratégie « rationaliste » tout autant, puisque la théorie nécessaire à la validation du nouveau résultat fait justement défaut.

Chang propose donc une panoplie de stratégies « cohérentistes »⁵¹ qui permettent de définir un nouveau concept métrique, de lui assigner une échelle stable, de l'élargir, et enfin de le relier à un ensemble théorique, et tout cela en se fondant sur un minimum d'hypothèses non-empiriques.

Toutes ces stratégies peuvent apparaître comme des exemples différents de la technique

50 Hasok Chang, *Inventing Temperature : Measurement and scientific progress*, Oxford University Press, 2004, p. 40.

51 Le cohérentisme est une position épistémologique qui s'oppose au fondationnalisme. Une position fondationnaliste fait reposer tout l'édifice de la science (mathématique et physique) sur des principes considérés comme évidents par eux-mêmes, ou n'ayant pas besoin de démonstration. Dans une position cohérentiste, les principes ne sont pas évidents par eux-mêmes, mais pris ensemble ils forment une unité dont la cohérence (non-contradiction, simplicité, etc.) est considérée comme un indice de leur validité. Voir par exemple Olsson, Erik, "Coherentist Theories of Epistemic Justification", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2017 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/justep-coherence/>>.

d'itération épistémique :

In making attempts to justify measurement methods, we discover the circularity inherent in empiricist foundationalism. The only productive way of dealing with that circularity is to accept it and admit that justification in empirical science has to be coherentist. Within such coherentism, epistemic iteration provides an effective method of scientific progress, resulting in the enrichment and self-correction of the initially affirmed system.⁵²

Le problème épistémologique général que Chang tente de résoudre, à travers l'étude historique particulière du développement du concept de température est le suivant : comment parvenir à définir un concept métrique, une unité stable et constante ainsi qu'une échelle qui lui corresponde, avec le moins de théorie possible ?

Ce qui va particulièrement nous intéresser est ce en quoi consiste ce minimum de théorie sans lequel aucune définition de concept métrique n'est possible. Nous remarquerons que les énoncés théoriques nécessaires sont tellement généraux et indépendants de toute théorie physique particulière, que Chang les nomme des « principes ontologiques ». Nous montrerons en quoi ils se rapprochent des « principes de coordination », et comment ils ne sont en réalité que des *ponts* entre le monde abstrait des grandeurs mathématiques et le monde des opérations empiriques de mesure.

1 – Les paradoxes liés au progrès de la mesure

Si l'on conçoit le progrès de l'instrumentation et de la mesure de manière continuiste, il n'est pas possible d'échapper au problème suivant : comment rendre compte du fait qu'un nouvel instrument de mesure puisse infirmer les résultats de l'instrument dont il est une amélioration ?

⁵² *Ibid*, p. 220.

Reprenons tout de suite un exemple de Chang :

If a thermoscope can correct our sensation of hot and cold, then we have a paradoxical situation in which the derivative standard corrects the prior standard in which it is grounded. At first glance this process seems like self-contradiction, but on more careful reflection it will emerge as self-correction, or more broadly, self-improvement.⁵³

Un thermoscope est un instrument qui permet d'obtenir une mesure de la température sur une échelle ordinale. Un tel instrument permet de corriger certaines sensations de chaud et de froid telles que nous pouvons les ressentir à travers la peau. Toutefois un tel instrument a été conçu comme une amélioration des organes des sens et, pour ainsi dire, en mime le fonctionnement. Mais comment un instrument de mesure peut-il corriger les résultats d'un instrument dont il copie le fonctionnement ?

Ce problème n'est qu'un cas particulier d'un problème plus général lié à la justification de la mesure physique, et que Chang formule en ces termes :

Whenever we have a method of measurement that rests on an empirical law, we have the same kind of problem in testing and justifying that law. To put it more precisely and abstractly:

1. We want to measure quantity *X*.
2. Quantity *X* is not directly observable, so we infer it from another quantity *Y*, which is directly observable. (See "The Validation of Standards" in the analysis part for a full discussion of the exact meaning of "observability.")

⁵³ *Ibid*, p. 44.

3. For this inference we need a law that expresses X as a function of Y , as follows: $X = f(Y)$.

4. The form of this function f cannot be discovered or tested empirically, because that would involve knowing the values of both Y and X , and X is the unknown variable that we are trying to measure.

This circularity is probably the most crippling form of the theory-ladenness of observation. (For further discussions of the problem of nomic measurement, see “Comparability and the Ontological Principle of Single Value” in the analysis part.)⁵⁴

Ainsi, dans le cas du thermoscope, la variation du volume d'un corps (air, eau, alcool, mercure, etc.) est une indication de la variation de la température de ce corps. Mais sans mesure indépendante de la température il est impossible de connaître la forme de la fonction reliant les deux variables. Pour sortir de cette impasse, la théorie doit entrer dans le processus de mesure, et au moins, formuler des hypothèses sur la forme de cette fonction, ou au mieux, déduire mathématiquement la forme de la fonction des principes de la théorie.

(Remarquons-le en passant, l'intégration d'équations différentielles pour résoudre un problème physique correspond exactement à une « déduction » mathématique de la forme d'une fonction à partir des principes. Les équations de la dynamique, par exemple, ont ceci de remarquable que la fonction x représentant la grandeur X est la dérivée la fonction y représentant la grandeur Y , ce qui permet d'y appliquer des raisonnements différentiels.)

Le problème qui intéresse Chang est donc, plus précisément, le suivant : comment faire pour établir, avec le minimum de théorie possible, la forme de la fonction recherchée ? Les moyens à la disposition du physicien ne sont guère qu'empiriques dans le cas d'une recherche encore à l'état pré-théorique : comment découvrir par des moyens empiriques, la forme de la fonction, sans tomber dans un cercle vicieux ?

⁵⁴ *Ibid*, pp. 59-60.

Chang montre qu'un certain nombre de stratégies existent pour répondre à la question, et il regroupe ces stratégies sous le concept d'*itération épistémique*.

2 – Le principe de respect et le progrès métrologique

Pour expliquer ces processus d'itération épistémique, Chang donne l'exemple d'un processus d'itération purement mathématique, comme l'algorithme permettant d'extraire les racines carrées. Les processus d'itération épistémique s'en distinguent de plusieurs manières :

Another difference to note is that a given process of mathematical iteration relies on a single algorithm to produce all successive approximations from a given initial conjecture, while such a set mechanism is not always available in a process of epistemic iteration. Rather, epistemic iteration is most likely a process of creative evolution; *in each step, the later stage is based on the earlier stage, but cannot be deduced from it in any straightforward sense*. Each link is based on the principle of respect and the imperative of progress, and the whole chain exhibits innovative progress within a continuous tradition.⁵⁵

Le progrès auquel conduit un processus d'itération épistémique est d'une nature bien particulière. Il faut ici que les fondationnalistes abandonnent tout scrupule. Chaque étape d'un processus d'itération épistémique est, nous dit Chang, *fondée* sur l'étape précédente, sans qu'il soit jamais possible de comprendre cette fondation comme une relation de conséquence logique dans un système formel : d'aucune manière il n'est possible de *déduire* une étape ultérieure de l'étape précédente.

Si la nature de cette « fondation » n'est pas soumise à la déduction logique, quelles sont alors les contraintes qui lui impose une forme ? Chang mentionne le « principe de respect » et

⁵⁵ *Ibid*, p. 46. Nous soulignons.

« l'impératif de progrès ». Le principe de respect, dont la nature reste à éclaircir, est simplement une injonction conservatrice : il faut que la nouvelle étape conserve au moins certains (mais pas nécessairement l'intégralité) des éléments ou résultats de l'étape précédente. L'impératif de progrès est une contrainte un peu vague, puisqu'elle impose la condition du progrès dans le passage d'une étape à l'autre. Or ce que l'on cherche à savoir est justement ce qui constitue un progrès.

Mais revenons au principe de respect. Quelle est sa nature ? S'agit-il d'un principe théorique, au même sens que le principe fondamental de la dynamique, par exemple ? Non, il ne s'agit ni d'un principe mathématique, ni d'un principe physique, mais plutôt, pourrions-nous dire, d'un principe *pragmatique* ou *épistémologique*. Mais il s'agit là d'une condition très générale, qui pourrait s'appliquer à un progrès dans n'importe quelle discipline scientifique. Plus intéressant est d'essayer de formuler la ou les conditions spécifiques à la science physique.

Cette condition peut se réduire à l'exigence suivante : dans le passage d'une étape à l'autre du développement épistémique, ce qui doit être conservé par dessus tout, ce sont certaines lois empiriques bien vérifiées, les lois empiriques qui nous permettent justement de fabriquer et d'utiliser des instruments de mesure.

En paraphrasant Herbert Feigl, Chang écrit que ce sont des lois comme celle du levier ou la loi de la réfraction (loi de Snell-Descartes) qui permettent d'assurer un fondement empirique minimal au progrès de la mesure :

For example, weight measurements using balances rely on Archimedes's law of the lever, and observations made with basic optical instruments rely on Snell's law of refraction. These laws, at least in the contexts of the measurements they enable, have not failed and have not been questioned for hundreds of years. The established fixed points of thermometry also embody just the sort of robustness that Feigl valued so much, and the insights we have gained in the study of the history of fixed points shed some light on how it is that middle-level

regularities can be so robust. »

No matter how drastically highlevel theories change, some middle-level regularities may remain relatively unaffected, even when their deep theoretical meanings and interpretations change significantly. Observations underwritten by these robust regularities will also have a fair chance of remaining unchanged across revolutionary divides, and that is what we have seen in the case of the boiling /steam point of water.⁵⁶

Qu'en serait-il, en effet, du progrès scientifique si les révolutions théoriques balayaient, en plus de certaines hypothèses, les lois mêmes utilisées dans le processus de mesure les plus fondamentaux ? La situation serait très proche de l'incommensurabilité totale entre les théories, chacune utilisant des lois différentes pour établir ses mesures, ces dernières cessant alors d'être comparables. Mais certaines lois empiriques sont tellement solides et bien adaptées aux phénomènes, que des théories concurrentes peuvent tout à fait les accommoder et posséder par conséquent une zone de compatibilité, permettant d'évaluer le progrès scientifique.

Que serait devenu par exemple l'astronomie si les théories de la relativité restreinte et générale avaient nécessité le rejet des mesures établies avec les télescopes du début du XX^{ème} siècle ?

Mais pourquoi ces lois empiriques sont-elles si solides et parviennent-elles à survivre au changement théorique ? Quel élément empirique permet de les justifier presque indépendamment de toute forme de théorie ?

Chang explique qu'il y a un élément arbitraire, qu'il nomme sérendipité (*serendipity*)⁵⁷. Certaines régularités sont établies avec plus de certitudes que d'autre par pur hasard naturel, par un concours de circonstances heureuses. Les conditions physiques et météorologiques à la surface de la planète Terre, par exemple, garantissent (à l'intérieur d'une certaine marge bien entendu) la constance des phénomènes comme l'ébullition ou la congélation de l'eau. De la même manière, nous pourrions

⁵⁶ *Ibid*, p. 52.

⁵⁷ Ce terme provient de la traduction anglaise d'une nouvelle d'origine persane, *The Three Princes of Serendip*, dans laquelle les protagonistes résolvent une énigme grâce à un mélange de chance et de sagacité.

imaginer que la loi du levier d'Archimède doit sa simplicité et sa solidité au fait que la dimension des pendules, ou des leviers, est négligeable par rapport à la courbure terrestre.⁵⁸ Voici ce qui relève de la sérendipité : l'idéalisation du levier à l'équilibre dans un champ gravitationnel uniforme et perpendiculaire au plan, n'est pas remise en cause par les théories de la gravitation de Newton et les successives, car l'idéalisation y demeure pertinente (en raison du fait que les dimensions du levier sont négligeables par rapport à la courbure terrestre).

L'autre élément qui garanti la solidité de certaines lois est clairement épistémologique. Il s'agit du fait que ces lois servent à fabriquer des instruments de mesure. On y rapporte donc toutes nos connaissances ultérieures. Et selon un processus bien connu des conventionnalistes depuis Poincaré, en cas de conflit entre la théorie abstraite et la mesure fondée sur la loi simple, on préfère, par commodité, conserver la loi simple et abandonner – ou modifier – la théorie.

3 – Le minimalisme de Regnault et la surdétermination

La solidité de ces lois est donc due d'une part à un élément hasardeux, et d'autre part à un élément conventionnel. C'est ici l'élément conventionnel qui va le plus nous intéresser. Comme nous l'avons déjà mentionné, il faut abandonner ici tout scrupule fondationnaliste. Ce qui justifie une loi empirique indépendamment de toute théorie étayée semble ténu, mais Chang va s'efforcer de montrer que des formes de validation objective des résultats empiriques existent, en dehors des méthodes traditionnelles de justification (démonstration ou méthode hypothético-déductive par exemple). Ces formes de validation font toutefois appel à des principes généraux, qui ne sont ni tout

58 Rappelons que la loi du levier (dont l'énoncé est le suivant : dans un levier à l'équilibre, le rapport des masses aux extrémités est inversement proportionnel aux rapports des longueurs des deux bras) a été formulé avant toute théorie de la gravitation, et même avant toute dynamique.

à fait purement abstraits, ni tout à fait empiriques.⁵⁹

Ce qui permet de faire de la science en dehors d'un cadre posé par des principes solides (penser par exemple aux principes de la mécanique de Newton), ce sont les principes de coordination. Chang explique comment une forme pré-théorique de science est possible, comment cette science peut progresser en l'absence de lois générales.

La solution est à chercher dans la dynamique conceptuelle : « In the following section I will attempt to show that the whole matter can be viewed in a more instructive light if we stop looking for a static logical relation of justification, and instead try to identify a dynamic process of knowledge-building »⁶⁰. Il ne faut toutefois pas croire pour autant que Chang s'enferme dans un empirisme naïf : « In the end I will argue that strict empiricism is not sufficient for the building of scientific knowledge, but it is worthwhile to see just how far it can take us »⁶¹, dit-il dans un paragraphe à propos du physicien expérimentateur français du XIX^{ème} siècle, Victor Regnault : « Regnault is the best guide on that path that we could ever hope for. His rigorous empiricism comes down to an insistence that empirical data will not be acquired by means of measurement procedures that themselves rely on hypotheses that have not been verified by observation ».

Si l'on prend garde à la formulation de Chang, on prend conscience qu'elle frôle la circularité. L'exigence empiriste de Regnault est en effet difficilement réalisable : il faudrait vérifier *empiriquement* toutes les hypothèses nécessaires à la réalisation des opérations de mesure. Or, et c'est tout le mérite de Chang de le montrer, certaines de ces hypothèses ne sont pas du tout empiriques par nature, même s'il est possible qu'elles s'appliquent à des phénomènes ou expériences empiriques. Il est donc impossible de les *vérifier* expérimentalement. On commence à deviner que l'étude des principes nécessaires à la réalisation des mesures, va nous conduire sur la piste des énoncés synthétiques *a priori*. Même si, nous le verrons, certaines expériences peuvent conduire –

59 Comme nous le verrons, ce sont ces principes que Reichenbach nomme « principes de coordination ».

60 *Ibid*, p. 44.

61 *Ibid*, p. 84.

lorsque ces principes sont pris dans un système, et les objections conventionnalistes ayant été mises à part – à leur rejet.

Dans ses tentatives pour construire une échelle de température non-relative – qui ne soit pas dépendante d'un corps particulier (eau, alcool ou mercure par exemple) – par des moyens purement empiriques, Regnault en était réduit à comparer entre elles les échelles obtenues par différents thermomètres à gaz, tous les thermomètres étant construits en faisant l'hypothèse de la linéarité.⁶² Pour une même substance au même moment, tous les thermomètres n'indiquent pas le même degré. Malgré tout, un accord apparaissait entre la majorité des thermomètres, les résultats d'un autre faisant exception :

Even when he [Regnault] noted the comparability between the air, hydrogen, and carbonic acid gas thermometers and the deviation of the sulfuric acid gas thermometer from all of them, he was careful not to say that the former were right and the latter was wrong: “Sulfuric acid gas departs notably from the law of expansion which the preceding gases show. Its coefficient of expansion decreases *with temperature as taken by the air thermometer*” (Regnault 1847, 190; emphasis added). He never strayed from the recognition that comparability did not imply truth.⁶³

Dans ce passage de Regnault, sélectionné par Chang, le raisonnement ne sort pas des limitations du strict opérationnalisme. L'expérimentateur est conscient que son échelle de température est relative, et il est prêt à utiliser autant de concepts de température que de thermomètres de nature différente.

Son raisonnement est encore plus retors. Il utilise la loi des gaz parfaits (à pression

62 Chaque thermomètre est étalonné à 0° et à 100°, puis l'intervalle est divisé en 100 parties égales. L'hypothèse de la linéarité repose bien sur un élément « théorique », en l'occurrence, la loi des gaz parfaits. Dans cette expérience, Regnault n'utilise que des thermomètres à gaz. A pression constante, l'évolution du volume d'un gaz en fonction de la température, est, selon la loi, parfaitement linéaire. Bien évidemment, les gaz réels ont des comportements qui s'éloignent plus ou moins du comportement du gaz modélisé. L'objectif de Regnault est justement d'éliminer de la thermométrie, ceux dont le comportement s'en éloigne trop.

63 *Ibid*, p. 83.

constante) dont il sait pourtant qu'elle n'est qu'approchée, pour fabriquer ses thermomètres. Et il se sert de ses relevés de température pour corriger la loi en fonction des résultats qu'elle a rendus possibles.

Mais Chang explique que pourtant Regnault ne sort jamais d'un raisonnement épistémologique rigoureux. C'est même en cela qu'il situe la réussite du travail de Regnault par rapport à celui d'autres physiciens français :

Dulong and Petit failed to solve the problem of thermometric fluids because their work was not framed with philosophical sophistication, not because their experimental technique was insufficient. Only Regnault solved the epistemic problem. Dulong and Petit started on the wrong foot by defining temperature in a nonobservational way; the argument they envisioned for the demonstration of linear expansion was bound to be weak, however good their data might have been. In contrast, as explained in the three previous sections, Regnault devised the strongest possible argumentative strategy and was fortunate enough for that strategy to work. Regnault made the advancement from thermoscopes to numerical thermometers (from stage 2 to stage 3 of temperature standards) about as well as could have been done under the material conditions on earth. In more common scientific terms, he brought practical thermometry to utmost perfection.⁶⁴

Pour bien comprendre, toutefois, à quel niveau se situe la spécificité du travail de Regnault, Chang propose un concept, la surdétermination, qui est en réalité un élargissement de la notion de test empirique :

What happens in the process just mentioned is the determination of a quantity in two different ways : by deduction from a hypothesis and by observation. This reconceptualization of the standard notion of theory testing allows us to see it as a type within a broader category, which I will call “attempted overdetermination,” or simply “overdetermination”: a method of hypothesis testing in which one makes multiple determinations of a certain quantity, on the basis of a certain set of assumptions. If the multiple determinations agree with each

⁶⁴ *Ibid*, p. 102.

other, that tends to argue for the correctness or usefulness of the set of assumptions used. If there is a disagreement, that tends to argue against the set of assumptions. Overdetermination is a test of physical consistency, based on the principle of single value (discussed in the previous section), which maintains that a real physical quantity cannot have more than one value in a given situation. Overdetermination does not have to be a comparison between a theoretical determination and an empirical determination. It can also be a comparison between two (or more) theoretical determinations or two observational ones. All that matters is that some quantity is determined more than once, though for any testing that we want to call “empirical,” at least one of the determinations should be based on observation.⁶⁵

Nous reviendrons plus loin, plus en détail, sur le « principe de la valeur unique » que mentionne ici Chang. Contentons-nous de noter la chose suivante. Un test empirique, habituellement compris, consiste à comparer le résultat mathématique d'une prédiction au résultat empirique d'une mesure ; selon le degré de confiance que l'on accorde à la théorie ou à la mesure on rejette l'un ou l'autre des résultats. Chang donne l'exemple d'un cas où cette comparaison de valeurs s'effectue entre deux valeurs d'origine empirique : la température d'un corps dans les mêmes conditions est mesurée par deux instruments du même type, mais contenant des substances ou des gaz différents. Si les instruments étaient parfaits, les valeurs mesurées dans les deux cas seraient égales. Donc, chaque fois que Regnault enregistre deux valeurs incompatibles, il peut en conclure qu'une erreur empirique se cache quelque part. Or il est possible de faire porter tout le poids de cette erreur empirique sur l'imprécision et le manque de généralité la loi de dilatation des gaz parfaits.

Parmi les différents gaz qui servent d'étalon, il ne reste plus à Regnault qu'à choisir celui qui s'écarte le moins de la moyenne de mesures sur tous les gaz, puis à rectifier artificiellement la loi des gaz parfaits pour qu'elle épouse la dilatation de ce gaz étalon ; ce qui conduit *in fine* à un ré-échelonnage des graduations sur le thermomètre. Malgré cela, le physicien avait conscience que ces graduations n'indiquaient pas les « vrais » degrés de température, mais seulement, pourrait-on dire,

⁶⁵ *Ibid*, p. 93.

les plus fiables et les plus constants.

Le véritable tour de force, selon Chang, dans la construction empirique de l'échelle de température par Regnault, s'exprime à travers ce qu'il choisi d'appeler « le minimalisme » :

How does Regnault look? The beauty of Regnault's work on thermometry lies in the fact that he managed to arrange overdetermination without recourse to any significant additional hypotheses concerning heat and temperature. Regnault realized that there was already enough in the basic hypothesis itself to support overdetermination. A given temperature could be overdetermined by measuring it with different thermometers of the same type; that overdetermination did not need to involve any uncertain extra assumptions. Regnault's work exemplifies what I will call the strategy of "minimalist overdetermination" (or "minimalism" for short). The heart of minimalism is the removal of all possible extraneous (or auxiliary) nonobservational hypotheses. This is not a positivist aspiration to remove all nonobservational hypotheses in general. Rather, minimalism is a realist strategy that builds or isolates a compact system of nonobservational hypotheses that can be tested clearly. The art in the practice of minimalism lies in the ability to contrive overdetermined situations on the basis of as little as possible; that is what Regnault was so methodically good at.⁶⁶

La qualité du travail expérimental de Regnault relève donc, pour Chang, d'un caractère épistémologique : tenter d'aller le plus loin possible avec le moins d'hypothèses théoriques (*i.e.* non vérifiées empiriquement) possibles. Malgré cet objectif, il est cependant difficile de conduire à leur terme les raisonnements si l'on n'admet pas un ensemble minimal d'hypothèses. Parmi cet ensemble, le principe de la valeur unique occupe une place primordiale.

4 – Le principe de la valeur unique

Le « principe de la valeur unique » (*PVU*), qui est souvent implicite dans les raisonnements

⁶⁶ *Ibid*, p. 94.

de physique classique et non-probabiliste⁶⁷, affirme que dans un système physique soumis aux mêmes conditions, la mesure d'une grandeur ne peut pas donner des résultats différents – c'est-à-dire des résultats qui diffèrent plus que la marge d'erreur. Si S est un système physique soumis à des conditions précises et reproductibles C , si a et b sont des valeurs mesurées de la même grandeur X dans les mêmes conditions C , et δ l'intervalle d'erreur assigné à l'instrument de mesure, alors le principe de la valeur unique affirme la chose suivante :

(PVU) Si a et b sont des valeurs de X mesurées dans S selon les conditions C ,
alors $|a - b| \leq \delta$.

Si des valeurs mesurées dans ces conditions ne sont pas compatibles avec le principe, le physicien interprétera toujours cela comme une erreur expérimentale, et sera contraint de recommencer au moins l'une des mesures.

Il serait difficile d'imaginer un physicien classique faisant abstraction de ce principe. Les raisonnements qu'il entreprendrait deviendraient rapidement incohérents. Mais, pourtant, par quoi est justifié ce principe ? Dériverait-il d'un principe logique ? Serait-il donc analytique et absolument vrai ? Mais dans ce cas il devrait être formulé indépendamment de toute situation physique, ce qui semble difficile. Serait-il vérifiable expérimentalement ? Mais alors il devient ardu d'envisager une expérimentation qui puisse jouer ce rôle. Nous pouvons le comprendre comme étant intrinsèque au concept de mesure lui-même, contenu dans sa définition, pour ainsi dire (il serait dans ce cas analytique). Mais cela aurait pour conséquence de fixer définitivement ce qui doit être considéré comme une mesure. Or le progrès de la science pourrait conduire à son rejet, comme Chang en

67 Nous prenons la peine de préciser classique, car il est possible que certains systèmes quantiques y échappent.

évoque plus loin la possibilité.⁶⁸

Alors qu'il discute du fondement de la comparabilité entre les instruments de mesure, Chang écrit ce qui suit :

But why exactly is comparability a virtue? The requirement of comparability only amounts to a demand for self-consistency. It is not a matter of logical consistency, but what we might call physical consistency. This demand is based on what I have elsewhere called the principle of single value (or, single-valuedness) : a real physical property can have no more than one definite value in a given situation.⁶⁹

Notons immédiatement la tournure réaliste de la formulation du *PVU* par Chang, lui qui est par ailleurs toujours prudent avec les affirmations réalistes : « une propriété physique réelle ne peut avoir plus d'une seule valeur spécifique dans une situation donnée » – appelons cette formulation le (*PVUR*) comme principe de la valeur unique réaliste.

(*PVUR*) Une propriété physique réelle ne peut avoir plus d'une seule valeur spécifique dans une situation donnée.

Il est étonnant de rencontrer cette formulation qui laisse perplexe quand à ce qu'elle exclut. Il pourrait en effet « exister », si l'on suivait le principe à la lettre, des propriétés physiques qui puissent avoir plus d'une valeur spécifique dans une situation donnée, avec pour conséquence que ces propriétés physiques ne soient pas réelles ... L'interprétation de la formulation de Chang pose d'énormes difficultés, pour peu que nous tentions d'y voir une formulation précise. Elle implique, au moins implicitement, une distinction entre les propriétés réelles, et les propriétés qui ne le sont

68 Cette dernière idée selon laquelle le *PVU* serait intrinsèque au concept de mesure nous conduirait vers un réalisme conceptuel dans lequel nous ne voulons pas nous engager.

69 *Ibid*, p. 90.

pas – sont-elles « fictives », « irréelles », « imaginaires », « abstraites » ? En ne définissant pas au préalable la notion de réalité, Chang rend sa formulation problématique.

Il est malgré tout possible d'interpréter cette proposition. Ce que veut dire Chang, c'est que si l'on rencontrait au cours d'une série de mesures, des valeurs qui entrent en contradiction avec le *PVUR*, et que par ailleurs aucune erreur expérimentale ne puisse être décelée, nous serions obligés de conclure que nous n'avons pas vraiment mesuré quelque chose, que la situation est physiquement absurde, que nous n'avons pas affaire à une réalité – un objet ou un système – physique.

C'est d'ailleurs pourquoi Chang parle de « cohérence physique » et non pas de « cohérence logique ». Il n'est pas évident de comprendre pourquoi ce principe ne dérive pas des principes de la logique. Nous avons en effet mis l'accent sur le processus de mesure physique, mais il serait aussi possible de le mettre sur l'aspect mathématique. Le principe pourrait alors être reformulé comme suit :

(*PVUM*) Pour toute grandeur X , il n'est pas possible que pour une seule détermination de cette grandeur, il existe deux valeurs différentes.

et en restant vraiment très vague sur ce que signifierait le terme de « détermination », car il est difficile de donner un sens à une détermination purement mathématique ou logique.

Mais cette piste est vaine, car, comme l'explique Chang :

What kind of criterion is the principle of single value, and what compels our assent to it? It is not reducible to the logical principle of noncontradiction. It would be nonsensical to say that a given body of gas has a uniform temperature of 15°C and 35°C at once, but that nonsense still falls short of the logical contradiction of saying that its temperature is both 15°C and not 15°C. For an object to have two temperature values at once is absurd

because of the physical nature of temperature, not because of logic. [...] In short, it is not logic but our basic conception of the physical world that generates our commitment to the principle of single value.⁷⁰

Il est nécessaire de reprendre l'argument de Chang qui n'insiste pas, comme nous l'avons fait, sur la nécessité de faire référence à une situation ou un système physique. Cette nécessité est suffisante, selon nous, à écarter l'idée que le *PVU* puisse être de nature purement logique. Mais Chang propose un argument qui tente de distinguer deux manières pour une proposition d'être contradictoire : une manière logique, et une manière physique.

Voici comment nous pourrions reconstruire son argumentation. Pour Chang ces deux propositions – (*AL*) et (*AP*) pour Absurdité Logique et Absurdité Physique – ne seraient pas équivalentes :

(*AL*) La température de ce corps est et n'est pas à la fois de 15°C.

(*AP*) La température de ce corps est à la fois de 15°C et de 35°C.

Or il est difficile de suivre Chang dans son raisonnement, puisque comme la proposition « 35 n'est pas 15 » (nommons-là *P*)⁷¹ est au moins une proposition purement mathématique, la conjonction de *AP* et de *P* semble impliquer, logiquement, *AL*.

La seule manière de comprendre de façon cohérente l'argumentation de l'historien est de considérer que la référence à l'unité de mesure est dans ce cas, déterminante. *P* est vrai en vertu des principes de la logique ou des mathématiques⁷², mais son corollaire physique (*PP*) « 35°C n'est pas 15°C », serait vrai, non pas en vertu de la logique ou des mathématiques, mais en vertu de certains

⁷⁰ *Ibid*, pp. 90-91.

⁷¹ Remarquons bien que dans *P* nous ne faisons aucune référence aux unités de mesure.

⁷² Nous n'entrerons pas ici dans une discussion sur la pertinence ou l'actualité du programme logiciste.

principes physiques. Chang parle ici de la « nature physique de la température » sans partir de sa tournure réaliste ; il faut comprendre que le concept de température, et son unité (dans cet exemple le degré centigrade) sont définis par des principes et des lois physiques, et non par des principes et des lois mathématiques ou logiques.

Mais la thèse de Chang possède alors une conséquence remarquable. Soient a et b des valeurs différentes, physiquement mesurables, d'une grandeur X , et U l'unité dans laquelle est exprimée cette grandeur, alors il serait possible, sans contredire la logique (mais pas dans l'état actuel de la physique classique) qu'une proposition de la forme :

CR Le même processus de mesure conduit, dans les mêmes conditions,
à $a(U)$ et/ou $b(U)$, avec $a \neq b$, où a et b sont des réels.

soit empiriquement vraie.

Mais nous comprenons ici que le diable est dans les détails. S'il est à la rigueur envisageable sans contrevenir à la logique qu'un processus de mesure conduise à deux résultats possibles, mais différents, « $a(U)$ et/ou $b(U)$ », il est en revanche beaucoup plus difficile de concevoir qu'un système physique dans le même état puisse avoir deux valeurs différentes pour représenter la mesure d'une de ses grandeurs caractéristiques.

Ou bien encore pourrions-nous imaginer une unité définie de telle manière que « $15 \neq 35$ » soit vrai, mais pas « $15(U) \neq 35(U)$ ».

Quoi qu'il en soit, il est évident qu'une proposition contenant des symboles faisant référence à des unités physiques (comme le mètre, la seconde ou le degré centigrade) ne peut en aucun cas se réduire à une proposition purement logique ou mathématique. La question est de savoir si les *règles*

d'inférences qui permettent d'en tirer des conclusions sont purement logiques ou contiennent au contraire des éléments irréductiblement physiques.⁷³ Il est impossible, à partir des affirmations de Chang, d'interpréter en conséquence le passage déjà cité.

Mais l'embarras ne s'arrête pas là. Si il est déjà compliqué de discerner les éléments logiques et les éléments physiques dans le *PVU*, il est de plus certain qu'aucune justification empirique n'en est possible :

On the other hand, it is also clear that the principle of single value is not an empirical hypothesis. If someone would try to support the principle of single value by going around with a measuring instrument and showing that he or she always obtains a single value of a certain quantity at a given time, we would regard it as a waste of time. Worse yet, if someone would try to refute the principle by pointing to alleged observations of multiple-valued quantities (e.g. that the uniform temperature of this cup of water at this instant is 5° and 10°), our reaction would be total incomprehension. We would have to say that these observations are "not even wrong," and we would feel compelled to engage in a *metaphysical discourse* to persuade this person that he is not making any sense. Any reports of observations that violate the principle of single value will be rejected as unintelligible; more likely, such absurd representations or interpretations of experience would not even occur to us in the first place. Unlike even the most general empirical statements, this principle is utterly untestable by observation.⁷⁴

D'un côté le *PVU* ne dérive pas simplement des principes de la logique (pourvu qu'on le formule avec des symboles faisant référence à des unités de mesure), de l'autre il n'est pas justifié empiriquement. Il n'est donc pas analytique, mais n'est pas *a posteriori*. Sans ressusciter les énoncés synthétiques *a priori* de Kant, comment Chang fait-il pour déterminer le statut de ce principe ?

⁷³ Nous verrons qu'avec Carnap cette question trouve le développement qu'elle mérite.

⁷⁴ *Ibid*, p. 91. Nous soulignons. Chang évoque un « discours métaphysique ». Mais nous pourrions aussi bien parler, en suivant une ligne wittgensteinienne, d'une « discussion grammaticale ». Souligner l'absurdité d'une affirmation n'engage pas nécessairement les locuteurs dans des arguments métaphysiques.

The principle of single value is a prime example of what I have called ontological principles, whose justification is neither by logic nor by experience (Chang 2001a, 11–17). Ontological principles are those assumptions that are commonly regarded as essential features of reality within an epistemic community, which form the basis of intelligibility in any account of reality. The denial of an ontological principle strikes one as more nonsensical than false. But if ontological principles are neither logically provable nor empirically testable, how can we go about establishing their correctness? What would be the grounds of their validity?⁷⁵

Bien que nous ne soyons pas d'accord avec la terminologie réaliste de Chang, il est évident que le problème se pose exactement de la même manière pour ce que nous avons nommé jusque-là les « principes de coordination ». Pour nous, ces principes ne sont pas des « propriétés essentielles de la réalité », mais des principes sans lesquels aucune représentation mathématique satisfaisante des phénomènes n'existe. Or, et là nous sommes d'accord avec Chang, ces principes ne peuvent pas correspondre aux canoniques énoncés synthétiques *a priori* de Kant :

Ontological principles may be akin to Poincaré's conventions, though I would be hesitant to allow all the things he classified as conventions into the category of ontological principles. Perhaps the closest parallel is the Kantian synthetic *a priori* ; ontological principles are always valid because we are not capable of accepting anything that violates them as an element of reality. However, there is one significant difference between my ontological principles and Kant's synthetic *a priori*, which is that *I do not believe we can claim absolute, universal, and eternal certainty about the correctness of the ontological principles that we hold. It is possible that our ontological principles are false.*⁷⁶

La différence avec la doctrine kantienne est de taille. Chez Kant les propositions

⁷⁵ *Ibid.*

⁷⁶ *Ibid.* Nous soulignons. Remarquons-le pour la suite : il s'agit exactement de ce qu'affirme Reichenbach à propos des « principes de coordination » dans son livre de 1920. Voir notre II, B. Il serait par ailleurs plus juste de la part de Chang de mentionner, plutôt que les conventions, les « hypothèses toutes naturelles » dont parle Poincaré dans *La science et l'hypothèse*, Flammarion, 1968, p. 166.

synthétiques *a priori* sont nécessairement vraies, dans le sens où sans elles, *aucune* représentation *rationnelle* du divers n'est possible. Lorsque Chang affirme que nos principes ontologiques ou de coordination peuvent être faux, il signifie, non pas que le caractère rationnel de la représentation du monde peut tout à coup s'effondrer, mais plutôt que les principes sont *perfectibles*.

Pour Chang, comme nous le verrons pour Reichenbach, les principes de ce genre sont *révisables* : le progrès de la science peut conduire à leur rejet et à leur reformulation.⁷⁷ Si l'un de ces principes vient entrer en conflit avec une théorie ou un ensemble nouveau d'expériences, c'est simplement le caractère unifié de la rationalisation du monde qui vient à manquer ; la représentation du monde véhiculé par le principe, bien qu'inadéquate dans un champ limité du savoir, n'en demeure pas moins opérante dans son domaine d'origine.

La question cruciale est alors de comprendre comment un principe, ou un ensemble de principes, qui ne peuvent se justifier ni par la logique ni par l'expérience, peuvent, soudainement, entrer en contradiction avec les phénomènes. Comment des principes qui constituent, pour ainsi dire, les fondements rationnels de notre représentation du réel, peuvent tout à coup se révéler inopérants ou insuffisants ? Et comment, une fois établie cette insuffisance, peut-on les remplacer ou les corriger sans remettre en cause toute la représentation précédente?

5 – Le problème de l'élargissement des échelles

Ce processus de remplacement ou correction de principe jouant un rôle constitutif se retrouve, à plus petite échelle, dans une autre situation épistémique que décrit et analyse Chang. Il

⁷⁷ La manière dont s'opère cette reformulation, la forme qu'elle peut prendre, sera l'objet de la section sur Reichenbach.

s'agit de la situation dans laquelle certaines expériences ou théories poussent les physiciens à élargir la signification des concepts métriques qu'ils manipulent.

C'est avec une discussion des thèses de Bridgman que commence, sans surprise, ce chapitre de Chang. Car personne d'autre que Bridgman n'a su placer, dans les outils de la représentation mathématique, la difficulté rencontrée dans l'élargissement des concepts quantitatifs en physique. Aux pages 144, 145 et 146, Chang se livre d'ailleurs à une analyse de passage du livre *The Logic of Modern Physics*, assez identique à la nôtre. Toute cette analyse peut se résumer dans le passage suivant de Chang :

Even in such situations, we have to be wary of the danger of slipping into conceptual confusion through the use of the same word to refer to many operations. If our thoughts are not tempered by the operationalist conscience always referring us back to concrete measurement operations, we may get into the sloppy habit of using one word for all sorts of different situations without checking for the required convergence in the overlapping domains. Bridgman warned (1959, 75): “[O]ur verbal machinery has no built-in cutoff.” In a similar way, we could be misled by the representation of a concept as a number, into thinking that there is naturally an infinitely extendable scale for that concept, the way the real-number line continues on to infinity in both directions. Similarly it would be easy to think that physical quantities must meaningfully exist down to infinite precision, just because the numerical scale we have pinned on them is infinitely divisible.⁷⁸

Ou bien à propos de la théorie de la relativité :

Einstein, through his special theory of relativity, taught everyone what dangerous traps we can fall into if we step into new domains with old concepts in an unreflective way. At the heart of the special theory of relativity was Einstein's recognition that judging the simultaneity of two events separated in space required a different operation from that required for judging the simultaneity of two events happening at the same place. Fixing the

⁷⁸ *Ibid*, p. 145.

latter operation was not sufficient to determine the former operation, *so a further convention was necessary*. But anyone thinking operationally should have recognized from the start that the meaning of “distant simultaneity” was not fixed unless an operation for judging it was specified.⁷⁹

Chang a conscience que les critiques traditionnelles de l'opérationnalisme confondent l'insistance du physicien sur le caractère irréductiblement empirique des concepts métriques, avec une position radicale – jamais explicitement formulée par Bridgman – selon laquelle les concepts métriques devraient de fait être réduits à leur signification opérationnelle :

The Bridgmanian ideal is always to back up concepts with operational definitions, that is, to ensure that every concept is independently measurable in every circumstance under which it is used. The operationalist dictum could be phrased as follows: increase the empirical content of theories by the use of operationally well-defined concepts. In the operationalist ethic, *extension is a duty of the scientist but unthinking extension is the worst possible sin*.⁸⁰

Comme le dit bien Chang l'intention explicite de Bridgman est de *faciliter* le processus d'extension des concepts métriques au-delà du domaine où leur application est connue ; l'analyse opérationnelle permet d'effectuer cette extension sans tomber dans les pièges épistémologiques tendus par la représentation mathématique de ces concepts. Bridgman n'a donc jamais voulu réduire la portée des concepts physiques, mais au contraire toujours l'élargir. Il était en ce sens plus attentif que les autres physiciens aux problèmes que peut poser cette extension ou cet élargissement.

Il n'empêche que les formulations de Bridgman induisent souvent en erreur et font systématiquement tendre le lecteur vers la sur-interprétation. C'est pourquoi Chang prend bien le

79 *Ibid*, p. 147. Nous soulignons. Nous sommes par ailleurs bien conscients que l'idée selon laquelle Einstein serait parvenu à la formulation de la théorie de la relativité Restreinte grâce à un raisonnement opérationnel, est, sinon une idée reçue, au moins une simplification. Ce qui est important pour nous dans ce passage est qu'il reflète le genre de problème épistémologique que tenteront de résoudre Schlick et Reichenbach : que faire des principes de la physique lorsque de nouvelles conventions nécessaires pour expliquer de nouvelles mesures viennent les contredire ?

80 *Ibid*, p. 147. Nous soulignons.

temps de reformuler les positions de Bridgman de manière à en corriger les exagérations :

Less metaphorically : if we reduce meaning entirely to measurement operations, there are no possible grounds for assuming or demanding any continuity of meaning where there is clear discontinuity in measurement operations. Bridgman recognized that problem, but his solution was weak. He only proposed that there should be a continuity of numerical results in the overlapping range of two different measurement operations intended for the same concept. Such numerical convergence is perhaps a necessary condition if the concept is to have continuity at all, but it is not a positive indication of continuity, as Bridgman recognized clearly.⁸¹

Autrement dit, la convergence numérique des résultats de deux méthodes de mesure à une certaine échelle, n'est qu'une condition nécessaire – et aucunement suffisante – pour affirmer que les deux méthodes sont des mesures de la même grandeur. Restreindre le sens empirique des concepts métriques à leur sens strictement opérationnel empêche justement de concevoir une condition supplémentaire à celle de la convergence (*overlapping*). C'est pourquoi Chang se permet d'ajouter :

If we are to talk about a genuine extension of the concept in question, it must be meaningful to say whether what we have is an entirely accidental convergence of the measured values of two unrelated quantities, or a convergence of values of a unified concept measured by two different methods. In sum : a successful extension of a concept requires some continuity of meaning, but reducing meaning entirely to measurement operations makes such continuity impossible, given that measurement operations have limited domains of application.⁸²

Pour résumer, il doit être possible de rendre compte d'une « continuité de signification » entre deux concepts métriques, indépendamment de leur signification opérationnelle, si l'on veut prouver que l'un est l'extension de l'autre.

Chang se propose d'utiliser le terme d'*extension sémantique* pour indiquer toute situation

81 *Ibid*, p. 148.

82 *Ibid*, p. 148.

dans laquelle un concept déjà existant reçoit une signification s'appliquant à un nouveau domaine. Le concept possède déjà un réseau stable d'usages sémantiques dans un domaine restreint. L'extension sémantique d'un tel concept, explique Chang, consiste à lui donner un ensemble d'usages nouveaux, reliés de manière pertinente aux précédents usages, et s'appliquant à un domaine adjacent. Il ajoute qu'une telle extension sémantique peut se produire pour des usages opérationnels, théoriques, ou même métaphysiques d'un concept.⁸³

Ce qu'il faut préciser maintenant ce sont les conditions que doit respecter l'extension pour qu'elle puisse désigner des éléments pertinents de la réalité. Il n'est en effet pas possible d'étendre ou d'élargir un concept n'importe comment. La thèse de Chang est que l'extension d'un concept métrique dans un champ nouveau n'est possible que s'il existe déjà dans ce champ des indicateurs qualitatifs de la possibilité de réaliser des mesures quantitatives.

L'exemple qu'il prend est celui de la pyrométrie. La mesure précise des hautes températures n'est réalisée qu'au cours du XIX^{ème} siècle. Si les artisans ont les moyens de maîtriser la température de leur fours à métaux ou à céramiques afin de réaliser certaines opérations comme fondre du métal ou cuire de la poterie, ils n'ont aucune idée de la température absolue qui y règne, faute d'instrument adéquat. Ils peuvent cependant être quasiment certains qu'il existe bel et bien une continuité entre les températures de l'air ambiant, et celle des fours en chauffe. En effet c'est un simple processus de chauffage par le feu qui conduit les fours de la température ambiante à la température élevée à laquelle doit se réaliser l'opération. Or le processus de chauffe est le même que celui qu'on utilise, par exemple, pour faire fondre la glace. La chauffe par le feu est donc une indication qualitative qu'il existe une échelle quantitative de température allant au moins des plus basses températures connues sur Terre, aux plus fortes chaleurs dégagées par les fours ou les feux, ou autres incendies.

Chang se propose d'ailleurs de faire une distinction au sein du concept bridgmanien

⁸³ *Ibid*, p. 150. Dans ce passage Chang ne définit pas ce qu'il entend par une extension sémantique de type « métaphysique » (« Semantic extension can happen [...] metaphysically »).

d'*opération*. Toutes les opérations, dit-il, ne sont pas nécessairement des opérations de *mesure* ; nous pouvons savoir faire fondre un métal, précise-t-il, sans savoir du tout à quelle température fond ce métal. Il en résulte que la signification opérationnelle d'un concept n'est pas épuisée par les opérations de mesure destinées à produire des résultats quantitatifs :

Therefore even operational meaning in its broader sense is not exhausted by operations that are designed to yield quantitative measurement results. What I would call *metrological extension*, in which the measurement method for a concept is extended into a new domain, is only one particular type of *operational extension*, which in itself is only one aspect of *semantic extension*. What I want to argue, with the help of these notions, is that the justification of a metrological extension arises as a meaningful question only if some other aspects of semantic extension (operational or not) are already present in the new domain in question.⁸⁴

L'extension métrique n'est qu'un cas d'extension opérationnelle, qui n'est elle-même qu'un aspect de l'extension sémantique. La thèse de Chang se résume alors de la manière suivante : une extension métrique dans un nouveau domaine n'est justifiée, que s'il existe déjà, dans ce nouveau domaine, des éléments prouvant qu'une extension sémantique plus générale a déjà été réalisée, ou qu'elle est en tous cas possible.

De manière plus formelle, Chang pose clairement les conditions dans lesquelles une extension légitime d'un point de vue épistémologique peut se réaliser :

We start with a concept that has a well-established method of measurement in a certain domain of phenomena. A metrological extension is made when we make the concept measurable in a new domain. By definition, a metrological extension requires a new standard of measurement, and one that is connected to the old standard in some coherent way. In order for the extension to be valid, there are two different conditions to be satisfied:

Conformity. If the concept possesses any pre-existing meaning in the new domain, the new standard

84 *Ibid*, p. 150.

should conform to that meaning.

Overlap. If the original standard and the new standard have an overlapping domain of application, they should yield measurement results that are consistent with each other. (This is only a version of the comparability requirement specified in chapter 2, as the two standards are meant to measure the same quantity.)

En réalité Chang n'ajoute à la condition de convergence (*overlap*), déjà exprimée par Bridgman, que celle de *conformité sémantique* : les nouveaux usages quantitatifs du concept doivent se conformer aux usages qualitatifs préexistants.

Cette nouvelle condition n'est ni anodine, ni trop ambitieuse. Si elle n'était pas satisfaite, n'importe quelle convergence numérique pourrait compter comme une extension conceptuelle ; or une convergence numérique est toujours possible à partir du moment où deux grandeurs sont reliées par une loi linéaire ; si une telle loi est établie, seul un changement d'unité pour l'une des grandeurs peut conduire à une convergence numérique. Mais qu'il existe une loi linéaire entre deux grandeurs ne prouve pas que ces deux grandeurs sont en réalité des mesures de la même grandeur à différentes échelles.

D'un autre côté l'exigence de conformité n'est pas trop exigeante : elle n'exclut pas d'authentiques cas d'extensions conceptuelles. Mais à condition de ne pas interpréter trop rigidement la notion de conformité. Chang, en effet, a insisté ailleurs sur l'impératif de progrès : l'exigence de conformité ne peut pas se réduire à une exigence de conformité stricte, elle doit être ampliative. Comme le disait Chang lui-même, les premiers thermoscopes *élargissaient* et *précisaient*, de même qu'il *corrigeaient* les sensations tactiles de chaud et de froid. Au moment de l'introduction des thermoscopes, la conformité de ces derniers avec les sensations tactiles n'est pas totale : les thermoscopes remettent en question la pertinence de certaines sensations tactiles. Si la conformité

était stricte les chances de progrès seraient vraiment très minces.

Il devient alors nécessaire de reformuler l'exigence de conformité : les nouveaux usages quantitatifs du concept métrique ne doivent être conformes qu'avec certains des usages qualitatifs précédents. Mais comment sélectionner cet ensemble d'usages ?

Puisque cette sélection ne peut pas être empirique, et qu'elle ne peut pas non plus être théorique – les rares fois où elle l'est c'est lors du développement d'un ensemble théorique déjà proche de la perfection – il ne reste que certains principes qui peuvent jouer ce rôle. Ce sont justement ces principes que Chang a nommé principes « ontologiques » et que nous nommons principes de coordination – les principes dont le rôle est d'assurer un pont entre les opérations de mesure et les symboles mathématiques, et qui garantissent donc à nos représentations mathématiques un contenu empirique – qu'il faut utiliser si l'on veut rendre l'extension possible.

Il est possible de voir ces principes, et c'est pourquoi Chang les dit « ontologiques », comme les conditions que doivent respecter les concepts pour pouvoir représenter quelque chose de réel. Ils tracent les limites à l'intérieur desquelles les concepts peuvent se mouvoir sans sortir du champ de la réalité qu'ils sont censés décrire ou représenter. Mais l'idée principale qu'il faut retenir de cette section est qu'un concept métrique ne peut pas trouver une définition définitive ; avec les progrès de la science cette définition sera toujours appelée à évoluer. Ce qui prescrit la forme de cette évolution, ce sont aussi les principes de coordination.

Avant de clore ce développement notons que Chang considère que le caractère inachevé de la définition des concepts métriques est une indication de leur pertinence vis-à-vis de la réalité : « To put it in my terms, Bridgman was saying that a mental construct could be assigned physical reality only if its operational meaning was broader than its definition ». ⁸⁵ On ne peut attribuer de réalité physique à une construction mentale qu'à la condition que sa signification opérationnelle soit

⁸⁵ *Ibid*, p. 151.

plus large que sa définition.⁸⁶

Pour y voir plus clair dans cette idée, qui dirige, à notre avis, de manière souterraine les tentatives empiriste-logique de formalisation des théories physiques, il est nécessaire d'en venir aux thèses de Reichenbach sur la relativité et la connaissance *a priori*. Avant cela, un détour par les idées de Schlick est indispensable, puisque les thèses de Reichenbach en sont une critique.

Conclusion : Les principes nécessaires à la mesure physique

Grâce à son étude historique de la formation du concept de température au XIX^{ème} siècle, Hasok Chang parvient à identifier des propositions à caractère général, qui ne sont pourtant ni purement logiques, ni empiriquement vérifiables, et qui permettent d'établir un pont entre le sens mathématique et le sens empirique des concepts de grandeur. En suivant une position réaliste il nomme ces propositions des « principes ontologiques », tout en précisant qu'elles sont révisables, ou remplaçables lors de l'évolution de la science. La possibilité de leur révision, que nous analyserons plus en détails dans les sections II, B et II, C, nous incite à esquisser le terme de « principe ontologique » et à conserver celui proposé par Reichenbach : principe de coordination.

Voici les quatre principes « coordinatifs » que nous avons identifiés chez Chang :

- le principe de respect
- le principe (ou impératif) de progrès
- le principe de comparabilité des instruments
- le principe de la valeur unique

86 Voir à ce propos la définition de la réalité par Reichenbach que nous analyserons dans la section II, B.

Ils n'ont pas tous la même fonction ni le même statut. Si les deux premiers ressemblent plutôt à des injonctions pragmatiques, le troisième concerne la mesure et l'expérimentation, mais il est dans son essence pragmatique aussi. Seul le dernier semble correspondre authentiquement à ce que Chang surnomme un « principe ontologique ». Il s'agit en effet d'un principe imposant une contrainte de nature mathématique sur le résultat d'une opération empirique. Nous aurons affaire à encore d'autres principes de ce genre. Nous réservons la question de leur statut aux sections ultérieures.

Ce que nous montre par ailleurs Chang, c'est qu'il est possible de remplacer un fondationnalisme des principes par une stratégie empirique itérative de réduction de l'erreur. Quel que soit le principe choisi, il devrait être possible (mais Chang insiste aussi sur le rôle du hasard et de la sérendipité) de rendre l'erreur qui en résulterait, aussi petite que l'on veut, grâce à des itérations épistémiques.

Le fonctionnement des itérations épistémiques est le corollaire empirique du principe des approximations successives que nous analyserons chez Reichenbach.

Les logisticiens de l'école de Vienne affirment toujours leur plein accord avec l'école d'Hilbert. Rien n'est pourtant plus discutabile.

Albert Lautman, « Mathématiques et réalité, communication au Congrès International de Philosophie Scientifique, Paris 1935 », in *Les mathématiques les idées et le réel physique*, Vrin, p. 48.

I. C) Hilbert et le sixième problème

Introduction

Dans les sections précédentes nous avons identifié les problèmes de définition des concepts métriques et leur rapport avec certains principes généraux d'un genre très particulier. Dans cette section nous allons étudier certains écrits, publiés et non publiés, de Hilbert. Or la méthode d'axiomatisation mise au point par Hilbert dans le champ des mathématiques permet, lorsqu'elle est généralisée aux sciences mécaniques et physiques, d'isoler et de formuler ces principes. Nous étudierons, à la fin de la section, le cas d'un de ces principes, le *principe de continuité*, aussi connu sous le nom d'*axiome d'Archimède*.

La méthode d'axiomatisation que Hilbert publie pour la géométrie en 1899 est en réalité déjà pensée comme pouvant servir à analyser les théories physiques, comme le révèle l'étude par Léo Corry des notes des cours professés par Hilbert durant la dernière décennie du XIX^{ème} siècle.

Nous comprendrons ainsi que le « sixième problème », formulé par Hilbert dans sa conférence de 1900, est en réalité lié à un grand projet de « mathématisation » (nous dirions d'axiomatisation) de la physique, entrepris non seulement par Hilbert lui-même, mais aussi par ses contemporains et ses prédécesseurs, mathématiciens et physiciens des Universités allemandes :

Helmholtz, Mach, Hertz, Boltzmann, Volkmann, pour ne citer que les plus connus.

Schlick, appelé à incarner le chef de file de l'empirisme-logique à partir de la fin des années vingt, descend directement (par la filiation de Helmholtz et de Planck, sous la direction duquel il a soutenu sa thèse de physique) de ce courant si particulier.

Quelle conception de la science physique, esquissée par Hilbert au cours des années 1890, permet à l'épistémologie coordinationniste de se cristalliser sous sa forme classique ?

1 – Le sixième problème de Hilbert

La formulation des principes de coordination suppose une analyse logique des théories physiques. Les premières tentatives d'axiomatisation des théories physiques permettent donc de mettre en évidence ces principes. Le contexte de leur utilisation est en effet entièrement dépendant du champ de recherche, à la fois mathématique, physique et philosophique, ouvert par la volonté de Hilbert d'étendre le programme d'axiomatisation de la géométrie aux théories physiques mathématisées. Volonté qui trouve son expression la plus claire dans le sixième des vingt-trois célèbres problèmes énoncés par le mathématicien à la conférence de l'Exposition Universelle de 1900. Sous l'intitulé « Mathematical treatment of the axioms of physics » est énoncé ce qui suit :

*The investigations on the foundations of geometry suggest the problem : To treat in the same manner, by means of axioms, those physical sciences in which mathematics plays an important part ; in the first rank are the theory of probabilities and mechanics.*⁸⁷

En raison de son expression plutôt imprécise le « sixième problème » n'est généralement pas

⁸⁷ David Hilbert, « Mathematical Problems », *Bulletin of the American Mathematical Society*, 8.10 (1902), 437–79, p. 454. Par la suite abrégé en « MP ».

considéré comme un réel problème de mathématique, mais plutôt comme une tentative programmatique d'extension à la physique classique de la méthode axiomatique, élaborée par Hilbert dans le cadre de la géométrie euclidienne. Nous verrons qu'en réalité il cerne un problème mathématique véritable. Plus immédiatement intéressantes pour notre propos en sont les implications philosophiques ou épistémologiques : il semble en effet naturel pour Hilbert de faire un lien entre les problèmes de fondation en géométrie et le traitement axiomatique des théories physiques. La proximité entre les deux disciplines, ainsi que nous le verrons dans une section ultérieure, était beaucoup plus évidente au tournant du siècle qu'elle ne l'est aujourd'hui. Et ce rapprochement n'est pas seulement motivé par une analogie méthodologique et formelle, comme pourrait le laisser penser le commentaire qui suit l'énoncé du « sixième problème » :

If geometry is to serve as a model for the treatment of physical axioms, we shall try first by a small number of axioms to include as large a class as possible of physical phenomena, and then by adjoining new axioms to arrive gradually at the more special theories.⁸⁸

En réalité, ainsi que l'explique Léo Corry dans la conclusion de son long article sur Hilbert et l'axiomatisation de la physique : « Hilbert's call in 1900 for the axiomatization of physical theories was a natural outgrowth of the background from which his axiomatic approach to geometry first developed »⁸⁹. Pour les savants de la fin du XIX^{ème} siècle, surtout dans le contexte pluridisciplinaire des Universités Allemandes, les problèmes de fondation de la géométrie ne concernaient pas seulement les mathématiciens, mais aussi les physiciens, en raison du statut à la fois empirique et mathématique qui était accordé, ainsi que nous le verrons, à cette science :

⁸⁸ *Ibid.*

⁸⁹ Conclusion de Leo Corry, « David Hilbert and the Axiomatization of Physics (1894-1905) », *Archive for History of Exact Sciences*, 51.2 (1997), 83–198, p. 183. Par la suite abrégé en « AP ».

What is remarkable, and virtually absent from the traditional historiography until relatively recently, is the extent to which similar parallel developments in physics played a fundamental role in shaping Hilbert's views on axiomatization. Very much like geometry, also physics underwent major changes throughout the nineteenth century. These changes affected the contents of the discipline, its methodology, its institutional setting, and its image in the eyes of its practitioners. They were accompanied by significant foundational debates that intensified considerably toward the end of the century, especially among German-speaking physicists. Part of these debates also translated into specific attempts to elucidate the role of basic laws or principles in physical theories, parallel in certain respects to that played by axioms in mathematical theories. As with geometry, foundational questions attracted relatively limited attention from practitioners of the discipline, but some leading figures were indeed involved in them.⁹⁰

Par un effet miroir, l'intérêt pour les problèmes épistémologiques concernant la physique dépassait largement la seule communauté des physiciens, ainsi que le prouve Hilbert, toujours dans le texte du « sixième problème » :

Important investigations by physicists on the foundations of mechanics are at hand ; I refer to the writings of Mach (1), Hertz (2), Boltzmann (3), and Volkmann (4). It is therefore very desirable that the discussion of the foundations of mechanics be taken up by mathematicians also.⁹¹

Le fait que les mathématiciens aussi, selon Hilbert, aient « leur mot à dire » à propos de la fondation des théories physiques « où les mathématiques jouent un grand rôle » est un indice du fait que la méthode axiomatique n'est pas seulement conçue comme un outil logique pour mettre en évidence la structure déductive d'une théorie, mais aussi comme un instrument d'analyse

90 Leo Corry, « On the Origins of Hilbert's Sixth Problem : Physics and the Empiricist Approach to Axiomatization », in *Proceedings Of the International Congress of Mathematicians* : Madrid, August 22-30, 2006 : Invited Lectures, 2006, pp. 1697–1718, p. 1703. Nous soulignons.

91 « MP », p. 454. (Hilbert, dans les notes (1), (2), (3) et (4), fait référence aux ouvrages suivants des auteurs respectifs : (1) *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, Leipzig, 4th edition, 1901 ; (2) *Die Prinzipien der Mechanik*, Leipzig, 1894 ; (3) *Vorlesungen über die Principe der Mechanik*, Leipzig, 1897 ; (4) *Einführung in das Studium der theoretischen Physik*, Leipzig, 1900.)

épistémologique propre à déterminer la compatibilité des hypothèses théoriques nouvelles, formulées dans le processus de construction des modèles mathématiques, avec les principes préalablement acceptés :

The mathematician will have also to take account not only of those theories coming near to reality, but also, as in geometry, of all logically possible theories. He must be always alert to obtain a complete survey of all conclusions derivable from the system of axioms assumed.

Further, the mathematician has the duty to test exactly in each instance whether the new axioms are compatible with the previous ones. The physicist, as his theories develop, often finds himself forced by the results of his experiments to make new hypotheses, while he depends, with respect to the compatibility of the new hypotheses with the old axioms, solely upon these experiments or upon a certain physical intuition, a practice which in the rigorously logical building up of a theory is not admissible. The desired proof of the compatibility of all assumptions seems to me also of importance, because the effort to obtain such proof always forces us most effectually to an exact formulation of the axioms.⁹²

Le fait d'avoir à retracer jusqu'aux dernières conséquences logiques d'une hypothèse physique, même au-delà des phénomènes qui intéressent potentiellement le physicien, ainsi que d'explorer les théories *possibles* permises par le système d'axiomes mis à jour, place d'emblée la méthode axiomatique hilbertienne au-dessus de tout débat « métaphysique » sur la réalité des hypothèses ou entités postulées par les théories physiques. La méthode de Hilbert, qui préfigure en cela le programme empiriste-logique en philosophie des sciences, déplace les critères d'évaluation des théories physiques et, les affranchissant de leur seul socle empirique, les situe du côté des critères formels d'évaluation des théories mathématiques : ce n'est plus seulement la compatibilité avec l'expérience qui est déterminante mais aussi la consistance, l'indépendance et la complétude des axiomes du système.

⁹² *Ibid.*

De cet accent placé sur la structure mathématico-déductive plutôt que sur le lien à l'expérimentation il ne faut pourtant pas conclure, au risque de rendre incompréhensible le rapport particulier chez Hilbert entre la géométrie et la physique, que la méthode axiomatique est purement formaliste au sens que prendra ce terme au sein de l'école de Hilbert dans le courant des années vingt et trente du XX^{ème} siècle. Pour Hilbert la méthode axiomatique n'est utile pour une théorie qu'à une période avancée de son développement, et ne remet en cause ni son caractère empirique ni son recours indispensable à l'intuition ; en cela, Hilbert se détache du programme empiriste-logique :

The aim of every science is, first of all, *to set up a network of concepts based on axioms to whose very conception we are naturally led by intuition and experience*. Ideally, all the phenomena of the given domain will indeed appear as part of the network and all the theorems that can be derived from the axioms will find their expression there.⁹³

Cette position particulière de la méthode axiomatique nécessite un éclaircissement, mais ce que nous pouvons d'ores et déjà affirmer est qu'elle n'est pas caractéristique d'un formalisme exacerbé, formalisme qui à propos du mathématicien de Göttingen est parfois exagéré, comme le laisse entendre cette affirmation : « Mathematics is not like a game whose tasks are determined by arbitrarily stipulated rules. Rather, it is a conceptual system possessing internal necessity that can only be so and by no means otherwise ».⁹⁴ C'est ce qui justifie ce commentaire de Léo Corry dans un article sur le « sixième problème » :

The misleading conflation of the formalist aspect of the “Hilbert program” with Hilbert’s overall views about mathematics and its relationship with physics is also closely related with a widespread, retrospective

93 David Hilbert, (1905) *Logische Principien des mathematischen Denkens*, Ms. Vorlesung SS 1905, annotated by E. Hellinger, Bibliothek des Mathematischen Seminars, Universität Göttingen, p. 36. (Cité et traduit par Leo Corry, « AP », p. 127). Nous soulignons.

94 David Hilbert, *Natur und Mathematisches Erkennen: Vorlesungen, gehalten 1919-1920 in Göttingen. Nach der Ausarbeitung von Paul Bernays*. Edited and with an English introduction by David E. Rowe, Birkhäuser, Basel 1992, p. 14. Cité par Leo Corry (2006), « On the origins of Hilbert’s sixth problem », p. 1701.

misreading of his early work on the foundations of geometry in purely formalist terms. However, the centrality attributed by Hilbert to the axiomatic method in mathematics and in science is strongly connected with thoroughgoing empiricist conceptions, that continually increased in strength as he went on to delve into ever new physical disciplines, and that reached a peak in 1915–17, the time of his most intense participation in research associated with GTR [General Theory of Relativity].

The axiomatic approach was for Hilbert, above all, a tool for retrospectively investigating the logical structure of *well-established and elaborated* scientific theories⁹⁵

Avant d'en venir au statut de la méthode axiomatique chez Hilbert, et au rôle qu'elle a pu jouer dans la formation du programme empiriste-logique, il nous faut d'abord analyser les rapports entre géométrie et physique, qui seuls rendent cohérents l'application de cette méthode en dehors de son champ originel.

2 – Géométrie et Mécanique

Nous ferons dans cette section un usage important de l'étude réalisée par Léo Corry sur Hilbert et son projet d'axiomatisation de la physique exprimé dans le « sixième problème »⁹⁶. Elle est originale car elle accorde beaucoup de place aux notes rédigées des cours dispensés par Hilbert durant les années où il travaillait sur l'axiomatisation de la géométrie⁹⁷, c'est-à-dire pendant la

95 Leo Corry, (2006), « On the origins of Hilbert's sixth problem », p. 1701.

96 Les deux articles de Leo Corry cités plus haut reprennent, dans une certaine mesure, les travaux en allemand de M. M. Toepell, (1986) *Über die Entstehung von David Hilberts "Grundlagen der Geometrie"*, Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht.

97 Suivent les références des manuscrits de Hilbert constituant ses notes de cours. Les dates indiquent l'année pendant laquelle le cours fut dispensé. (1891) *Protective Geometry*, SUB Göttingen, Cod Ms. D. Hubert 535. (1893-4) *Die Grundlagen der Geometrie*, SUB Göttingen, Cod Ms. David Hilbert 541. (1898-9) *Mechanik*, SUB Göttingen, Cod. Ms. David Hilbert 558. (1905-6) *Mechanik*, Ms. Vorlesung WS. 1905-06 annotated by E. Hellinger, Bibliothek des Mathematischen Seminars, Universität Göttingen. (1911-2) *Kinetische Gastheorie*, WS 1911-12, annotated by E. Hecke, Bibliothek des Mathematischen Seminars, Universität Göttingen. (1912-3) *Molekulartheorie der Materie*, Ms. Vorlesung WS 1912-13, annotated by M. Born, Nachlass Max Born # 1817, Staatsbibliothek, Berlin, Stiftung Preußischer Kulturbesitz. (1913) *Elektronentheorie*, Ms. Vorlesung SS 1913, Bibliothek des Mathematischen Seminars, Universität Göttingen. (1913-4) *Elektromagnetische Schwingungen*, Ms. Vorlesung WS 1913-14,

dernière décennie du XIX^{ème} et les premières années du XX^{ème} siècle. Ces cours, contrairement aux œuvres publiées par Hilbert, mettent en évidence l'intérêt du mathématicien pour la physique et la mécanique. Ils permettent de proposer une version alternative du rapport qu'il concevait entre les disciplines purement mathématiques, la géométrie, et les théories physiques de son temps.

Le point qu'il faut souligner, et qui est d'une grande importance pour comprendre la viabilité même du programme d'axiomatisation de la mécanique, est que la réussite du même programme vis-à-vis de la géométrie ne constitue pas pour Hilbert, contrairement à ce qu'en pense un philosophe comme Schlick, une preuve du caractère analytique *a priori* de ses propositions. Il s'agit tout au plus d'un réagencement ou d'une reformulation, pourrait-on dire, destinée à étudier les propriétés formelles des propositions d'une théorie préexistante (la géométrie en tant que science de l'espace), plutôt qu'une méthode pour déterminer de manière définitive la nature profonde des axiomes et des théorèmes géométriques :

Geometry also [like mechanics] emerges from the observation of nature, from experience. To this extent, it is an *experimental science*.... But its experimental foundations are so irrefutably and so *generally acknowledged*, they have been confirmed to such a degree, that no further proof of them is deemed necessary. Moreover, all that is needed is to derive these foundations from a minimal set of *independent axioms* and thus to construct the whole edifice of geometry by *purely logical means*. In this way [i.e., by means of the axiomatic treatment] geometry is turned into a *pure mathematical science*.⁹⁸

Pour Hilbert la géométrie ne possède pas le même statut que les autres disciplines mathématiques : elle est avant tout une science d'origine empirique qui porte sur les propriétés de l'espace physique. C'est seulement son parachèvement qui lui permet de rivaliser de rigueur avec les disciplines telles que l'arithmétique⁹⁹ :

Bibliothek des Mathematischen Seminars, Universität Göttingen.

98 David Hilbert, Cours sur la mécanique (1898-9). Cité par Leo Corry dans « AP ».

99 Relativisons ici notre affirmation : l'arithmétique reste pour Hilbert une science plus aboutie que la géométrie. La

« Geometry is the science dealing with the properties of space. It differs essentially from pure mathematical domains such as the theory of numbers, algebra, or the theory of functions. The results of the latter are obtained through pure thinking ... The situation is completely different in the case of geometry. I can never penetrate the properties of space by pure reflection, much the same as I can never recognize the basic laws of mechanics, the law of gravitation or any other physical law in this way. Space is not a product of my reflections. Rather, it is given to me through the senses. »¹⁰⁰

Nous ne devons pas sous-estimer cette conception empiriste¹⁰¹ de la géométrie car elle permet de comprendre exactement quel est pour Hilbert le statut de la méthode axiomatique et comment il est possible qu'il en conçoive l'applicabilité à la mécanique. La méthode axiomatique n'est pas réservée aux théories mathématiques ; elle s'adresse à toutes les sciences pour lesquelles la précision expérimentale ne fait plus défaut et pour lesquelles plus aucun fait nouveau important n'est à découvrir :

Geometry is a science whose essentials are developed to such a degree, that all its facts can already be logically deduced from earlier ones. Much different is the case with the theory of electricity or with optics, in which still many new facts are being discovered. Nevertheless, with regards to its origins, geometry is a natural science.¹⁰²

Or ces deux critères se retrouvent dans la mécanique classique. Ce qui fait encore défaut à cette dernière science – et c'est ce qui la distingue de la géométrie – est susceptible d'être corrigé par

preuve de la consistance des axiomes de la géométrie donnée par Hilbert repose en effet sur la consistance de l'analyse, qui doit à son tour être arithmétisée. Néanmoins cela confirme l'idée selon laquelle la géométrie n'est pas une science purement mathématique : elle a besoin de l'arithmétique pour atteindre la plus haute rigueur.

¹⁰⁰David Hilbert, introduction du Cours sur la géométrie projective (1891). Cité par Leo Corry dans « AP ».

¹⁰¹Bien qu'ici Hilbert fasse reposer en dernier lieu l'origine de la géométrie dans les sensations, il nous semble inapproprié de parler de *sensualisme*. Parler d'empirisme n'est d'ailleurs pas tout à fait exact. Pour Hilbert, l'origine de la géométrie est empirique, mais la question de la validation de ses théorèmes est, dans ces textes, plus floue. La distinction entre géométrie physique et géométrie formelle n'est pas encore répandue, bien que pourtant présente, à cette époque, chez les savants allemands. Cf Remarque de Nadine à la conférence sur la mesure en juillet 2018, cette distinction existe déjà chez Boltzmann.

¹⁰²Voir M. M. Toepell (1986), p. 58.

la méthode axiomatique. Il s'agit de l'explicitation de la structure conceptuelle :

In mechanics it is also the case that the physicists recognize its most basic facts. But the *arrangement* of the basic concepts is still subject to a change in perception . . . and therefore mechanics cannot yet be described today as a *pure mathematical* discipline, at least to the same extent that geometry is. We must strive that it becomes one.¹⁰³

Tout se passe comme si, pour Hilbert, il y avait deux types de sciences : d'un côté les sciences purement mathématiques, comme l'arithmétique ou l'analyse, de l'autre les sciences empiriques. Seulement, lorsque les sciences empiriques font un usage poussé des mathématiques et qu'elles atteignent un haut degré de parachèvement, la méthode axiomatique permet de les faire passer d'une catégorie à l'autre. La géométrie est la première des sciences expérimentales qui, grâce à son ancienneté, a pu profiter de cette promotion : « Geometry is the most perfect of (*vollkommenste*) the natural sciences »¹⁰⁴. Mais il ne faut pas en déduire pour cela qu'elle est *par nature* une discipline purement mathématique.

C'est ce schéma de pensée qui permet à Hilbert d'affirmer, sans ciller, que la mécanique peut devenir une science « purement mathématique ». D'une certaine manière la méthode axiomatique, lorsqu'elle est appliquée à des sciences qui possèdent le niveau nécessaire de développement, permet de les enrégimenter dans le domaine des sciences formelles. Mais c'est seulement à la condition qu'elles fassent un usage approfondi des mathématiques. La géométrie, comme la mécanique, *ne sont pas* pour Hilbert *des sciences mathématiques*, mais *des sciences qui font usage des mathématiques*, et c'est cela qui permet leur axiomatisation.

103David Hilbert, Cours sur la mécanique (1898-9). Cité par Leo Corry dans « AP ».

104Cité dans M. M. Toepell (1986), p. vii.

3 – La méthode axiomatique et les sciences empiriques

Nous venons de voir que la méthode axiomatique n'était pas réservée aux seules disciplines purement mathématiques, mais aussi aux sciences d'origine empirique hautement mathématisées. Cela nous a montré que pour Hilbert les sciences empiriques ne sont pas placées pour toujours à un rang inférieur aux mathématiques pures. Mais cela montre aussi, comme le prouve le passage suivant, que pour Hilbert les progrès en mathématiques ne sont possibles que grâce à l'apport des disciplines empiriques :

I should like [...] to oppose the opinion that only the concepts of analysis, or even those of arithmetic alone, are susceptible of a fully rigorous treatment. This opinion, occasionally advocated by eminent men, I consider entirely erroneous. Such a onesided interpretation of the requirement of rigor would soon lead to the ignoring of all concepts arising from geometry, mechanics and physics [...] But what an important nerve, vital to mathematical science, would be cut by the extirpation of geometry and mathematical physics ! On the contrary I think that wherever, from the side of the theory of knowledge or in geometry, or from the theories of natural or physical science, mathematical ideas come up, the problem arises for mathematical science to investigate the principles underlying these ideas and so to establish them upon a simple and complete system of axioms, that the exactness of the new ideas and their applicability to deduction shall be in no respect inferior to those of the old arithmetical concepts.¹⁰⁵

C'est donc une conception dynamique du rapport entre mathématiques et sciences empiriques qui est ici proposée : n'importe quelle science peut apporter de nouveaux concepts aux mathématiques pourvu que la méthode axiomatique, agissant comme un véritable opérateur de conversion, lui soit applicable avec succès.

Pour qu'une science soit axiomatisable il faut d'abord qu'elle soit mathématisée¹⁰⁶, mais par

105« MP », p. 442.

106C'est bien là une condition nécessaire mais certainement pas suffisante.

une sorte de retour sur investissements, qu'elle soit axiomatisable est un indice du caractère mathématique des concepts nouveaux qu'elle introduit. Qu'est-ce qui dans l'axiomatisation permet à un concept de passer au rang de concept mathématique, et qu'est-ce qui l'assure de ce statut ?

Le plus grand avantage de la méthode axiomatique est de permettre l'élimination de toutes les contradictions au sein d'un ensemble théorique :

[...] the *modern theory of quanta* and the advancing knowledge of the inner structure of atoms have led to the laws which flatly contradict the electrodynamics that, up to now, has substantially been built upon Maxwell's equations; as everyone concedes, therefore, the contemporary electrodynamics necessarily demands a new foundation and substantial modification.

As one notes from the preceding lines, the elimination of recurring contradictions in physical theories must always take place through altered selection of axioms, and the difficulty lies in the proper choice by which all observed physical laws are logically deducible.¹⁰⁷

L'élimination des contradictions permet à la fois une unification théorique et la mise en place d'une structure déductive parfaite. La consistance est par conséquent un gage fort du caractère mathématique des concepts ; mais la preuve de cette consistance doit être le résultat d'une procédure logique, et non pas une simple présupposition basée sur le bon sens physique :

After a concept has been fixed completely and unequivocally, it is on my view completely illicit and illogical to add an axiom - a mistake made very frequently, especially by physicists. By setting up one new axiom after another in the course of their investigations, without confronting them with the assumptions they made earlier, and without showing that they do not contradict a fact that follows from the axioms they set up earlier, physicists often allow sheer nonsense to appear in their investigations. One of the main sources of mistakes and misunderstandings in modern physical investigations is precisely the procedure of setting up an axiom,

¹⁰⁷David Hilbert, « Axiomatic Thinking », *Philosophia Mathematica*, 1.1-2 (1970), 1–12, p. 7. Par la suite abrégé en « AT ».

appealing to its truth, and inferring from this that it is compatible with the defined concepts. One of the main purposes of my Festschrift was to avoid this mistake.¹⁰⁸

Ce n'est pas la rigueur dans l'*exposition* des théories physiques qui motive une approche axiomatique, mais plutôt, grâce à la démonstration de leur caractère non-contradictoire, leur *intégration* dans l'édifice des mathématiques. En cela, le mot de Hilbert rapporté ci-dessus et affirmant qu'il fallait souhaiter que la mécanique devienne une science purement mathématique, n'est pas une simple boutade, mais doit être pris comme définissant un « programme » non pas simplement de *rigorisation* de la physique, mais aussi et surtout d'*élargissement* du cadre conceptuel des mathématiques.

Les axiomes spécifiques d'une théorie n'ont pas alors le caractère apodictique et « éternel » qui leur est généralement attribué, mais possèdent dès lors plutôt un rôle opératoire, ainsi que l'explique un successeur de Hilbert :

« In Hilbert's language the axiomatic treatment of a discipline implies in no sense a definitive formulation of specific axioms as eternal truths, but rather the following methodological demand: specify the assumptions at the beginning of your deliberation, stop for a moment and investigate whether or not these assumptions are partly superfluous or contradict each other. »¹⁰⁹

Car ce qui compte pour le mathématicien – à rebours du physicien qui ne cherche à travers les mathématiques qu'à rendre compte des phénomènes – est de mettre à jour les structures mathématiques spécifiques, sous-jacentes à la description des phénomènes. L'axiomatisation de la mécanique a donc bien une finalité proprement mathématique : rechercher si les sciences physiques

108David Hilbert, lettre à Frege du 29 décembre 1899.

109Max Born, « Hilbert und die Physik », *Die Naturwissenschaften*, 10 (1922), 88–93. (Reprint in Max Born, *Ausgewählte Abhandlungen*, Vol. 2, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen 1963, 584–598). Cité et traduit par Leo Corry dans « AP ».

nécessitent le recours à de nouveaux axiomes, qui ne soient pas déjà formulés dans les théories mathématiques bien formalisées. Le principe de cette recherche étant, une fois la consistance d'un système d'axiomes démontrée, d'examiner l'indépendance de chacun d'entre eux :

The *parallel axiom* in geometry offered the classic example for the examination of independence of an axiom. Euclid answered in the negative to the question as to whether the proposition of parallels is already conditioned by other axioms, because he placed it under the axioms. Euclid's method of investigation became typical of the axiomatic investigation and, since Euclid, geometry has at once been the model example for an axiomatic science in general.

Classic mechanics offers another example for an investigation of independence of axioms. The Lagrangian equation of motion, as has already been observed, could act as axioms of mechanics — upon these does mechanics no doubt find itself completely in their general formulation for arbitrary forces and arbitrary secondary conditions. A closer examination reveals, however, that arbitrary forces as well as arbitrary secondary conditions are unnecessary to presuppose for the construction of mechanics, and that, consequently, *the system of presuppositions can be reduced*. This recognition leads on the one hand to the axiomatic system of Boltzmann who presupposes only forces, indeed central forces in particular, and on the other hand to the axiomatic system of Hertz who rejects forces and wants no more than the secondary conditions, indeed fixed connections in particular. These two axiomatic systems form thus a deeper layer in the advancing axiomatization of mechanics.¹¹⁰

Ce projet, proprement mathématique, que nous pourrions adéquatement caractériser comme un projet d'*explicitation mathématique de la physique*¹¹¹, tend à mettre en évidence les postulats propres d'une théorie, et par conséquent à en dégager les « principes fondamentaux »¹¹². Le nombre

110« AT», p. 4. Nous soulignons.

111Il ne s'agit pas pour Hilbert de montrer que la physique *n'est rien d'autre que* des mathématiques, mais plutôt de montrer à quel degré une théorie fait usage de mathématiques déjà existantes, et dans quelle mesure elle introduit des postulats nouveaux et *irréductibles à de la mathématique pure*. L'irréductibilité des ces postulats étant un indice de leur caractère fondamental pour la théorie en question.

112C'est ainsi que s'exprime Jean Dieudonné en parlant de la spécificité de l'approche hilbertienne. Son propos se limite aux seules mathématiques, mais nous pensons qu'il peut facilement être élargi aux théories empiriques : « ce n'est pas d'ordinaire par un perfectionnement [...] des méthodes de ses devanciers, que Hilbert aboutit à de grandes découvertes, mais bien au contraire en revenant à l'origine de la question traitée, et en dégageant de la gangue, où

d'axiomes indépendants ne reposant pas déjà sur une doctrine mathématique antérieure¹¹³ pourrait d'ailleurs être compris comme une mesure de l'écart entre la théorie en question et la mathématique pure.

Rappelons que pour Hilbert il n'est pas question, à travers l'analyse axiomatique, de faire ressortir ce que serait la nature réelle des phénomènes ; les postulats, ou « axiomes spécifiques » ne peuvent donc pas porter sur l'existence d'entités particulières (atomes ou forces par exemple), mais seulement sur le principe mathématique qui gouverne leur comportement. En cela Hilbert se détache de tout débat métaphysique ou ontologique et voit même d'un bon œil le développement d'axiomatisations reposant sur des fondements opposés :

Thus Boltzmann's work on the principles of mechanics suggests the problem of developing mathematically the limiting processes, there merely indicated, which lead from the atomistic view to the laws of motion of continua. Conversely one might try to derive the laws of the motion of rigid bodies by a limiting process from a system of axioms depending upon the idea of continuously varying conditions of a material filling all space continuously, these conditions being defined by parameters. For the question as to the equivalence of different systems of axioms is always of great theoretical interest.¹¹⁴

Cette focalisation mathématique et en quelque sorte anti-métaphysique, à contre-courant des débats de l'époque entre physiciens, est peut-être l'élément le plus caractéristique de la méthode axiomatique hilbertienne appliquée aux sciences physiques. Et nous pensons que les positions similaires des membres de l'empirisme logique en sont largement inspirées, et tentent d'en tirer les conséquences sur le plan philosophique¹¹⁵.

nul n'avait su les voir, les principes fondamentaux [...] », « David Hilbert (1862 - 1943) » in *Les Grands Courants de la Pensée Mathématique*, p. 292.

113 Nous aimerions, en suivant une suggestion d'Alain Michel au Colloque International, tenu du 4 au 6 novembre 2015 à Marseille, « Histoire et philosophie des mathématiques et disciplines associées en Méditerranée » appeler « postulats » les axiomes spécifiques d'une théorie, qui, par la restriction des structures mathématiques définies, permet un ancrage de la théorie dans la réalité des phénomènes.

114 « MP », p. 454.

115 L'importance que Schlick et Carnap accordent à la notion de structure, ainsi que les positions anti-métaphysiques

Il devient alors évident que l'on peut distinguer différents types d'axiomes au sein des reconstructions formelles des théories physiques. Il y a d'abord, ainsi que l'exprime Corry, « certains principes mathématiques généraux que Hilbert pensait valides pour toutes les théories physiques », comme par exemple les principes de continuité (que nous traitons ci-dessous), mais aussi l'hypothèse de l'entière validité des principes variationnels, sans lesquels il n'est pas possible de dériver les principales équations de la physique – par intégration des équations différentielles notamment. Puis il y a les « postulats », ou « axiomes spécifiques », posant les relations mathématiques entre les grandeurs fondamentales de la théorie et qui caractérisent et individualisent une théorie physique particulière. Enfin il reste les axiomes exprimant les revendications métaphysiques d'une théorie, mais nous avons vu que pour Hilbert, probablement parce qu'ils n'impliquent aucun développement mathématique, ils sont dénués d'intérêt¹¹⁶.

Cette partition est d'une grande importance pour comprendre l'évolution ultérieure des approches axiomatiques en physique : la distinction que fait par exemple Reichenbach entre les « axiomes de connexion » et les « axiomes de coordination » reflète, sans recouper entièrement, la distinction entre axiomes spécifiques et axiomes plus généraux¹¹⁷. On peut aussi penser aux différents types d'hypothèses énumérées par Poincaré dans *La science et l'hypothèse*,¹¹⁸ ou bien encore à la classification des principes en « principes physiques » et « principes métaphysiques »

conciatrices de ce dernier, nous semblent témoigner en ce sens. Voir respectivement M. Schlick, *Théorie Générale de la Connaissance*, Gallimard, 2009, et R. Carnap, *La Construction Logique du Monde*, Vrin, 2002.

116 Nous nous référons dans ce développement au passage suivant, tiré de l'article de Leo Corry « AP », p. 185. Nous soulignons, les numéros entre parenthèses sont ajoutés : « In Hilbert's treatment of physical theories we find diverse kinds of axioms that reflect a classification previously found in the writings of Paul Volkmann. [1] In the first place, every theory is assumed to be governed by *specific axioms* that characterize it. *These axioms usually express mathematical properties establishing relations among the basic magnitudes involved in the theory.* [2] Then, there are certain *general mathematical principles* that Hilbert thought should be valid for all physical theories. [...] [3] There is yet a third type of axiom for physical theories, however, which Hilbert avoided addressing in his 1905 lectures. *That type comprises claims about the ultimate nature of physical phenomena, [...]* [Hilbert's] axiomatic analyses of physical theories contain no direct reference to it. *The logical structure of the theories is thus intended to be fully understood independently of any particular position in this debate* ».

117 Voir Hans Reichenbach, *The theory of relativity and a priori knowledge*, trad. by Maria Reichenbach, Berkeley, Etats-Unis, 1965, p. 54.

118 Henri Poincaré, *La science et l'hypothèse*, Flammarion, 1968, pp. 166-167. Nous pensons notamment aux « hypothèses indifférentes » évoquées par Poincaré.

chez Duhem¹¹⁹.

4 – Le principe de continuité et l'axiome d'Archimède

Un cas particulièrement intéressant d'axiomes généraux est celui des « principes de continuité ». Afin d'en comprendre précisément l'intérêt pour notre propos, il nous faut parler d'une ressemblance entre la géométrie et la physique que nous n'avons pas encore évoquée : la physique, tout comme la géométrie, fait usage de la notion de *grandeur* telle que nous l'avons héritée du livre V des *Éléments* d'Euclide. Le fait n'est pas totalement trivial ; des disciplines comme l'arithmétique ou la théorie des probabilités n'en font pas nécessairement usage. Mais ce point commun est accompagné d'une différence décisive : *la notion de grandeur physique n'est pas exactement la même que la notion de grandeur purement géométrique.*

Où réside exactement cette différence ? Comme cela est connu, la physique utilise des grandeurs de dimensions différentes, qui, étant donné des conventions adéquates, peuvent se ramener à trois seulement : la longueur, la masse et le temps. Or la géométrie requiert uniquement la notion d'extension. La spatialité n'est pas même requise : les axiomes définissant la notion de grandeur spécifient l'égalité, des opérations, des relations d'ordre, mais l'ancrage spatial de la grandeur en est déjà une *interprétation*.¹²⁰ C'est pourquoi l'on s'exprimerait plus correctement en parlant, à chaque fois que l'on fait référence à la géométrie en tant que science de l'espace physique, de « géométrie spatiale ». Hilbert ne fait pas cette distinction de manière explicite et ce fait nous semble (c'est ce que nous avons tenté de montrer dans les sections précédentes) caractéristique de sa conception de la géométrie, et autorise un rapprochement plus intime avec la physique que ce que

119 Pierre Duhem, *La théorie physique ; son objet sa structure*, Vrin, 1914, voir le « Chapitre Premier ».

120 Il s'agit de l'une des conséquences de l'axiomatisation de la géométrie par Hilbert, même si cette conséquence ne s'imposa que progressivement.

nous serions prêts à accepter aujourd'hui.

C'est justement cet aspect « dimensionnel » de la notion de grandeur qui constitue selon nous le caractère physique du concept de grandeur. La contrepartie physique de l'aspect dimensionnel est l'existence d'une unité de mesure (mètre, kilogramme ou seconde, par exemple). En géométrie pure, s'il peut être fait usage de l'unité, celle-ci n'est jamais une unité représentant une quantité physique réelle, mais le résultat arbitraire d'une convention¹²¹. En physique, si l'unité est aussi le résultat d'une convention, il n'en demeure pas moins qu'une portion d'espace, de temps, ou de masse (c'est-à-dire un objet ou la durée d'un processus) est *représentée* par l'unité. En utilisant un vocabulaire passé de mode nous pourrions dire que nous avons affaire à une grandeur dimensionnée lorsque l'unité associée à la grandeur est un « nombre concret ». Nous nous trouvons cependant en présence d'une grandeur abstraite lorsque l'unité associée à la grandeur est un « nombre abstrait »¹²².

Or l'une des propriétés les plus remarquables du concept de grandeur est celle qui est représentée par l'axiome dit d'Archimède, et qui affirme qu'étant données deux grandeurs inégales quelconques, en additionnant à elle-même un nombre fini de fois la plus petite, on peut toujours dépasser la plus grande. Cette propriété des grandeurs, alors dites « archimédéennes », est très étroitement en lien avec le problème physique de la relation entre échelles de la même grandeur¹²³. C'est d'ailleurs ce qu'aperçoit très justement Hilbert :

It is shown in the theory of real numbers that the axiom of measurement, the so-called Archimedean axiom, is independent of all other axioms of arithmetic. As is well-known, this knowledge is of essential significance to geometry, but it seems to me that it has principal interest in physics as well; for it leads us to the following outcome. That is, the fact that we can come up with the dimensions and ranges of celestial bodies by putting

121 Par exemple lorsque Descartes, dans la *Géométrie*, pour résoudre le problème de Pappus, se propose de fixer telle longueur de segment comme l'unité, c'est uniquement pour simplifier l'équation décrivant le problème et permettre ainsi sa résolution. Dans ce cas l'unité est parfaitement abstraite et ne sert en réalité qu'à éliminer un terme de l'équation en le remplaçant par un facteur un : l'unité n'a pas de signification géométrique mais seulement algébrique.

122 Pour cette distinction, voir Campbell, Norman Robert, *Physics : The Elements*, Cambridge University Press, 1920.

123 Voir les sections I, A et I, B.

together terrestrial ranges, namely measuring celestial lengths by terrestrial measure, as well as the fact that the distances inside atoms can be expressed in terms of metric measure, is by no means a merely logical consequence of propositions on the triangular congruence and the geometric configuration, but rather an investigative result of experience. *The validity of the Archimedean axiom in the nature, in the sense indicated as above, needs experimental confirmation just as much as does the proposition of the angular sum in triangle in the ordinary sense.*¹²⁴

En plus de l'affirmation du caractère empirique de cet axiome lorsqu'il est appliqué à la physique (montrant au passage l'ancrage hertzien de la méthode axiomatique chez Hilbert), nous voyons ici que la propriété archimédéenne de la notion de grandeur est en rapport étroit avec le problème physique de l'expression des distances célestes en termes de quantités de l'ordre du mètre ou du kilomètre.

La demande du mathématicien, cependant, est difficilement réalisable : il faudrait vérifier si l'on obtient le même résultat de mesure en mesurant des distances interplanétaires ou interstellaires par la méthode, disons, de la parallaxe, et par la méthode classique, que l'on utilise à la surface de la terre pour les petites distances, de mise bout-à-bout d'un mètre ruban, par exemple. Or il est évident que l'on *ne peut pas* mesurer les distances interstellaires en plaçant bout-à-bout un mètre ruban. La seule possibilité est de relier, par des intervalles où elles se superposent, différentes échelles (définies par différentes méthodes de mesures), et ainsi de suite jusqu'à relier, mais alors de manière indirecte, les mesures faites avec un mètre à ruban et les mesures réalisées au moyen de la méthode de la parallaxe. Or il est probable que dans ce processus l'on fasse intervenir, à une étape ou à une autre, une théorie physique complexe, comme la théorie newtonienne de la gravitation (pour savoir par exemple combien de fois le demi grand-axe de l'orbite elliptique terrestre peut contenir le rayon terrestre).

Dans l'esprit de Hilbert cependant, comme un tel principe est censé figurer en tant

¹²⁴« AT », pp. 4-5, nous soulignons.

qu'axiome dans la reconstruction formelle de la physique classique (donc de la physique newtonienne) il doit, si l'on veut s'assurer de sa validité empirique, pouvoir être testé indépendamment des théories qu'il est censé fonder. Cela en est réalité difficile, voire impossible, à réaliser.

Tout le problème repose sur l'existence ou non de méthodes de mesure précises et fiables pour les distances interstellaires, qui ne dépendent pas de la théorie à axiomatiser (en l'occurrence il faudrait que ces méthodes dépendent seulement d'une géométrie physique à l'échelle humaine et/ou d'une optique élémentaire).

C'est pourquoi Hilbert, plus ou moins conscient de ce problème, propose pour la physique une version du principe de continuité dont l'axiome d'Archimède n'est que le pendant géométrique, qui place l'accent, semble-t-il, sur le problème de l'incertitude de la mesure :

In general, I should like to formulate the axiom of continuity in physics as follows: "If a certain arbitrary degree of exactitude is prescribed for the validity of a physical assertion, a small range shall then be specified, within which the presuppositions prepared for the assertion may freely vary such that the deviation from the assertion does not overstep the prescribed degree of exactitude." This axiom in the main brings only that into expression which directly lies in the essence of experiments; it has always been assumed by physicists who, however, have never specifically formulated it.¹²⁵

Cependant il est difficile de voir comment cette formulation différente du principe de continuité peut régler le problème défini ci-dessus. Il s'agit en effet d'un problème de circularité logique, et non pas un problème d'incertitude sur les résultats de mesure. C'est pourquoi ce principe ne peut pas, ainsi que le pense Hilbert, constituer une proposition empirique, mais doit posséder un statut différent. Quel est ce statut ?

Ce statut correspond, à peu de choses près, au statut des « principes ontologiques » identifiés

¹²⁵« AT », p. 5.

par Hasok Chang. Nous verrons plus loin qu'il peut aussi se ranger parmi les « principes de coordination » reconnus par Reichenbach.

Pour finir, mentionnons toutefois un aspect intéressant de la méthode hilbertienne : en nous rendant maître de tous les présupposés d'un ensemble théorique, elle nous permet d'envisager la possibilité de nier ces présupposés (les principes ou axiomes) les uns indépendamment des autres. C'est ainsi que Hilbert envisageait la possibilité de construire une physique où le principe de continuité serait nié, conduisant ainsi à une sorte de « physique non-archimédéenne »¹²⁶. Remarquons-le toutefois, ce genre de construction pourrait correspondre aux mathématiques dont P. W. Bridgman encourageait le développement pour rendre compte du caractère non-continu des concepts de grandeur¹²⁷.

L'axiomatisation comme socle de la théorie coordinative

Le programme d'axiomatisation des sciences mathématisées, initié par les savants allemands, et conduit à sa maturité par Hilbert, dessine donc un socle épistémologique original sur lequel se construira l'épistémologie coordinationniste, et plus particulièrement l'épistémologie empiriste-logique.

En plus d'une attention particulière aux processus de mesure, conséquence du progrès de l'instrumentation au XIX^{ème} siècle, se développe parallèlement une volonté chez les théoriciens de clarifier l'édifice conceptuel de la physique à travers une analyse des principes (ou axiomes) des théories. Il n'est pas tellement question de parvenir à identifier les composants ultimes de la réalité, mais plutôt de réussir à réduire au minimum de principes l'intégralité des théories physiques.

¹²⁶Voir la remarque de Leo Corry, « AP », p. 134.

¹²⁷Voir P. W. Bridgman, *LMP*, p. 63.

En déplaçant le souci des physiciens de la vérification empirique des lois à la démonstration de consistance des principes, Hilbert rend possible une réflexion formelle sur la structure logique des théories scientifiques, tout en éliminant, grâce à la méthode de définition implicite, la nécessité d'un discours métaphysique ou ontologique sur la nature des entités élémentaires. Ces deux éléments sont caractéristiques du mouvement empiriste-logique qui se construira à partir des années vingt.

De plus, les innovations de Hilbert inaugurent la possibilité d'analyser les théories physiques, soit, d'un côté, comme des ensembles de lois empiriques vérifiés expérimentalement, soit, d'un autre côté, comme des constructions abstraites et purement mathématiques, afin d'en identifier les propriétés métalogiques. L'expression de cette dualité est l'une des conditions de possibilité primordiale de l'épistémologie coordinative telle quelle se développera au cours du XX^{ème} siècle.

Conclusion : Progrès de l'instrumentation et axiomatisation

Nous comprenons donc que les progrès de l'instrumentation et de la mesure au XIX^{ème} d'un côté, et le projet d'axiomatisation des sciences mathématiques et mathématisées de l'autre, ne sont pas des phénomènes séparés.

Ils sont tous deux en rapport avec une transformation du statut du concept de grandeur qui engendre des répercussions jusque dans la philosophie. C'est d'ailleurs à cette dernière que nous allons nous intéresser à présent, dans la partie à suivre.

Et comme, dit-on, la chouette de Minerve ne prend son envol qu'à la nuit tombée, les philosophes n'intègrent ces réflexions qu'à partir de la révolution relativiste. Avant cette révolution, en effet, la distinction entre géométrie mathématique et géométrie physique¹²⁸ n'était, pour ainsi dire, pas systématique, même s'il est possible de la voir évoquée, implicitement ou explicitement, à travers les écrits de Helmholtz, Boltzman ou Poincaré, pour ne citer qu'eux.

Nous allons donc voir comment ces transformations affectent la philosophie des sciences et de la connaissance, en nous limitant au cas de la philosophie empiriste.

128Ce n'est qu'à partir de l'article d'Einstein, « Géométrie et expérience » (la traduction française du texte allemand « Geometrie und erfahrung » prononcé le 27 janvier 1921 à Berlin, peut se trouver dans Jacques Merleau-Ponty et Françoise Balibar ed., *Albert Einstein, Oeuvres choisies*, vol. 5, pp. 70-81) que la séparation entre géométrie mathématique et géométrie physique peut-être considérée comme consommée. Nous anticipons un peu ici, pour faciliter l'analyse.

**Partie II – L'épistémologie coordinative post-relativiste et sa
critique par Reichenbach**

Les idées de Mach, Poincaré et Duhem nous ont incités à débattre des problèmes relatifs à la maîtrise du réel par des systèmes d'hypothèses et d'axiomes. Tout d'abord un système d'axiomes, entièrement séparé de toute application empirique, peut être considéré comme un système de définitions implicites, ce qui veut dire : les concepts figurant dans les axiomes sont fixés non pas d'après leur contenu mais uniquement dans leurs relations mutuelles, au moyen de ces mêmes axiomes, ce qui est une façon de les définir. Un tel système d'axiomes n'acquiert une signification pour le réel que lorsqu'on y ajoute d'autres définitions, c'est-à-dire les « définitions de coordination » (*Zuordnungsdefinitionen*) qui indiquent quels objets du réel doivent être considérés comme maillons du système d'axiomes. L'évolution de la science empirique qui veut reproduire le réel à l'aide d'un réseau de concepts et de jugements le plus simple et le plus unitaire possible, peut se dérouler, comme le montre l'histoire, de deux manières. Les modifications entraînées par les nouvelles expériences peuvent affecter soit les axiomes, soit les « définitions de coordination ». On touche là au problème des conventions qu'a tout particulièrement traité Poincaré.

[...]

Grâce à l'application de la méthode axiomatique à ces problèmes, les composants empiriques de la science se séparent en tous points des composants purement conventionnels : un contenu d'énoncé se sépare d'une définition. Un jugement synthétique *a priori* n'a plus sa place ici.

« Manifeste du Cercle de Vienne », in *Manifeste du Cercle de Vienne et autres écrits*, dir. Antonia Soulez, PUF, 1985, pp. 122-123.

Introduction à la partie II

L'épistémologie coordinative et l'empirisme logique

Nous avons identifié une certaine forme d'épistémologie au sein de laquelle la réflexion à propos des principes de coordination est particulièrement développée. Cette épistémologie trouve sa

naissance dans les universités allemandes au XIX^{ème} siècle.

Elle connaît une période de progressive constitution au cours du XIX^{ème} siècle, période qui culmine avec les textes épistémologiques de Helmholtz, la formulation nouvelle de la mécanique classique par Hertz (entre autre), ainsi que dans les cours de physique donnés par Hilbert à la toute fin du siècle.

Cette épistémologie connaît alors une première forme de cristallisation, comme en témoigne les œuvres d'empiristes ou de positivistes comme Mach ou Duhem, dans les premières années du XX^{ème} siècle.¹

Mais elle acquiert soudainement une dimension nouvelle après la publication par Einstein des articles fondateurs des théories de la relativité restreinte et générale. Les caractéristiques de cette épistémologie la rendent en effet, au yeux de certains savants et philosophes, plus apte que ses rivales d'alors (néo-kantisme surtout, phénoménologie aussi par la suite²) à rendre compte des problèmes liés à la représentation intuitive du contenu de ces théories révolutionnaires. Ce sont Schlick surtout, et Reichenbach par son attitude plus critique, qui engagent l'épistémologie coordinative dans cette nouvelle voie.

Elle est à notre avis un des piliers fondateurs de l'empirisme-logique tel qu'il se développera par la suite sous l'impulsion de Carnap et de Hempel, en Autriche puis aux États-Unis.

Nous nous proposons donc d'étudier l'évolution de ce type très particulier d'épistémologie, et de ses concepts propres, dans le cadre du mouvement empiriste seulement.³ Nous voulons particulièrement insister sur le regard sans équivalent que cette épistémologie permet vis-à-vis des

1 Il est aussi possible de retrouver des traces de cette épistémologie chez Poincaré, mais pas dans sa version empiriste.

2 Il ne faut pas oublier non plus les thèses bergsoniennes, que l'on peut qualifier de « vitalistes » en biologie et psychologie, et de « classique » en physique mathématique.

3 Il existe un développement parallèle de cette épistémologie chez Cassirer, au sein du mouvement néo-kantien.

problèmes de la mesure physique. Mais le point central de notre étude concerne le statut de certains principes.

L'épistémologie coordinative se caractérise en effet par ce que l'on pourrait nommer un postulat (ou une hypothèse de recherche) épistémologique. Ce postulat, qui relève de la méthodologie de la science, affirme qu'il est possible, grâce à une formulation axiomatique des théories physiques, ou pour le moins à une « analyse logique », de distinguer ce qui en elles concerne uniquement la forme mathématique, de leur contenu empirique véritable. Cette distinction, et c'est ce qui la rend chère aux empiristes, permettrait en dernière analyse d'évacuer du domaine de la science les questionnements « métaphysiques », qui selon les mêmes philosophes, n'émergent que par la faute d'une mauvaise analyse des théories et de leur langage.

Or, ces questionnements « métaphysiques », déjà identifiés au cours du développement de la mécanique classique, se développent de manière plus drastique encore au cours de l'acceptation progressive des théories relativistes par la communauté scientifique.

Une des questions subsidiaires que nous nous poserons est de savoir si Einstein s'est véritablement rangé, comme il le laisse croire dans ses échanges avec Schlick, à cette épistémologie. Nous pensons que son ralliement n'est que partiel, et que la cause de cet engagement en demi-teinte est à chercher du côté des défis, quasiment insurmontables, que pose la jeune physique quantique à une épistémologie construite pour une physique classique.⁴

Comme nous l'expliciterons par la suite, la distinction fondamentale que tente d'opérer l'épistémologie coordinative au sein des théories physiques, implique la reconnaissance de principes d'un niveau fondamental qui ne peuvent se ranger ni totalement du côté de l'appareil logico-

4 Ce serait le cadre d'un travail ultérieur que d'examiner les liens de cette épistémologie à la physique quantique.

mathématique (comme le principe de non-contradiction), ni du côté des généralités empiriques suffisamment solides pour servir de support à la fabrication d'instruments de mesure (loi du levier d'Archimède ou loi de Snell en optique géométrique).

La solution apportée par Schlick, qui dérive des approches déjà formulées par Poincaré et Duhem, consiste à considérer ces principes comme de pures et simples *conventions* ; plus proches en ce sens de l'appareil formel, que du contenu empirique.

Or ces principes ou *conventions*, nous le montrerons, touchent dans la plupart des cas à la définition même des concepts métriques et parfois jusqu'à la notion générale de grandeur physique mathématisable.

L'empirisme-logique contre l'empirisme « classique »

Selon nous, on peut distinguer au sein du mouvement empiriste logique deux foyers différents, empiristes dans leur esprit, mais très différents quand à la nature des concepts épistémologiques mobilisés.

Le premier foyer est l'héritier direct du mouvement positiviste du XIX^{ème} siècle et s'articule autour de deux thèses : 1) Tous les concepts de la science doivent être dérivés de l'expérience ; 2) Les propositions générales sont « justifiées » inductivement.

Le deuxième foyer quant à lui provient de la réflexion sur la crise des fondements en mathématiques et de la tentative d'explication de la possibilité de révolutions scientifiques (relativité et physique quantique). Il peut se résumer à deux thèses : 1') Les propositions des mathématiques sont analytiques et *a priori* ; 2') Les théories des sciences empiriques contiennent inévitablement des éléments conventionnels.

Tels quels, ces deux pôles sont incompatibles. En effet pour l'empirisme classique, même les propositions mathématiques – qu'elles soient particulières comme « $2 + 2 = 4$ » ou plus générales comme « $a + b = b + a$ » – doivent être dérivées de l'expérience par une série d'abstractions successives. Pour les empiristes-logiques il n'est jamais question de rendre compte de l'origine empirique des concepts mathématiques.

La philosophie empiriste logique est en réalité une tentative pour rendre compatible ces deux directions. Cela ne peut se faire sans quelques restrictions. Ainsi les thèses 1) et 1') sont rendues compatibles grâce à la formulation suivante : 1") Toutes les propositions de la science sont synthétiques *a posteriori*, sauf celles des mathématiques qui sont analytiques *a priori*, et il n'y a pas d'autre type de propositions. Les thèses 2) et 2') peuvent être fusionnées ainsi : 2") Seules certaines propositions empiriques peuvent être directement validées par l'expérience, et certaines propositions conventionnelles ne sont pas susceptibles d'être soumises à un test empirique, elles sont alors analytiques *a priori*.⁵

La thèse 1") est celle à laquelle tous les empiristes-logiques adhèrent, et ils ne sont pas prêts à la remettre en question. Le seul contre-exemple est le premier ouvrage de Reichenbach, *La théorie de la relativité et la connaissance a priori*, où l'auteur admet que certaines propositions (les principes de coordination) sont synthétiques *a priori* ; après un échange de lettres avec Schlick, il nuance son propos en direction de la position conventionnaliste.

Mais selon nous cette thèse peut être conservée dans une reconstruction cohérente de l'empirisme. Nous verrons toutefois, que même dans les ouvrages de Carnap, quelque chose qui ressemble à des propositions synthétiques *a priori* est admis.⁶

5 Cela a pour conséquence qu'il peut être distingué deux types très différents de propositions analytiques *a priori*.

6 Voir III, A, 5.

La thèse 2^o) est quant à elle beaucoup plus problématique. La solution au problème de l'induction, même sous une forme probabiliste, n'ayant jamais été proposée de manière satisfaisante, restera pour un temps le problème fondamental des empiristes.

Par contre, le holisme de la vérification étant compatible avec l'empirisme (Schlick et Reichenbach avancent des positions explicitement holistes), le problème de la vérification des propositions empiriques générales peut être traité, dans un cadre empiriste sans tomber dans l'inductivisme ni l'apriorisme.

Les propositions de Carnap dans *Testabilité et Signification* évitent aussi ces deux écueils de l'épistémologie (l'inductivisme et l'apriorisme). Elles sont incompréhensibles sans la prise en compte des positions de Schlick et de Reichenbach. Elles gardent toutefois la prétention à réduire le langage de la science à un langage observationnel, mais cette réduction est explicitement reconnue comme *nécessairement* « partielle » ou « incomplète ».

Notre thèse consiste à montrer que le holisme de la vérification et les théories partiellement interprétées constituent en réalité deux réponses différentes à un même problème. Ce problème est en totalité, ou en partie, relié au problème de la définition des concepts métriques (et non pas des « termes théoriques » en général – les termes théoriques généraux, comme « électron » sont généralement définis de manière *explicite* à partir de concepts métriques qui ne sont que partiellement définis).

Notre travail consiste donc à réinterpréter l'empirisme-logique en fonction des solutions qu'il apporte au problème de la définition des concepts métriques et, le cas échéant, à sauver ce qui peut l'être.

L'empirisme comme philosophie de la révolution scientifique

De la même manière que la philosophie de Kant est issue de la question : « comment une science physique absolument certaine est-elle possible ? », la philosophie des empiristes-logiques est issue de la question : « comment une révolution scientifique est-elle possible ? ». L'idée que l'empirisme-logique ferait fi du changement scientifique est totalement fautive, cette philosophie naît au contraire du constat de ce changement et tente d'en expliquer la compatibilité avec la raison et l'expérimentation. La réponse ne peut être qu'anti-kantienne, puisqu'il faut reconnaître qu'une science physique absolument certaine *n'est pas* possible.

Cette affirmation : « Aucune science physique (empirique) absolument certaine n'est possible » est pour nous constitutive du mouvement empiriste à partir de la fin du XIX^{ème} siècle. Elle résulte d'une compréhension positive du rapport entre les mathématiques d'une théorie et l'utilisation des instruments de mesure. Elle consiste à reconnaître le caractère indépassable de l'incertitude sur la mesure des grandeurs.

Contrairement à la philosophie classique (et critique, si l'on veut tout de même faire la différence), la nouvelle philosophie empiriste ne fait pas seulement porter la charge de cette incertitude sur les lois empiriques les plus particulières, mais aussi sur les principes les plus généraux.

Néanmoins cette charge de l'incertitude ne prend pas la forme sceptique qu'elle a chez Hume, car pour les empiristes-logiques les principes, contrairement à une opinion bien ancrée, ne sont pas justifiés inductivement (la compréhension probabiliste de l'induction ne sert à cet égard qu'à montrer la *pertinence* des principes (et leur hiérarchie relative), mais certainement pas leur degré de *validité*, qui dépend, nous l'avons dit, de la précision des instruments de mesure, voir page

517 de la *Théorie Générale de la Connaissance* sur ce point : « Toutes nos connaissances portant sur la réalité sont donc, à strictement parler, des hypothèses. Aucune vérité scientifique, qu'elle soit de type historique ou qu'elle appartienne aux sciences de la nature les plus exactes, n'y fait exception, aucune n'est en principe garantie contre le danger d'être un jour ou l'autre réfutée et de cesser d'être valide. Bien qu'il y ait d'innombrables vérités portant sur le monde réel dont aucun homme, qui a affaire à elles, ne doute, aucune d'entre elles ne peut se défaire entièrement de son caractère hypothétique »). Les principes sont admis conventionnellement comme des hypothèses.

Les principes, qui ne sont pas *justifiés* de manière *a priori*, n'en ont pourtant pas moins, au sein du système mathématique de la théorie, le rôle de principes *a priori*. Pour effectuer ce changement de statut, les principes doivent être dépouillés de tout contenu de connaissance, et s'identifier à des « définitions déguisées ». Ils sont donc à cet égard *analytiques* et non pas *synthétiques* comme le croyait Kant. Le statut des principes de la physique chez les empiristes-logiques peut alors être résumé ainsi : ils sont synthétiques *a posteriori* quant à leur justification, mais analytiques *a priori* quant à leur fonction. Une fois mis à l'abri de l'expérience par la construction théorique, les principes, dont la puissance déductive est énorme, ne peuvent être mis en cause de manière particulière dans le cas d'une anomalie, d'où un holisme théorique.

Il se trouve que certains principes concurrents, dans le cas d'alternatives, au cours du changement théorique, ont les mêmes conséquences empiriquement observables (à un moment donné de la science). Le choix s'effectue alors selon des critères épistémologiques.

C'est à ce point seulement que les opinions des empiristes-logiques divergent. Duhem se réfère au « sens physique », Poincaré et Schlick à la « simplicité », Reichenbach au « principe des approximations successives »⁷.

Cette conception originale des principes, qui suppose que l'on puisse exprimer la structure logique d'une théorie indépendamment de ses conséquences empiriques conduit à l'immanquable

⁷ Mais il évoque aussi, dans sa correspondance avec Schlick, un mystérieux « sens physique ».

penne glissante qui substitue à la question « comment les révolutions scientifiques sont-elles possibles ? », la question suivante : « comment distinguer le contenu simplement factuel d'une théorie, de sa pure forme mathématique ? ».

[...] is it possible that physics will some day be absorbed as a subdiscipline into maths [...] ?

H. Reichenbach, *The aims and method of physical knowledge*, « 4. Physics and mathematics », in H. Reichenbach, *Selected Writings*, Vol. II, D. Reidel Publishing Company, 1978, p. 133.

II. A) Schlick : Les articles sur la relativité et les origines de l'épistémologie coordinative.

1 - L'article sur la relativité

L'une des origines les plus remarquables de l'empirisme logique, cela est peu souvent remarqué, est constituée par la révolution que déclenchèrent les théories de la relativité restreinte et générale.

Moritz Schlick, né à Berlin en 1882, y fait ses études en physique et y obtient son doctorat dans la même discipline en 1904 sous la direction du célèbre Max Planck.⁸ Thomas Oberdan le place dans la filiation directe de Helmholtz et de Planck, deux physiciens philosophes engagés dans le mouvement intellectuel de « retour à Kant » (*zurück zu Kant*) :

Both Helmholtz and Planck integrated Kantian themes in their philosophical thinking and there can be no doubt that, even though Schlick could never be considered much of a Kantian, he was deeply sympathetic with many of Kant's ideas. To begin with, Kant's interests in epistemological concerns arising from the advanced

⁸ La plupart des informations sur Schlick sont tirées de l'article de la *SEP*, Oberdan, Thomas, "Moritz Schlick", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2013 Edition), Edward N. Zalta (ed.), <<http://plato.stanford.edu/archives/sum2013/entries/schlick/>>.

mathematical sciences attracted Schlick's admiration and respect, much as it had drawn the interests of Helmholtz and Planck. And all three embraced the goal of developing a philosophical understanding of recent developments in physical science in the spirit, if not the letter, of Kant's thought. For the most part, their departures from Kant's original doctrines may be viewed as innovations or improvements of Kant's insights, introduced without abandoning their own most fundamental philosophical commitments.

Et même si Oberdan prête à Schlick un but peut être un peu trop kantien et conservateur, il ne fait aucun doute que le philosophe était profondément imprégné des idées du solitaire de Königsberg, et qu'il concevait la philosophie, non pas comme une discipline autonome, mais subordonnée aux sciences formelles et de la nature :

[...] la philosophie n'est pas une science autonome qui aurait sa place à côté des autres disciplines ou à laquelle celles-ci devraient être subordonnées, mais l'élément philosophique réside au contraire dans toutes les sciences et en est l'âme véritable, cela seul qui en fait de manière générale des sciences. Toute connaissance particulière présuppose les principes les plus généraux auxquels elle finit par aboutir et sans lesquels il n'y aurait pas de connaissance. La philosophie n'est rien d'autre que le système de ces principes, lequel traverse en se ramifiant l'ensemble du système des connaissances et est ainsi ce qui le soutient.⁹

Il ne cache d'ailleurs pas le fait que pour lui, un bon physicien se doit aussi d'être un bon philosophe, puisqu'il ajoute : « Le vrai grand scientifique est toujours aussi un philosophe ».¹⁰

C'est à travers un article de 1915 « The Philosophical Significance of the Principle of Relativity »¹¹ qu'il a l'occasion pour la première fois d'allier ses compétences en physique, à ses dispositions pour la philosophie.

9 Moritz Schlick, *Théorie Générale de la Connaissance*, Gallimard, 2009, pp. 29-30. Par la suite abrégé en *TGC*.

10 *Ibid*, p. 31.

11 Moritz Schlick, « The Philosophical Significance of the Principle of Relativity », in *Philosophical Papers*, Vol. I [1909-1922], D. Reidel Publishing Company, 1979, pp. 153-189. Par la suite abrégé en « PSR ». L'article est paru pour la première fois en 1915, en allemand, sous le titre « Die philosophische Bedeutung des Relativitätsprinzips » dans la revue *Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik*, 159, 1915, 129-175.

II. A) SCHLICK : LES ARTICLES SUR LA RELATIVITÉ ET LES ORIGINES DE L'ÉPISTÉMOLOGIE COORDINATIVE.

Dès cet écrit transparait une des méthodes les plus caractéristiques de la philosophie de Schlick. Il tente de distinguer ce qui fait partie du « cadre représentationnel » d'une théorie, de ce qui constitue son contenu empirique. En réalité, tout l'aspect conventionnaliste de sa philosophie ultérieure dérive de cette distinction. Même si la fonction opératoire de cette distinction ne prend pleinement son sens que dans l'interprétation de la théorie de la relativité Générale, elle est en réalité aussi utilisée dans le cadre de la relativité Restreinte. Schlick s'en sert par exemple pour décrire la relation entre l'électrodynamique lorentzienne et la forme einsteinienne de la même théorie :

The mathematical form of the laws governing the course of natural processes is exactly the same for both theories ; only its *interpretation* is different. ¹²

Selon cette conception, non seulement il est toujours possible de séparer au sein d'une théorie, son cadre mathématique – *i.e.* l'ensemble des lois de la théorie compris comme un calcul non-interprété – de son interprétation empirique ; mais de plus, certains éléments de cette partie formelle relèvent de la pure et simple convention. Ce caractère conventionnel de certains principes n'altère en rien la valeur de vérité de la théorie, et ce grâce au jeu des « principes de coordination » :

For the totality of our scientific propositions, in word and formula, is in fact nothing else but a system of signs *coordinated* to the facts of reality ; and this is equally certain, whether we declare the real to be a transcendent thing, or merely the essence and interconnection of the immediately 'given'. The system of signs is caled 'true', however, if the coordination is completely *univocal*. Certain features of this sign-system are left to our choice ; we can select them in this way or that without damage to the univocal character of the coordination. ¹³

¹² *Ibid*, p. 161.

¹³ *Ibid*, p. 167.

Cette manière d'envisager les théories physiques repose sur une théorie épistémologique héritée de la pensée axiomatique de la fin du XIX^{ème} siècle, dans laquelle le concept de coordination (*Zuordnung* en allemand) joue un rôle central. Dans un article, Thomas Ryckman souligne les origines mathématiques de ce concept :

As befits this orientation to the exact sciences, the pedigree of the concept of *Zuordnung* itself lies in the nineteenth century program that sought to place analysis on a rigorous basis, in particular, in the formulation of the modern concept of a function as a mapping or mere coordination between two (real) variables. The concept can perhaps be traced to Dirichlet's (1837) attempt to specify what was meant by an "arbitrary function" representable through trigonometric series, giving a definition which, as Weyl recognized, was to become "canonical" in analysis. A special case of *Zuordnung* is *ein-eindeutig*, a one-to-one coordination or correspondence, on which, for example, Dedekind and Cantor based their respective definitions of number.¹⁴

Le champ initial d'utilisation du concept de coordination (ou de correspondance) est donc celui des mathématiques, et plus précisément de la mise en correspondance des éléments de deux ensembles, soit à travers une application (injective ou surjective), soit à travers une bijection (correspondance bi-univoque). Ce schéma permet une compréhension nouvelle de la nature des concepts mathématiques en premier lieu, et des concepts des autres champs de la connaissance ensuite. Ce mouvement d'assimilation d'un concept à une fonction se retrouve par exemple dans l'article de Frege « Fonction et concept »¹⁵. Une telle assimilation n'est bien sûr possible que grâce à un abandon progressif de la conception intentionnelle du concept¹⁶ comme idée permettant une représentation intuitive des objets qu'elle qualifie ; la conception extensionnelle (accompagnée du principe d'extensionnalité) permet l'éviction de la représentation intuitive hors du champ

14 Ryckman, Thomas A., « *Conditio sine qua non? Zuordnung in the early epistemologies of Cassirer and Schlick* », *Synthese*, vol. 88, no. 1, 1991, pp. 57–95. Citation pp. 58-59.

15 Gottlob Frege, « Fonction et Concept », in. *Écrits logiques et philosophiques*, Seuil, 1971, pp. 80-101.

16 Selon une telle conception, la définition d'un concept doit exprimer la nature des objets qu'il subsume. Selon la conception opposée, extensionnelle, donner les conditions pour subsumer un objet sous le concept est suffisant.

II. A) SCHLICK : LES ARTICLES SUR LA RELATIVITÉ ET LES ORIGINES DE L'ÉPISTÉMOLOGIE COORDINATIVE.

conceptuel. Ainsi que l'affirme Ryckman, il s'agit en effet d'une des sources fondamentales du mouvement empiriste-logique encore à naître :

[...] it appeared, advances were possible because concepts were successively purged of intuitive or "visualizable" evidential content, and a new, completely abstract, relation, one of *Zuordnung* or mere coordination, was posited as obtaining between a concept and its object. Their respective refashionings of the epistemology of science around this relation is my primary concern here; it remains to be shown, in a further paper, that their discussions lie prominently in the background of several notable doctrines of early logical empiricism.¹⁷

Ce remplacement (du concept-comme-idée par le concept-comme-fonction) peut prendre un ton singulièrement anti-kantien si l'on tient compte de ses motifs, que Ryckman résume sous l'appellation de « crise de l'intuition », et qui posent de sérieux problèmes à la doctrine kantienne de l'intuition :

More generally, the so-called "crisis of intuition" resulting from the development of projective and non-Euclidean geometries, from the discovery of continuous yet nowhere differentiable functions, from Cantor's demonstration of an infinite set in one-to-one correspondence with a proper subset, and so on, entailed the need for fundamental revision, if indeed not complete overthrow, of prevailing doctrines of mathematical cognition, and, in particular, Kant's doctrine of construction in pure intuition.¹⁸

De cette remise en cause de la doctrine maîtresse de la philosophie kantienne est issue la plupart des avancées philosophiques de la fin du XIX^{ème} et du début du XX^{ème} siècle. Ryckman consacre ainsi une grande partie de son article à la notion de coordination chez le néo-kantien Cassirer, qui y voit, ainsi que Schlick, un moyen de contourner la doctrine kantienne de l'intuition.

¹⁷ Thomas Ryckman, *op. cit.* p. 58.

¹⁸ *Ibid*, p. 59.

Mais là où les néo-kantiens tentent d'adapter le concept d'intuition aux nouvelles découvertes « paradoxales » des mathématiques et de la physique relativiste, Schlick affirme radicalement que les progrès des sciences ont mis un terme à son utilisation. Il soutient de plus que la plupart des actes cognitifs (dont le plus simple, celui de désignation, mais aussi d'autres beaucoup plus complexes comme l'énoncé d'une loi physique) se réduisent à une forme de coordination. Il en résulte que les actes cognitifs peuvent, dans une grande majorité de cas, être interprétés comme des actes purement conventionnels, ou *a minima*, reposant sur une pure convention :

For Schlick, on the contrary, acts of *Zuordnung* (of which that of designation is paramount) unavoidably presupposed arbitrary or conventional elements ; nonetheless, he employed this relation even more broadly and radically than Cassirer, eliminating altogether the role of intuition in the epistemological characterization of the nature of knowledge. Thus, Schlick maintained that knowledge involves only the coordination (*Zuordnung*) of concepts (which have found previous application) to objects and, that truth is nothing more than the "univocity" (*Eindeutigkeit*) of this coordination.¹⁹

Les conventions impliquées dans ce processus peuvent aller de la simple convention qui lie un objet ou une personne à son nom, au beaucoup plus complexe réseau de conventions qui permet la mesure et l'assignation de valeurs numériques aux variables ou constantes représentant des concepts métriques. Le choix d'une géométrie comme cadre des théories physiques, constitue, en tant que convention, un exemple de coordination, selon Schlick.

On comprend pourquoi, dès lors, c'est dans l'interprétation de la théorie de la relativité que ce concept de coordination prend tout son sens pour Schlick.

Cette compréhension de la théorie de la relativité, en partie partagée par Einstein²⁰, est en

¹⁹ *Ibid*, p. 61.

²⁰ Voir le début de son article « Géométrie et expérience ».

II. A) SCHLICK : LES ARTICLES SUR LA RELATIVITÉ ET LES ORIGINES DE L'ÉPISTÉMOLOGIE COORDINATIVE.

réalité le prolongement de la conception des théories comme calculs formels, développée par les savants allemands de la fin du XIX^{ème} siècle, où la représentation intuitive est évincée au profit de la définition rigoureuse par un ensemble d'axiomes, et où la preuve de la structure déductive de l'édifice théorique doit être explicitement donnée (l'intuition ne pouvant évidemment plus guider le savant dans ses démonstrations) :

These currents in the efflorescence of a phenomenological physics are naturally counterpart to the diminished significance accorded to mechanistic models and analogies in the fin-de-siècle period, and more specifically, to the methodological criterion of *Anschaulichkeit*, or "visualizability" of theories. In its place, an abstract "symbolic", purely deductive, conception of theory came increasingly into prominence, derived, as is known, from Maxwell and Kirchhoff. As adapted or reconstituted by Hertz, Duhem and others, the mathematical and physical concepts of a theory did not (or rather, could not) depict or serve to intuitively represent the objects and relations of the external world as these are encountered or "detected" in the manifold of our sense experience; no natural relation obtains here, instead they stand in relation to these latter conventionally, merely as that of sign to designatum.²¹

Cela a pour conséquence une conception holiste des théories scientifiques, où ce n'est plus la vraisemblance d'une loi qui permet de juger de la cohérence de l'ensemble théorique, mais où, au contraire, ce sont les propriétés formelles de l'ensemble (simplicité, cohérence, univocité) qui permettent de juger de la pertinence d'une loi particulière :

On the basis of *Zuordnung*, the traditional mode of connection between concept and sensuously-presented content of both Kantian and empiricist epistemology was progressively abandoned ; in its place arose a new justificatory account of knowledge stressing the consistency of the conceptual system as a whole and, in the case of empirical theories, the indirect character of the confrontation of theory with experience. As a further consequence, once the relation of theory to sense experience was solely one of abstract correspondence or

21 Thomas Ryckman, *op. cit.* pp. 59-60.

Zuordnung, methodological constraints or principles of theory choice gained new prominence, e.g., *Eindeutigkeit*, i.e., the "univocality" of the assignment of (the system of) symbols to (the system of) sense experience, "simplicity", "unity", and fewest "arbitrary elements".²²

Il en résulte que l'analyse d'un principe fondamental de la science ne peut plus s'appuyer, comme chez Kant, sur sa compatibilité ou son incompatibilité supposée avec les lois de l'intuition. De plus, et cela conformément à la règle de l'empirisme du XX^{ème} siècle (que nous avons énoncée dans la première partie), chaque principe, même fondamental, doit pouvoir être rejeté si l'expérience l'impose. C'est pourquoi chez Schlick, l'énoncé du principe de relativité restreinte : « All rectilinear and uniform motions referred to in natural laws are *relative* »²³ est immédiatement reformulé pour correspondre à l'impératif empirique d'élimination sur la base de l'expérience : « In other words, it is not possible by any empirical procedure to establish an *absolute* rectilinear and uniform motion in nature »²⁴. Le principe, ainsi reformulé par Schlick, n'énonce pas une loi de la raison ou de l'intuition, mais simplement une limitation contingente de la mesure. Aucun principe, affirme Schlick ne possède un statut qui lui permettrait d'échapper à une révision sur la base de l'expérience : « No law of nature, even so fundamental a law as the energy principle, is essentially immune from being one day upset by later experiences ».²⁵

Il faut, arrivés à ce point, éviter un écueil dans l'interprétation de la pensée de Schlick. Le philosophe ne dit pas que l'intuition ne joue aucun rôle dans la compréhension des théories physiques. Il affirme simplement qu'un principe physique qui entrerait en contradiction avec les habitudes de l'intuition ne doit pas être rejeté. L'intuition n'est pas un critère de validité ou de vérité, bien qu'elle serve indéniablement à la formulation et à la compréhension des théories.

Ainsi se pose-t-il la question suivante : « In the form we have given to the principle, it stated

22 *Ibid* p. 60.

23 M. Schlick, « PSPR », p. 156

24 *Ibid*.

25 *Ibid*, p. 159.

II. A) SCHLICK : LES ARTICLES SUR LA RELATIVITÉ ET LES ORIGINES DE L'ÉPISTÉMOLOGIE COORDINATIVE.

that an absolute motion *cannot be demonstrated*. [...] But what if we assert it in the form : there is no absolute motion ? »²⁶. Pour répondre à cette question il faut distinguer, nous dit Schlick, entre le principe de relativité en tant que loi dont la validité est établie empiriquement²⁷, et le principe comme prémisse au sein d'un système formel.

Dans le deuxième cas, ajoute Schlick, les tentatives pour montrer que le principe engendrerait une contradiction sont toutes vouées à l'échec, car elles supposent toutes, au cours de leur raisonnement, un concept de temps absolu. Mais si voir le principe comme un axiome au sein d'un système formel permet certes d'écarter l'idée qu'il engendre une contradiction interne, cela ne suffit pas, affirme le philosophe, à établir sa validité objective : « For what we want to know is not only whether it is free from internal contradiction, but above all whether it is objectively valid »²⁸.

Encore prudent dans son article de 1915, Schlick n'ose pas s'opposer directement à la doctrine kantienne : « Though not itself contradictory, it might yet – in Kant's terms – be in conflict with our *a priori* intuition, and would then have no validity for the objective world, because the latter is subject to the laws of our intuition »²⁹. Et plutôt que d'affirmer, comme il le fera à volonté dans son livre de 1918 (*Théorie générale de la Connaissance*), que le monde objectif n'est pas déterminé par les lois de l'intuition, il précise simplement que la compréhension intuitive du temps³⁰ n'est pas incompatible avec la théorie de la relativité car cette dernière ne dit rien du temps intuitif, mais traite seulement du temps mesurable :

« I believe that the theory is perfectly compatible with our immediate awareness of time, for the simple reason that the latter tells us nothing whatever about those properties of time that are dealt with in relativity theory.

The time of our intuition is psychological time – a qualitative, unmeasurable thing – whereas Einstein's theory

26 *Ibid*, p. 159.

27 La validité est établie, non pas de manière directe, mais, soit par des extrapolations, soit de manière indirecte par ses conséquences empiriques observables.

28 *Ibid*, p. 162.

29 *Ibid*.

30 Compréhension qui est newtonienne : « Kant's *a priori* form of intuition – this cannot be sufficiently stressed – is *Newtonian* time », « PSPR », p. 175.

deals with the *measurement* of time ».³¹

Pour en revenir au cas de l'alternative entre la théorie lorentzienne de l'électrodynamique des corps en mouvement, et celle d'Einstein, ni l'intuition (les deux théories sont compatibles avec le schéma kantien) ni l'expérimentation ne peuvent nous permettre de décider laquelle choisir : « In general, both theories present all observable natural processes in terms of the same equations, and only the interpretation, the line of thought leading to the equations, is different in each case »³². Ainsi, commente Schlick, l'alternative est indécidable sur des bases physiques, et il faut chercher à fonder le choix sur des bases « épistémologiques ».

L'exemple paradigmatique d'un tel choix est l'alternative qui s'est posée entre le système ptoléméen et le système copernicien :

A case often referred to, and particularly relevant to discussions of relativity, is the contrast between the Copernician and Ptolemaic systems of the world. Strictly speaking, no experience can *prove* the Copernician system to be the only true one ; all that experience actually proves is that this system alone permits us to assume the laws of mechanics, such as the law of inertia, to be universally valid in a perfectly simple form. [...] But of course no experience can *compel* us to relate all motions to just one particular system of coordinates.³³

D'après la définition de la vérité défendue par Schlick (univocité de la coordination), les deux théories sont vraies : « The views of Einstein and Lorentz can *both* be reckoned *true*, insofar as both permit a univocal designation of all the empirical facts ». Seule la simplicité nous permet

31 « PSPR », p. 162. Le temps ressenti n'est pas vraiment, ainsi que l'affirme Schlick, hors de portée de toute mesure empirique ; mais cette mesure n'utilise pas des échelles de grandeurs absolues comme la physique, et ne peut donc pas être directement comparée à la mesure du temps physique. Voir à ce sujet l'article de S. S. Stevens « nnn ». Voir aussi le débat entre Bergson et Einstein, rapporté dans Bergson, *Durée et simultanéité*, etc ...

32 *Ibid*, p. 164.

33 « PSPR », p. 168. Dans un passage Schlick affirme en effet que la mesure de l'accélération centripète de la planète Terre (si cette dernière tourne bien autour du Soleil) est si petite qu'elle est hors de la portée de tous les moyens de mesure mécaniques connus à son époque. Cette accélération centripète est en effet de l'ordre de $6,0 \cdot 10^{-10} \text{ m.s}^{-2}$.

II. A) SCHLICK : LES ARTICLES SUR LA RELATIVITÉ ET LES ORIGINES DE L'ÉPISTÉMOLOGIE COORDINATIVE.

selon l'auteur de décider laquelle des deux théories préférer.³⁴ La simplicité est ici à comprendre au sens de plus petit nombre d'éléments (hypothèses) arbitraires.

Il n'est donc pas question de décider l'alternative sur une base réaliste, ce qui n'empêche pas Schlick de poser la question : « Does one of [the theories] come 'nearer to reality' ?³⁵. Sa réponse permet d'ailleurs de disqualifier en partie les interprétations « réalistes » de la philosophie de Schlick, car celui-ci relativise considérablement cette notion (du moins dans cet article de 1915) :

We can simply assert that among the possible assumptions the simplest should be designated as the one 'corresponding to reality'. 'Reality' is then just a word for that unknown reason which 'brings it about' that certain theories yield the simplest type of natural regularity.³⁶

Il y a là un véritable impensé de la part de Schlick, car il n'est pas du tout évident que cette simplicité provienne de facteurs « extérieurs » et non de la structure formelle de la théorie. Nous verrons que chez Reichenbach la définition de la réalité reprend la même trame, certes de manière un peu plus précise, mais non moins problématique.

Pour conclure, l'épistémologie de type coordinationniste développée par Schlick, qui le conduit à des positions holistes et instrumentalistes (selon un mode qui rappelle l'épistémologie duhemienne), a pour origine essentielle la révolution relativiste. Ce n'est pas tellement une ambition philosophique empiriste qui guide ici le philosophe, mais plutôt une tentative de montrer que l'épistémologie adaptée à la compréhension du principe de relativité doit nécessairement rompre

34 Et dans le cas de la révolution copernicienne, comme dans le cas de la révolution einsteinnienne, c'est la théorie nouvelle qui est considérée comme la plus simple. Des études montrent que cela est contestable dans le cas de la théorie copernicienne. Cependant, seule la théorie de Copernic est compatible avec le principe d'inertie, exprimé dans sa forme la plus simple. La simplicité ne doit pas concerner les principes particuliers de la théorie en question, mais tous les principes physiques disponibles à une époque donnée de la science.

35 « PSPR », p. 170. Il pourrait sembler que nous soyons confrontés ici à une définition « anti-réaliste » de la réalité. Nous préférons parler de définition instrumentaliste : une théorie n'est pas vraie parce qu'elle correspond au réel, mais la « réalité » est ce qui *impose* le fait que certaines théories sont plus simples que d'autres.

36 *Ibid*, p. 171.

avec la doctrine kantienne. La manière dont se développe cette épistémologie nouvelle, certes motivée par la révolution relativiste, n'en a pas moins été grandement préparée par le développement des méthodes axiomatiques en mathématique et leur application dans le champ des théories physiques.

La méthode particulière d'analyse, qui sera reprise et systématisée par exemple par Reichenbach, consiste à énoncer le plus clairement possible le principe fondamental d'une théorie physique, et ensuite à montrer qu'il entre en contradiction avec les principes philosophiques communément acceptés (en l'occurrence, ceux de la philosophie d'inspiration kantienne). Face à cette alternative il n'existe plus que deux solutions, prescrites par le principe de non-contradiction : accepter le principe physique et rejeter la philosophie ou bien conserver la philosophie et modifier le principe physique.

Le problème devient ardu lorsque l'expérience seule n'est pas suffisante pour trancher la question, et étant donné le caractère intrinsèquement imprécis de la mesure, la situation se répète dans le cours du développement scientifique. Il faut alors avoir recours, pour sortir de l'alternative, à des raisonnements « épistémologiques » : selon Schlick le degré de simplicité des conceptions qui se confrontent permet un choix univoque. C'est la théorie la plus simple qui doit être choisie : la théorie la plus simple est celle qui postule le plus petit nombre d'éléments arbitraires.

Un développement poussé de l'épistémologie coordinative, qui n'est qu'esquissée dans les articles sur la relativité, est proposé dans la *Théorie Générale de la Connaissance*.

2 - La Théorie Générale de la Connaissance de Schlick

L'esprit anti-kantien

Cet ouvrage, qui appartient, selon le terme de la plupart des commentateurs, à la « période pré-positiviste » de Schlick³⁷, possède en effet une des caractéristiques principales du mouvement positiviste : critiquer les systèmes philosophiques traditionnels et contemporains, surtout s'ils sont idéalistes ou vitalistes. Ainsi non seulement Descartes est disqualifié, Kant passé au crible, mais Bergson n'est pas non plus épargné.

« Il n'y a pas de jugements synthétiques *a priori* ». ³⁸ Voilà qui résume parfaitement le propos du livre du philosophe viennois. À bien des égards en effet, plus qu'une théorie positive de la connaissance, le livre se présente comme un manuel anti-kantien, qu'il est utile de lire avec la *Critique de la Raison Pure* en regard. Le nom qui comporte le plus de renvois dans l'*index nominum* est d'ailleurs celui de Kant, avec une cinquantaine de références, contre seulement une vingtaine pour Ernst Mach, une dizaine pour Bertrand Russell ou Avenarius, et seulement trois pour Einstein.

S'agit-il pour Schlick avant tout de faire impression dans un contexte philosophique largement dominé par le néo-kantisme ? Ou bien peut-on y voir l'acte de naissance d'une véritable philosophie empiriste ? Si ce slogan, « il n'y pas de jugements synthétiques *a priori* » peut en effet ressembler à une simple critique, il constitue pourtant la prémisse majeure du mouvement empiriste-logique à venir.

Car si l'existence de ce type de proposition est explicitement rejetée, c'est que les autres types de propositions sont (implicitement) conservés, à savoir les propositions analytiques *a priori*

37 Voir par exemple Thomas Oberdan. Mais ce terme de « pré-positiviste » est surtout employé pour parler de la période pendant laquelle Schlick était déjà actif philosophiquement, et où le Cercle de Vienne n'existait pas encore.

38 M. Schlick, *TCG*, p. 511.

ainsi que les propositions synthétiques *a posteriori*. Sur ces deux types de proposition seulement, Schlick entend construire l'édifice de la connaissance, préfigurant ainsi l'empirisme-logique. Il ne s'agit plus en effet, comme dans l'empirisme classique, d'expliquer même la vérité des propositions mathématiques par l'expérience³⁹, celles-ci sont considérées, après Frege et Russell, comme vraies *a priori*.

Reste, bien entendu, la délicate question des principes physiques. S'ils ne sont pas, comme Kant le défendait, des jugements synthétiques *a priori*, alors doit-on les classer parmi les propositions analytiques *a priori*, ou bien parmi les propositions synthétiques *a posteriori* ?

Et quel statut accorder alors aux conventions, dont nous avons déjà vu qu'elles jouaient un rôle primordial dans l'épistémologie de Moritz Schlick ?

La connaissance comme coordination

Schlick réduit toute la connaissance, toutes les formes de connaissance, à une relation de coordination : la coordination entre un concept et un objet du monde réel : « Le système des sciences portant sur la réalité constitue un réseau de jugements, dont chacune des mailles est coordonnée à un fait individuel. Les moyens par lesquels s'effectue la coordination sont la définition et la connaissance. »⁴⁰

Pour Schlick les « concepts » ne sont pas des « représentations », ils ne reposent pas sur une quelconque forme d'intuition (Schlick est anti-kantien), mais sont entièrement déterminés par une définition, qui doit prendre, dans l'idéal de Schlick, la forme d'une définition implicite. Ainsi que l'explique très bien Ryckman :

39 Voir par exemple la *Logique* de John Stuart Mill.

40 *TGC*, p. 122.

II. A) SCHLICK : LES ARTICLES SUR LA RELATIVITÉ ET LES ORIGINES DE L'ÉPISTÉMOLOGIE COORDINATIVE.

For Schlick (pace Helmholtz), concepts are signs (*Zeichen*) and not representations (*Vorstellungen*). Unlike representations, which are irremediably vague, concepts can be assigned (through implicit definition, which is coordination with other concepts) a fixed and precise meaning, a primary requirement for scientific knowledge. Concepts, in turn, designate or are coordinated with objects or properties, where these terms are taken in their widest sense.⁴¹

Ryckman s'interroge d'ailleurs sur l'ambition positive ou négative de cette théorie de la connaissance. Sert-elle à donner de la connaissance un schéma exhaustif et précis, ou bien ne sert-elle qu'à éliminer les positions kantienne en épistémologie ?

It is not too much to say that *Zuordnung* is the pivotal concept of the *Allgemeine Erkenntnislehre*, for the central thesis of this work propounds that the "merely designating (semiotic) character of thinking and knowledge", a concept that, despite its humble appearance, nonetheless, in Schlick's opinion, thoroughly "disposes of" the Kantian or Neo-Kantian (*kritizistische*) concept of knowledge and, indeed, "settles the whole question against the Kantian philosophy" (Schlick 1918, p. 306; 1985, p. 360).⁴²

Nous suivons ici la lecture de Ryckman. Il est évident que la théorie proposée par Schlick ne peut pas permettre d'analyser finement toutes les caractéristiques de la connaissance. Peut-être fonctionne-t-elle efficacement dans le cas de la physique mathématique, mais elle perd en pertinence lorsque l'on s'occupe de biologie ou de sociologie. Dans ces disciplines, en effet, le degré de généralité des « lois » ne permet pas de parvenir à une définition implicite des concepts.

Mais qu'est-ce que la définition implicite pour Schlick ?

41 T. Ryckman, *op. cit.* p. 77.

42 *Ibid*, p. 76.

La définition concrète et la définition implicite

La notion de définition implicite, que nous avons déjà analysée chez Hilbert, devient utile dès lors que des formalismes différents existent pour représenter la même théorie. Avec l'apparition d'un tel pluralisme mathématique, en effet, la séparation entre le cadre mathématique et le contenu empirique devient plus évidente, ainsi que l'explique Schlick :

On voit aisément que l'introduction de symboles susceptibles d'être interprétés de diverse manières marque le début d'une séparation du contenu et de la pure forme logique qui, poursuivie de manière conséquente, conduit finalement à la détermination des concepts au moyen de définitions implicites.⁴³

Mais les concepts de grandeurs ne sont pas que des concepts mathématiques. Une définition implicite est-elle donc suffisante ? Schlick écrit en effet que « il est bien connu que les phénomènes de nature différente obéissent cependant aux mêmes lois formelles ; une seule et même équation décrit un phénomène naturel ou un autre, selon que l'on donne une signification physique ou une autre aux grandeurs qui y apparaissent »⁴⁴. Schlick pense probablement à des lois comme celle définissant la force de gravitation et la loi de Coulomb, qui possèdent en effet la même forme mathématique :

$$F = A (ab / r^2)$$

Où A est une constante, a et b des paramètres de même nature (des masses ou des charges) et r une distance.

Mais comment « donner une signification physique » aux grandeurs apparaissant dans ces

⁴³ TGC, p. 82.

⁴⁴ *Ibid*, p. 82

équations ? Est-il suffisant, pour donner un sens physique à une variable, de définir implicitement la grandeur qu'elle représente ?

Ryckman de son côté rappelle que le but de Schlick n'est pas tellement de donner une vision claire de la définition des concepts de la science, mais plutôt d'éliminer toutes les possibilités de faire reposer les fondements de la science sur quelque chose comme l'intuition. Cette doctrine éliminativiste, qui fonctionne à la rigueur dans le cas des mathématiques, est généralisée par Schlick, sans élaboration particulière, à toutes les branches de la science :

It is through an examination of the interrelations among concepts that Schlick aims to demonstrate that the intuitive contents of concepts, whatever they may be, are not the province of epistemology. Mathematicians (Hilbert, in particular) have here indicated "a path that is of the highest significance for epistemology", in showing that concepts, in the purely deductive sciences may be defined merely by the fact that they satisfy certain axioms, and thus that whatever intuitive significance (*anschauliche Bedeutung*) attaches to the basic concepts is, at any rate, "completely unimportant" for the deduction of mathematical truths (Schlick 1918, p. 32; 1985, p. 34). Observing that many concepts in theoretical physics are similarly definable, Schlick makes what is widely viewed as the most significant claim of the *Allgemeine Erkenntnislehre* when suggesting that the significance of the method of implicit definitions "is by no means restricted to mathematics but is in principle just as valid for all scientific concepts as for mathematical ones".⁴⁵

En réalité, pour Schlick, la science peut faire usage de deux types de définitions, les définitions implicites, que nous avons déjà mentionnées, mais aussi les « définitions concrètes ». Ces dernières sont spécifiques (à l'inverse des premières qui sont plus générales) car elles relient directement un concept à des objets concrets du monde physique, à la manière d'une désignation stipulative à l'aide d'un nom propre.

Un autre parallèle peut être établi. La définition implicite serait à la définition en intension,

45 T. Ryckman, *op. cit.* pp. 78-79.

ce que la définition concrète serait à la définition en extension : une définition concrète se contente de nommer ou d'énumérer les objets tombant sous un concept, alors que la définition implicite donne les lois selon lesquelles doit s'utiliser un concept.

Or, selon le philosophe viennois, une théorie peut se passer de toutes les définitions concrètes, et les remplacer par des définitions implicites :

Mais, chose remarquable, en choisissant de manière appropriée les objets distingués par les définitions concrètes, il est possible de trouver des définitions implicites telles que les concepts qu'elles définissent puissent être utilisés pour désigner de manière univoque ces mêmes objets réels.⁴⁶

La définition implicite étant une manière de définir, pour ainsi dire, fonctionnelle, il est possible qu'elle soit plurivoque : elle caractérise une catégorie d'objets, identiques du point de vue fonctionnel de la théorie, mais très différents du point de vue empirique (comme la masse et la charge électrique dans l'exemple précédent). Il faut donc trouver un moyen pour garantir la définition implicite du risque de la plurivocité : il faut *choisir*, écrit Schlick, la catégorie fonctionnelle qui permet l'univocité de la définition implicite.

Or, admet Schlick, cela est un idéal de la connaissance :

Présupposer que le monde est compréhensible revient à l'évidence à supposer qu'il existe un système de définitions implicites qui correspond exactement au système des jugements d'expérience, et tout irait pour le mieux pour notre connaissance de la réalité, si nous savions avec une certitude absolue qu'il existe toujours des concepts, obtenus au moyens de définitions implicites, qui garantissent une désignation strictement univoque du monde des faits.⁴⁷

Précisons que le chapitre dont sont tirés ces citations provient du léger remaniement effectué

⁴⁶ TGC, p. 123.

⁴⁷ *Ibid*, p. 124.

II. A) SCHLICK : LES ARTICLES SUR LA RELATIVITÉ ET LES ORIGINES DE L'ÉPISTÉMOLOGIE COORDINATIVE.

par Schlick lors de la deuxième édition de son livre, en 1925. Il semblerait qu'il ait tenu compte d'un aspect de la critique que lui adresse Reichenbach en 1920, et que nous analyserons dans la section suivante. L'univocité de la définition n'est en effet possible qu'approximativement :

Mais nous avons déjà dû adopter précédemment une position sceptique sur ce point et nous ne parviendrons pas à la dépasser dans la suite de notre recherche. L'affirmation, selon laquelle un certain système de concepts fournit une connaissance parfaite comme celle qui vient d'être décrite et selon laquelle il existe en général un tel système, ne peut donc pas être elle-même l'objet d'une preuve qui en ferait un jugement vrai. Mais elle constitue une *hypothèse*, et c'est précisément pour cette raison que tout jugement sur des faits réels, qui n'est ni une définition ni une pure description, a le caractère d'une hypothèse.⁴⁸

Mais, l'univocité des définitions implicites ne peut être assurée, affirme Schlick que grâce à un choix approprié, c'est-à-dire à une convention.

Les conventions

Ainsi le passage d'un ensemble (potentiellement infini) de définitions concrètes peut se transformer en un réseau (fini) de définitions implicites, pourvu que les conventions adéquates soient formulées et acceptées :

Définir un concept de manière implicite signifie en effet le définir par ses relations avec d'autres concepts. Mais appliquer un tel concept à la réalité signifie choisir, parmi le nombre infini de relations du monde, un certain groupe ou ensemble et en faire une unité en le désignant au moyen d'un nom. En faisant ce

⁴⁸ *Ibid.* Il s'agit en l'occurrence d'une réponse quasi directe à la critique de Reichenbach selon laquelle l'exigence d'univocité de la coordination est chez Schlick une proposition synthétique *a priori*. Schlick répond ici que cette exigence peut être considérée, en tant que simple hypothèse, comme une proposition analytique *a priori*.

choix de manière appropriée, il est toujours possible, à certaines conditions, de parvenir à une désignation univoque du réel par ce concept. Nous appelons *convention* [...] une définition de concept et une coordination effectuées de cette manière.⁴⁹

Sans surprise, c'est l'unité de temps qui est prise comme exemple de convention métrique : « Les cas typiques les plus connus de conventions sont en effet les jugements qui expriment une égalité de durées ou de distances : on peut dans une large mesure définir comme on veut l'égalité de durées et de distances et on est cependant sûr de toujours trouver dans la nature des espaces et des temps égaux eu égard à ces définitions. »⁵⁰ Mais ces conventions doivent être choisies, non seulement de manière à garantir l'univocité de la définition, mais aussi de manière à produire le système théorique le plus simple possible. À côté de l'exigence d'univocité il y a donc pour Schlick l'exigence de simplicité. Mais cette dernière exigence n'est pas simplement pragmatique, elle impose en effet une forme particulière aux principes et aux lois de la théorie :

C'est la plus grande simplicité possible des lois de la nature qui détermine le choix *final* de la définition du temps et c'est seulement en cela que la définition de l'unité de temps s'est vu attribuer le caractère d'une convention au sens où nous l'entendons, car elle n'est plus liée ici à quelque événement concret particulier que ce soit, mais est déterminée par la prescription générale que les équations fondamentales de la physique aient la forme la plus simple. *Et dans le pur système abstrait de la science de la nature, ces équations fondamentales peuvent être considérées comme les définitions implicites des concepts physiques fondamentaux.*⁵¹

Il est ici étrange que Schlick mentionne un « pur système abstrait de la nature ». De quoi peut-il bien s'agir ? Il ne peut s'agir que de l'ensemble des équations des théories physiques prises ensemble. Mais pour Schlick les équations de la physique, considérées comme de simple relations

49 *Ibid*, p. 124-125.

50 *Ibid*, P. 125.

51 *Ibid*, p. 126. Nous soulignons.

II. A) SCHLICK : LES ARTICLES SUR LA RELATIVITÉ ET LES ORIGINES DE L'ÉPISTÉMOLOGIE COORDINATIVE.

mathématiques sont équivalentes à des propositions analytiques *a priori*. Elles ne possèdent à ce titre aucun contenu physique. À quoi peuvent donc bien servir des concepts métriques qui ne possèdent aucun contenu physique ? Rappelons que la définition implicite définit à travers des relations : on ne sait pas ce qu'est le « contenu » d'un concept, mais on sait quelles sont ses relations avec les autres concepts de la théorie.

Ces « relations conceptuelles », pourvu que les conventions soient bien choisies, possèdent toutes un équivalent empirique univoque :

Après qu'un certain nombre de concepts ont été fixés par convention, les relations entre les objets qu'ils définissent ne sont plus conventionnelles, mais on les tire de l'expérience, car elle seule peut pourvoir au maintien de l'univocité de la coordination pour l'ensemble du système conceptuel de la science.⁵²

Mais il faut comprendre que ce sont les « conventions » qui assurent le rôle de coordination entre les équations de la théorie et les objets physiques. Schlick d'ailleurs semble penser que les seules conventions à propos des unités sont nécessaires. La théorie physique « pure » pourrait ainsi s'appliquer au réel avec un nombre très restreint de « conventions », autant que d'unités fondamentales nécessaires à la constitution d'un système métrique complet.

Or, nous avons vu avec Chang qu'il est illusoire de vouloir fonder un système physique uniquement avec les conventions portant sur les unités métriques, car la mise en place de ces unités résulte toujours d'un processus lent, complexe, fastidieux, et reposant sur un nombre considérable de conventions et d'hypothèses.

Schlick semble aussi totalement passer sous silence les problèmes de circularité impliqués dans la définition de grandeurs dérivées, comme la température, alors que Mach, par exemple, était parfaitement conscient du problème.⁵³ Schlick semble penser que seules des conventions sur l'unité

⁵² *Ibid*, p. 126.

⁵³ Voir Ernst Mach, *Principles of the Theory of Heat—Historically and Critically Elucidated*. Trad. T. J. McCormack,

des trois grandeurs fondamentales (longueur, temps et masse) sont nécessaires pour définir toutes les autres grandeurs. Et cela est en effet théoriquement réalisable puisque toutes les grandeurs du système classique au moins sont exprimées selon les trois dimensions longueur, temps et masse.

Mais ainsi que le montrent les arguments opérationnalistes de Bridgman, la réalisabilité théorique de ces définitions n'a pas de contre-partie empirique, surtout lorsque les échelles de mesure s'éloignent de celles des conditions idéales du laboratoire. Pour mesurer des distances cosmiques il faut utiliser une échelle de longueur qui est dérivée d'autres échelles, et connectée de manière complexe à l'échelle fondamentale de longueur définie par le mètre étalon. Et encore faut-il dans ce cas admettre par exemple un principe de continuité comme celui d'Archimède, car il n'existe aucun moyen empirique possible de vérifier que les mesures des distances cosmiques réalisées au moyen d'un procédé fondamental convergent avec les mesures de ces mêmes distances réalisées avec un procédé dérivé.⁵⁴ Comment pourrait-on en effet aligner autant de fois que nécessaire le mètre étalon entre la Terre et, par exemple, la Lune ? La distance entre cet astre et son satellite n'est même pas constante, on ne peut en donner qu'une moyenne, ou bien une valeur instantanée, mais accompagnée de la date de la prise de mesure, et de son intervalle d'erreur, etc.

La vision schlickéenne de la définition des concepts métriques n'est pas susceptible de rendre compte de cette richesse expérimentale, qui est pourtant au fondement de la rigueur méthodique en physique.

La vérité comme univocité de la coordination

Malgré cette théorie largement insuffisante de la mesure, Schlick déploie tout de même les

Dordrecht: D. Reidel, 1986.

⁵⁴ Nous utilisons ici le vocabulaire introduit par Campbell. Norman Robert Campbell, *An account of the principles of measurement and calculation*, Longmans, Green and co., 1928.

II. A) SCHLICK : LES ARTICLES SUR LA RELATIVITÉ ET LES ORIGINES DE L'ÉPISTÉMOLOGIE COORDINATIVE.

conséquences de son épistémologie coordinative. La raison pour laquelle la définition implicite s'impose est qu'elle est une forme de définition qui laisse intègre la structure systémique d'une théorie physique, et est la seule à même d'en garantir la vérité de manière holiste :

si un signe particulier était coordonné à chaque fait, à chaque objet de l'univers, nous n'aurions alors que des vérités isolées que nous devrions apprendre une par une (ce qui serait bien sûr en pratique impossible, en raison de leur nombre infini), et il n'y aurait aucun moyen pour nous de les déduire les unes des autres, pas plus que l'on ne peut, en voyant le drapeau allemand et le drapeau anglais, tirer des conclusions touchant le drapeau italien. Nos vérités ne seraient en quelque sorte que des points discrets, elles ne formeraient pas un système d'éléments connectés entre eux. Or la connaissance n'est possible que dans un tel système, car retrouver une chose dans une autre suppose une connexion complète.⁵⁵

Ce holisme est pour Schlick essentiel : il permet à la théorie de reproduire structurellement les faits du monde empirique, et les définitions suffisent à éliminer les cas de surdétermination de la théorie par les faits (comme le dit Duhem), ou les cas de systèmes mathématiques empiriquement équivalents (comme le diront plus tard les empiristes).

Ainsi est-ce la connexion structurelle du système de nos jugements qui a pour effet la coordination univoque et est la condition de leur vérité. Et la place occupée par une proposition dans notre système de jugements nous enseigne à elle seule quel fait elle désigne.⁵⁶

Comme la définition implicite est une forme de coordination, il en résulte une définition originale de la vérité comme univocité de la coordination : « Mais la première condition essentielle [...] est que chaque terme de la structure des jugements soit coordonné de manière univoque à un terme de la structure des faits. Lorsque le système des jugements remplit cette condition, il est dit

⁵⁵ M. Schlick, *TGC*, p. 119.

⁵⁶ *Ibid*, p. 120.

vrai. »

Mais la coordination établie par les définitions implicites et l'ensemble restreint des conventions ne relie pas les concepts aux faits, un par un. Au contraire, l'ensemble des concepts est coordonné à l'ensemble des faits concernés, par un très petit nombre de « ponts » que sont les conventions métriques. Or cette thèse est très importante pour la suite du développement de l'empirisme logique. Reichenbach, en montrant que la coordination peut rarement être univoque, et même, en quelque sorte que son caractère non-univoque est un indice de la capacité de la théorie à progresser, reconduit la théorie coordinative de la connaissance vers une position plus compatible avec une théorie de la mesure plus élaborée et détaillée.

Il n'en reste pas moins, que malgré sa faiblesse au niveau de la théorie de la mesure, la théorie coordinative de Schlick a exercé une grande influence sur ses contemporains, probablement, comme l'explique Ryckman, en raison de son caractère philosophiquement inédit :

Throughout his early work, Schlick maintained a version of epistemological verificationism; then in the *Allgemeine Erkenntnislehre*, emphasis was placed directly on the holistic character of both meaning and verification. It was the conceptual system as a whole that was coordinated with "reality" (whether sensations or objects in an "external" world), whereas truth resided in the contingent univocity (*Eindeutigkeit*) of this coordination. The conventionalism and arbitrariness inherent in acts of *Zuordnung* yields both a semantical holism, which views concepts as deriving their meaning solely from their interconnections to other concepts, and an epistemological holism, holding that it is only the system of concepts as a whole which is coordinated with "reality". As against the coherence theory, the relation of *Zuordnung* supports instead - as Schlick himself suggests - a kind of correspondence theory of truth, though hardly a version to bolster the cause of metaphysical or scientific realists. Schlick's realism is one interlaced with conventional and arbitrary elements; tantalizingly incomplete and fragmentary, it does not readily fit into any antecedently familiar classification, indeed appearing to cut orthogonally across the philosophical spectrum of familiar realist and idealist alternatives.⁵⁷

57 T. Ryckman, *op. cit.* p. 80.

3 – Un empirisme conventionnaliste

Il faut tout de suite remarquer que le conventionnalisme inauguré par Schlick ne ressemble que très partiellement au conventionnalisme de Poincaré. Alors que ce dernier insiste sur le caractère conventionnel des principes de géométrie physique ainsi que de certaines propositions intervenant dans les protocoles métriques, afin de mieux faire ressortir la nature synthétique *a priori* des principes fondamentaux, le philosophe viennois, au contraire adopte un conventionnalisme que l'on pourrait qualifier d'empiriste, à l'opposé de celui de Poincaré qui serait un conventionnalisme néo-kantien. Néo-kantien dans le sens où Poincaré défend explicitement l'existence des propositions synthétiques *a priori* que Schlick rejette radicalement.

Schlick n'a d'ailleurs pas peur des conséquences sceptiques que sa théorie de la connaissance peut entraîner puisqu'il écrit que « l'on constate pour finir que tous les jugements de la science sont soit des définitions, soit des hypothèses. [...] Les véritables jugements de connaissance au sens strict constituent en revanche le principal contenu des sciences portant sur la réalité, mais ils restent en définitive des hypothèses, leur vérité n'est jamais garantie. »⁵⁸ C'est-à-dire, comme il l'affirme partout dans son livre, qu'il n'existe pas de jugements synthétiques *a priori* en plus des jugements analytiques *a priori* et des jugements synthétiques *a posteriori*.

Cet empirisme conventionnaliste doit s'étendre selon Schlick, à la théorie de la connaissance elle-même (à la « méta-science » pour ainsi dire). L'exigence d'univocité de la coordination comme définition de la vérité doit donc aussi être soit une proposition analytique *a priori*, soit une proposition synthétique *a posteriori*. Or ainsi que l'exprime Ryckman, cela n'est pas sans poser un certain nombre de réserves :

58 M. Schlick, *TGC*, p. 127.

It is difficult to see how *Zuordnung*, as the constituting act of thought itself, can be considered an analytic principle or (except on the crudest tabula rasa view of mind) as synthetic *a posteriori*. Perhaps it is *a priori* only in a nativist sense, or perhaps Schlick was satisfied that this stipulation, which frees epistemology from any further concern with psychology, was, nonetheless, a claim to be redeemed within a future cognitive psychology.⁵⁹

Pourtant l'embarras de Ryckman ne rend pas bien compte de la position réelle de Schlick. Son *a priori* ne possède pas du tout un sens nativiste, mais consiste simplement en une convention. Les fondements psychologiques ou historiques de la connaissance sont totalement laissés de côté par le philosophe viennois.

C'est sur ce point que se concentre la critique de Reichenbach que nous allons étudier dans la section suivante.

59 T. Ryckman, *op. cit.* p. 82.

Il y a encore peu de temps, on croyait que le système kantien de concepts et de normes *a priori* pourrait résister éternellement. Cette position fut tenable aussi longtemps que la science de la nature postérieure [à Kant], telle qu'elle était tenue pour démontrée, n'enfreignit pas les normes en question. [en fait, il suffit, pour réfuter le système kantien, d'établir une théorie logiquement *pensable* (en accord avec un matériau expérimental *pensable*) qui soit en désaccord avec les normes kantienne. La question de savoir si les géométries non euclidiennes réalisent cette condition est encore controversée.] Ce qui ne se présenta de manière incontestable qu'avec la théorie de la relativité. À moins de vouloir prétendre que la théorie de la relativité est contradictoire avec la raison, on ne peut pas conserver le système kantien des concepts et normes *a priori*.

Einstein, *Œuvres Choisies*, Vol. 5, ed. J. Merleau-Ponty et Françoise Balibar, Seuil/CNRS, p. 221.

II. B) Reichenbach, La relativité et la connaissance *a priori*

1 - Introduction

Parmi les empiristes-logique à venir, Reichenbach est peut-être le philosophe chez qui les questions de mesure et de définition des concepts métriques jouent le plus d'importance. La caractéristique principale est la place qu'il accorde à l'erreur de mesure (et plus généralement à l'incertitude empirique) dans l'édifice de la théorie physique.

Nous nous proposons d'étudier le premier livre de Reichenbach car il contient une critique intéressante de l'épistémologie coordinationniste de Schlick. Pour ce dernier philosophe le critère de la vérité empirique est l'univocité de la coordination. Mais Reichenbach tente de montrer que ce

critère n'est pas adéquat, ou en tout cas qu'il ne s'applique pas au cas de la connaissance physique.

La critique de Reichenbach est originale et doit retenir notre attention car elle souligne une lacune dans les raisonnements de Schlick. La notion de coordination, provenant de l'analyse mathématique, sert à nommer la relation qui existe entre deux ensembles lorsqu'une application s'établit entre eux. Dans ce cas mathématique, les deux ensembles reliés sont parfaitement définis, et indépendants l'un de l'autre. Mais dans le cas d'une connaissance physique, la coordination entre les équations mathématiques et les objets ou systèmes physiques est plus complexe, car il se peut que certains objets ou systèmes physiques n'aient pas de définition indépendante des équations.

La coordination devient alors une « définition déguisée » susceptible d'être énoncée de différentes manières, toutes compatibles avec les résultats expérimentaux. Puisque la relation de coordination ne met plus en rapport deux ensembles indépendants et autonomes, mais définit les éléments de l'un grâce aux éléments de l'autre, alors Reichenbach considère que cette relation est « constitutive » de l'un des ensembles. Cette constitution⁶⁰ pouvant s'établir de plusieurs manières (parfois incompatibles) Reichenbach avance l'idée que la coordination, dans le cas de la connaissance physique, ne peut pas être systématiquement univoque.

Il faut donc trouver un autre critère que l'univocité de la coordination pour garantir la vérité de la connaissance physique. Et c'est cela qui conduit Reichenbach à restreindre ou à assouplir (à « relativiser », ainsi que le formulent les commentateurs anglo-saxons)⁶¹ le concept kantien d'*a priori*.

Un des soucis majeurs de Reichenbach est de rendre compte de la dynamique historique des théories. Bien qu'inspiré par la tradition rationaliste (continuisme historique), Reichenbach en vient tout de même à l'idée que les principes les plus fondamentaux de la physique sont révisables sur la

60 La notion de « constitution » utilisée ici par Reichenbach est loin d'être aussi technique que la « méthode de constitution » qui sera mise au point quelques années plus tard par Carnap dans l'*Aufbau*. La grande différence d'ailleurs est que la méthode carnapienne – dans l'*Aufbau* – se propose d'utiliser seulement des définitions explicites, là où Reichenbach se montre plus ouvert quand aux formes acceptables de définitions.

61 Padovani, Flavia, « Relativizing the relativized a priori: Reichenbach's axioms of coordination divided », *Synthese*, vol. 181, no. 1, juillet 2011, pp. 41-62.

base de l'expérience. Il propose toutefois une règle rationnelle censée garantir le changement scientifique de l'irruption de l'irrationalité : c'est la méthode des approximations successives. Une théorie nouvelle ne peut remplacer une précédente que si elle en constitue, d'une manière ou d'une autre, une approximation. Il pourrait s'agir ici d'un principe épistémologique⁶².

Qu'apporte la critique de l'épistémologie coordinationniste par Reichenbach au concept de principe de coordination ?

2 - *La théorie de la relativité et la connaissance a priori*

Ingénieur radio pendant la première guerre mondiale, Reichenbach suit avec intérêt les développements de la physique et de la philosophie de son temps à l'université de Berlin. *La théorie de la relativité et la connaissance a priori*, son premier livre, publié en allemand en 1920, se propose de montrer que la théorie de la connaissance kantienne entre en contradiction avec la récente théorie de la relativité Générale. En reprenant plusieurs concepts de sa thèse de philosophie sur l'interprétation des probabilités en physique, le jeune auteur y dresse d'abord la liste des contradictions entre les deux systèmes – le système des propositions fondamentales de la théorie de la connaissance de Kant d'un côté, et le système de propositions fondamentales de la théorie de la relativité Générale de l'autre : « Einstein's theory of relativity has greatly affected the fundamental principles of epistemology. It will not serve any purpose to deny this fact or to pretend that the physical theory changed only the concepts of physics while the philosophical truths remained inviolate »⁶³

62 Il serait à cet égard intéressant de se poser la question du statut de ce principe. Flavia Padovani parle par exemple de « méta-principe de coordination ».

63 Hans Reichenbach, *The theory of relativity and a priori knowledge*, University of California Press, 1965, p. 1. Par

De cette contradiction on ne peut sortir que par un choix exclusif : soit il faut rejeter la théorie de la relativité, soit il faut abandonner l'épistémologie kantienne sous sa forme traditionnelle : « Therefore, there are only two possibilities: either the theory of relativity is false, or Kant's philosophy needs to be modified in those parts which contradict Einstein »⁶⁴

Puis, à travers un examen critique de la théorie de la connaissance conçue comme une coordination il parvient à la conclusion, empiriste, que la théorie kantienne de la connaissance doit être abandonnée, au profit d'une théorie de la connaissance modelée directement sur la théorie physique triomphante, et susceptible d'évoluer avec les progrès de celle-ci.

We shall, therefore, choose the following procedure. First, we shall establish the contradictions existing between the theory of relativity and critical philosophy and indicate the assumptions and empirical data that the theory of relativity adduces for its assertions. Subsequently, starting with an analysis of the concept of knowledge, we shall investigate what assumptions are inherent in Kant's theory of knowledge. By confronting these assumptions with the results of our analysis of the theory of relativity, we shall decide in what sense Kant's theory has been refuted by experience. Finally, we shall modify the concept of *a priori* in such a way that it will no longer contradict the theory of relativity, but will, on the contrary, be confirmed by it on the basis of the theory's own concept of knowledge. The method of this investigation is called the method of logical analysis.⁶⁵

L'analyse de Reichenbach est intéressante car elle suppose qu'il est possible d'éliminer empiriquement des thèses épistémologiques, donc des thèses philosophiques. Si cette supposition est en accord avec les tentatives, courantes en ce début de XX^{ème} siècle, de développement d'une « philosophie scientifique », elle pose tout de même une question : comment des thèses

la suite abrégé en TRAK.

64 *Ibid*, p. 4.

65 *Ibid*, p. 5.

philosophiques – et donc générales, souvent *a priori* – peuvent-elles être réfutées par l'expérience ?

À cela il y a deux réponses. La première est la conviction de Reichenbach qu'une épistémologie n'est pas indépendante des théories scientifiques qui existent au moment de sa formulation. Pour le philosophe berlinois, ce sont les théories qui existent à un moment donné de l'histoire des sciences qui façonnent l'épistémologie (la théorie de la connaissance) correspondante. C'est pourquoi d'ailleurs il emploie, dans le passage cité, l'expression « the theory's own concept of knowledge ».

La deuxième réponse est que le concept de principe *a priori* de la connaissance, tel qu'il a été théorisé par Kant, doit être modifié ou abandonné. Reichenbach s'engage ici dans la première option. Par définition (du moins conformément à la définition kantienne) un principe *a priori* ne peut pas être réfuté par l'expérience. Pourtant Reichenbach envisage clairement de réfuter ou de confirmer, sur la base de l'expérience, les principes fondamentaux de la connaissance (qui sont traditionnellement considérés comme des principes *a priori*). Il devient donc indispensable de réviser le concept de principe *a priori*, et c'est ce que va faire Reichenbach par la suite.

Par ailleurs le procédé critique de Reichenbach suppose un double processus d'axiomatisation. Pour constituer les systèmes contradictoires, il doit en effet d'un côté résumer la philosophie de Kant en propositions fondamentales. D'un autre côté, il faut faire de même avec la théorie de la relativité Générale et ses équations mathématiques. De plus, il doit faire cela dans un langage qui rende possible la mise en évidence des contradictions engendrées par la conjonction des deux systèmes.

Even though the theory of relativity concerns only relations of *physical* measurability and *physical* magnitudes, it must be admitted that these physical assertions contradict general *philosophical* principles. The philosophical

axioms, even in their critical form, were always formulated in such a way that they remained invariant with respect to specific interpretations but definitely excluded certain kinds of physical statements. Yet the theory of relativity selected exactly those statements that had been regarded as inadmissible and made them the guiding principles of its physical assumptions.⁶⁶

Il y a par conséquent un aller-retour possible entre les propositions physiques (synthétiques et *a posteriori*) et les principes philosophiques généraux (synthétiques et *a priori*). Les premières peuvent contredire les seconds, et ceux-ci peuvent exclure celles-là. Il est intéressant de remarquer que Reichenbach considère que les principes de la connaissance, même sous leur forme critique (c'est-à-dire même conformément à la conception kantienne) peuvent exclure des propositions empiriques. Ils auraient donc bel-et-bien un « contenu » ou une « conséquence » empirique. Cela n'est pas étonnant puisqu'il s'agit de principes synthétiques. La relation opposée, celle où les propositions physiques contredisent les principes n'est pas non plus problématique : si les principes philosophiques sont rejetés, cela provient d'une décision de l'épistémologue de leur préférer des propositions physiques.

C'est donc la hiérarchie des propositions que renverse Reichenbach. Chez Kant un ensemble de principes synthétiques *a priori*, découverts par l'analyse transcendantale, prescrivent l'ensemble des connaissances *synthétiques a posteriori* possibles. Certaines propositions synthétiques sont donc de prime abord exclues comme étant impossibles (non conformes à la connaissance reconnue comme possible).

Pour Reichenbach, au contraire, l'expérience seule est à l'origine de la formulation des propositions physiques. Parallèlement le philosophe élabore une liste des principes fondamentaux de la connaissance. Ceux parmi ces principes qui contredisent l'expérience sont éliminés.

En quel sens alors ces principes généraux de la connaissance peuvent-ils toujours être

⁶⁶ *Ibid*, p. 1.

considérés comme des principes « *a priori* » ? Et, puisque la formulation des lois empiriques, même les moins fondamentales, nécessite toujours des principes préalables⁶⁷, comment les premières peuvent-elles, sans risque de cercle vicieux, servir à rejeter les derniers, qui sont nécessaires à leur formulation ?

Cette dernière question mérite peut-être un développement. La signification des concepts métriques n'est généralement pas indépendante des concepts généraux qui figurent dans les principes fondamentaux. En mécanique classique par exemple, le concept de masse inertielle n'est pas indépendant du concept de force. Il serait étrange qu'une situation empirique dans laquelle intervient le paramètre « masse inertielle » conduise à réviser le principe fondamental de la dynamique ... dans lequel apparaît la grandeur « masse inertielle ».

En réalité, Reichenbach va justement étudier ce genre de situations « auto-révisantes » et proposer une méthode pour les insérer harmonieusement dans une conception continuiste du progrès des sciences : c'est la méthode des « approximations successives ».

Autre problème : comment distinguer les principes généraux des théories physiques des principes philosophiques de l'épistémologie ?

3 - La contradiction entre la théorie de la relativité et l'épistémologie kantienne

Plutôt donc que de dresser la liste de deux ensembles de principes incompatibles, Reichenbach préfère sélectionner les « axiomes philosophiques, même sous leur forme critique » – ces propositions tellement générales, que même Kant les avait retenues comme fondatrices de la forme de la connaissance – et montrer que la théorie physique moderne se construit sur leur négation.

⁶⁷ Ainsi que l'explique clairement Poincaré dans *La science et l'hypothèse*.

Voici en exemple le passage suivant du chapitre 2 :

According to the special theory of relativity, we assert that the following principles in their totality are incompatible with experimental observations:

the principle of the relativity of uniformly moving coördinates;

the principle of irreversible causality;

the principle of action by contact;

the principle of the approximate ideal;

the principle of normal induction;

the principle of absolute time.

All of these principles can be called *a priori* with justification even though Kant did not call all of them *a priori*, for they all possess the criterion of self-evidence to a high degree and represent fundamental assumptions that have always been made in physics. We mention this property only to show that the stated contradiction changes from a physical to a philosophical problem.⁶⁸

Premièrement, Reichenbach considère que l'épistémologie kantienne, surtout lorsqu'elle est appliquée à la physique⁶⁹, contient des propositions *a priori* implicites. Elles ne sont d'ailleurs pas *a priori* au sens où elle prescriraient la forme de la connaissance en général, mais plutôt dans le sens où elle imposeraient la forme de la connaissance physique. Y a-t-il une hiérarchie des propositions (synthétiques) *a priori* chez Kant ?

Ce qu'il faut comprendre, à notre avis, de l'interprétation de Kant par Reichenbach, est que l'épistémologie kantienne, plutôt que transcendantale, est avant tout construite sur l'universalisation de la physique newtonienne. Les principes synthétiques *a priori* ne doivent donc pas être dérivés

68 H. Reichenbach, *TRAK*, p. 15-16.

69 Voir par exemple, E. Kant, *Premiers principes métaphysiques d'une science de la nature*, trad. J. Gibelin, Vrin, 1971.

d'une prétendue « analyse transcendantale », mais plutôt d'une analyse des « hypothèses fondamentales » qui sont sous-jacentes aux théories physiques.

C'est pourquoi, à proprement parler, l'entreprise de Reichenbach ne peut être considérée comme une critique radicale de la philosophie critique de Kant, mais seulement comme une attaque contre certaines de ses propositions, et certains de ses concepts. C'est pourquoi d'ailleurs Cassirer, ne voyait pas d'un mauvais œil ce travail de Reichenbach, et pourquoi encore aujourd'hui, cet ouvrage est étudié dans le cadre de la philosophie néo-kantienne.

Nous aimerions cependant montrer que le procédé et les thèses du philosophe allemand sont authentiquement empiristes, non pas au sens classique du terme, mais en un sens nouveau que nous allons bientôt définir.

Pourquoi, par ailleurs, Reichenbach affirme-t-il que la contradiction passe d'un problème physique à un problème philosophique ?

La question, en effet, n'est plus de savoir quels sont les principes directeurs de la connaissance physique. Mais c'est de savoir comment modifier le concept d'*a priori* afin de pouvoir l'intégrer dans une vision dynamique des sciences.

4 - La distinction entre axiomes de coordination et axiomes de connexion

Reprenant des idées qu'il a déjà développées dans sa thèse,⁷⁰ Reichenbach se livre à une analyse logique des propositions qui constituent une théorie physique. Or le type de proposition mis en évidence lors des premiers chapitres, les principes généraux des théories physiques, ne sont pas comparables aux simples lois de la physique, fussent-elles générales.

⁷⁰ Voir Flavia Padovani, *op. cit.*

Il y a en effet une hiérarchie des principes dans les théories physiques. Ce que nous avons l'habitude d'appeler les « principes physiques », comme le principe fondamental de la dynamique, le principe d'inertie, les principes de la thermodynamique, ou le principe de relativité restreinte, sont, pour Reichenbach des lois empiriques très générales qu'il nomme des « axiomes de connexion ». Mais il existe selon lui des principes encore plus généraux, qu'il nomme les « axiomes de coordination ». Les axiomes de connexion prennent le plus souvent la forme d'équations dans lesquelles des grandeurs physico-mathématiques sont reliées, de là provient leur nom : ils assurent une fonction de relation (connexion) entre les concepts métriques.

Les axiomes (ou principes) de coordination sont plus fondamentaux. Ils définissent la manière dont les concepts métriques sont reliés au réel, à l'expérience, aux objets du monde empirique. Ce sont des principes plus généraux qui constituent la base des concepts physiques et mathématiques utilisés dans les équations de la physique⁷¹ :

For traditional physics the Euclidean metric was [...] a coördinating principle, because it indicated relations according to which space points combine to form extended structures independently of their physical quality. The metric did not define a physical state as do temperature and pressure, but constituted part of the concept of physical object, the ultimate carrier of all states. Although these principles are prescriptions for the conceptual side of the coördination and may precede it as *axioms of coördination*, they differ from those principles generally called axioms of physics. The individual laws of physics can be combined into a deductive system so that all of them appear as consequences of a small number of fundamental equations. These fundamental equations still contain special mathematical operations; thus Einstein's equations of gravitation indicate the special mathematical relation of the physical variable R_{ik} to the physical variables T_{ik} and g_{ik} . We shall call them, therefore, *axioms of connection*.¹⁵ The axioms of coordination differ from them in that they do not connect certain variables of state with others but contain general rules according to which connections take place. In the equations of gravitation, the axioms of arithmetic are presupposed as rules of connection and are therefore

71 On aurait parfois tendance à caractériser les principes de coordination comme les principes du « savoir d'arrière plan » (*background knowledge*) des savants.

coordinating principles of physics. (p. 53-54)

Ainsi, les principes de coordination sont les principes qui nous permettent de donner un sens au concept d'objet physique. Par exemple, en thermodynamique, les principes de coordination nous permettent de savoir ce qui dans le réel peut être considéré comme un système thermodynamique (toutes les portions du réel ne sont pas susceptibles d'être considérée comme des systèmes thermodynamiques, et en tout cas toujours avec des simplifications qui permettent de les ramener aux principes physiques).

Ils ne faut toutefois pas les confondre avec de simples définitions. Ainsi que l'exprime clairement Flavia Padovani dans son article :

Definitions, in fact, indicate how a term is to be related to the others, whereas the rules according to which concepts are defined are given by axioms. The latter, however, cannot be determined by axioms and definitions. Whatever system of mathematical equations we may create and use to represent physical events, it will lack a fundamental statement, that is, the assertion concerning the validity of that system for reality.⁷²

Là où les définitions assignent un sens (ou une référence) à une expression linguistique ou mathématique, les règles de coordination imposent, pour ainsi dire, la forme que doivent avoir ces définitions. L'idée intéressante de Reichenbach est que les axiomes (ou principes) prescrivant la forme possible des définitions, doivent être considérés comme des principes appartenant à la théorie physique, et révisables par l'intermédiaire de l'expérience.

72 Flavia Padovani, *op. cit.* p. 50. Dans ce passage, on peut lire une critique implicite du retournement de Reichenbach après sa correspondance avec Schlick. À partir de cette correspondance, en effet, Reichenbach ne parle plus de « principes constitutifs » ou de « principes de coordination » mais de « définitions de coordination », se rangeant – au moins au niveau du vocabulaire qu'il utilise – au conventionnalisme de Schlick. Ce passage explique pourtant pourquoi ces principes de coordination ne peuvent pas être considérés comme des définitions, même d'un genre spécial. Carnap, à notre avis, développe sa théorie des énoncés de réduction, à partir de 1936, justement pour saisir le statut particulier des énoncés de coordination.

5 - Les principes mathématiques sont-ils des principes de coordinations ?

Mais les axiomes des théories mathématiques utilisés pour exprimer les équations (en physique classique il s'agit de l'algèbre vectorielle, ainsi que de l'analyse) constituent aussi, selon Reichenbach, des principes de coordination. Cette dernière affirmation est étonnante. Elle revient en effet à l'idée que les théories mathématiques particulières participent à la constitution de l'objet physique (car peut-être qu'avec d'autres mathématiques le réel aurait été « découpé » différemment).

Il ne s'agit certainement pas d'une thèse sans conséquences philosophiques. Cela signifie que pour Reichenbach, l'appareil mathématique n'est pas neutre par rapport au contenu physique d'une théorie, il ne constitue pas un ensemble de propositions conventionnelles dont la fonction est simplement opératoire. Cette thèse se distingue fortement de la thèse empiriste logique classique à venir selon laquelle l'appareil mathématique (le mathematicarium) n'est qu'un ensemble de propositions analytiques *a priori*, indispensable pour la formulation des équations, mais n'affectant en aucune sorte le contenu physique des théories, qui est uniquement dérivé de l'expérience.

Cela signifie-t-il que Reichenbach considère les propositions mathématiques, ou du moins certains principes mathématiques, comme synthétiques *a priori* ?

Nulle part une telle affirmation n'est faite. Mais puisque le philosophe considère que les principes de coordination sont synthétiques *a priori*, il est difficile d'échapper à cette conclusion kantienne. Un point est à noter toutefois. Les principes mathématiques ne jouent de rôle constitutif pour les objets physiques que pour autant qu'il est nécessaire de les faire apparaître dans les principes des théories physiques. Indépendamment de ces dernières, ils peuvent être analytiques *a priori*. Les principes mathématiques changeraient alors de statut selon qu'ils sont purs ou appliqués. Il ne s'agit là d'ailleurs que de simples hypothèses d'interprétation, les positions claires de

Reichenbach sur la question faisant défaut.

Dans son article, Flavia Padovani tente d'enrichir la distinction de Reichenbach. En se référant à son travail de thèse ainsi qu'à des articles non publiés, elle parvient à la conclusion qu'il faut opérer une distinction au sein des principes de coordination. Certains sont plus fondamentaux que les autres : ils s'organisent en une hiérarchie. Deux principes sont particulièrement importants : le principe dit de « probabilité », qui est un principe affirmant qu'aucune mesure physique ne peut être infiniment précise et que par conséquent la valeur d'une grandeur est soumise à l'erreur de mesure ; et le principe de « genidentité » qui assure à un objet une existence et une identité à travers le temps. Ces deux principes sont plus fondamentaux car ils s'appliquent à toutes les théories physiques envisageables :

The values appearing within the equations receive their physical meaning by virtue of the coordinating axioms, but the act of measuring itself is primarily dependent upon the principle of probability, as well as, more generally, on the principle of genidentity. These two constitutive axioms are, so to speak, meta-axioms of coordination: they are constitutive of the constitutive axioms, in that they represent an essentially underlying level of constitutivity, as I will argue more in detail in 4.1.⁷³

Cela peut toutefois nous aider à comprendre en quoi la philosophie du Berlinoise en 1920 se distingue du conventionnal-empirisme de Schlick. La différence tient semble-t-il à l'importance que les deux philosophes donnent au rôle constitutif des principes physiques ou mathématiques. Pour Reichenbach, « constitutif » possède une connotation idéaliste : un principe constitutif détermine ce qui doit être considéré comme un objet physique – la forme du réel est déterminée par la théorie.

Flavia Padovani décrit cela comme suit :

⁷³ Flavia Padovani, *op. cit.*, p. 54.

The axioms of coordination and of order do not define individual things, but rather determine more generally what the object (Gegenstand) is. For instance, “the probability function determines identity.” This is to be understood in the same terms we have seen before, i.e., physical magnitudes can be represented by the same value resulting from different empirical data by virtue of the probability function. The constitutive axioms also specify the measurable relations of the objects that lead to the connection. In this, he continues, they constitute the physical, therefore measurable object.⁷⁴

Pour Schlick, « constitutif » signifie simplement « par définition », et équivaut à une simple convention, tout au plus une hypothèse. Derrière la conception de Reichenbach gît l'idée que le réel (et les objets qui le constituent) est en quelque sorte déterminé par les idées que nous nous faisons de lui. C'est pourquoi d'ailleurs il affirme plus loin que le concept d' « objet physique » est modifié lors d'un changement théorique.⁷⁵

6 - Un kantisme ouvert

D'une certaine manière l'empirisme de Reichenbach, plutôt qu'empirisme logique, devrait se nommer empirisme rationaliste (rationalempirisme). Les principes de coordination, en effet, ne proviennent pas de l'expérience, dans le sens où ce n'est pas l'expérience qui est à l'origine de leur formulation, même si elle peut les valider ou les invalider. Seule la raison est maîtresse dans la formulation des principes, et ce rôle de la raison est une composante rationaliste dans la première philosophie de Reichenbach :

⁷⁴ *Ibid*, p. 56.

⁷⁵ Voir la section II, C, pour un développement de ces idées. En réalité Reichenbach affirme, de manière trop idéaliste peut-être que l' « objet » physique se modifie lors d'un changement théorique. Schlick, en bon empiriste, le corrige : c'est bien le « concept » d'objet physique qui est modifié lors d'un tel changement, pas l'objet lui-même. Ce point est nuancé par la citation suivante ...

II. B) REICHENBACH, LA RELATIVITÉ ET LA CONNAISSANCE A PRIORI

The principles of coördination represent the rational components of empirical science at a given stage. This is their fundamental significance, and this is the criterion that distinguishes them from every particular law, even the most general one. A particular law represents the application of those conceptual methods laid down in a principle of coördination; the principles of coördination alone define the knowledge of objects in terms of concepts. Every change of the principles of coördination produces a change of the concept of object or event, that is, the object of knowledge. Whereas a change in particular laws produces only a change in the relations between particular things, the progressive generalization of the principles of coördination represents a development of the *concept of object* in physics. Our view differs from that of Kant as follows: whereas in Kant's philosophy only the determination of a *particular concept* is an infinite task, we contend *that even our concepts of the very object of knowledge, that is, of reality and the possibility of its description, can only gradually become more precise.*⁷⁶

Cette dernière affirmation est peut-être la plus importante de l'ouvrage. En des mots plus simples, Reichenbach accuse l'épistémologie kantienne d'être *fermée* : si, selon Kant, un progrès est toujours possible dans la connaissance d'un concept particulier, la *forme* de la connaissance elle-même est arrêtée à jamais. Au contraire Reichenbach se propose de construire une épistémologie *ouverte* : la nature de la connaissance elle-même, la forme qu'elle peut prendre, les certitudes auxquelles elle peut parvenir, sont susceptibles de constituer une connaissance perfectible, et par conséquent, aimerions-nous ajouter, historique.⁷⁷

Selon cette épistémologie ouverte, chaque nouvelle théorie modifie le concept même de connaissance. Il serait donc illusoire de vouloir, une fois pour toute, fixer la forme de toute connaissance possible. Ce point constituera, comme nous le verrons, un des points d'achoppement entre Schlick et Reichenbach.

⁷⁶ H. Reichenbach, *TRAK*, pp. 87-88.

⁷⁷ Nous pourrions résumer – avec un grain de sel – *La critique de la Raison Pure* de Kant en disant qu'il s'agit pour le philosophe de marquer la fin de l'histoire de la connaissance.

7 - La pseudo-critique de la notion de coordination et la définition de la réalité

La partie de l'ouvrage la plus intéressante pour notre propos est probablement le chapitre sur la connaissance comme coordination. Implicitement il s'agit d'une critique des conceptions de Cassirer et de Schlick qui tentent de réduire *toute* la connaissance à une coordination⁷⁸.

La connaissance n'est plus comprise – dans ce contexte post-kantien du début du XX^{ème} siècle – comme une faculté qui nous permettrait d'atteindre des éléments absolus. Au contraire elle est simplement conçue comme un processus relationnel : la connaissance consiste dans la mise en rapport – la coordination – de deux contenus. La forme que prend cette relation est la seule donnée objective qu'il est possible de déterminer.

Dans un petit opuscule *Forme et Contenu : introduction à la pensée philosophique*,⁷⁹ Schlick prend un exemple musical. L'air d'une musique peut se reconnaître à l'oreille, en lisant une partition, ou en observant le mouvement des doigts sur un clavier, ou en amplifiant les traces sur un disque vinyle. Le contenu est différent dans tous les cas, mais une correspondance dans la forme permet de reconnaître dans tous les cas la même mélodie.

Dans ce contexte, le chapitre de Reichenbach apparaît comme une critique, qui pourtant ne tire pas toutes les conséquences de ses arguments. Le philosophe berlinois parvient en effet à formuler une aporie à laquelle la conception de la connaissance comme coordination est confrontée dans le cas de la physique mathématisée. Mais loin de considérer cette aporie comme une condamnation radicale de la conception coordinationniste, il tente d'en faire, avec difficulté, un critère de réalité.

Premièrement, la conception coordinationniste de la connaissance provient, comme nous l'avons montré dans les sections sur Hilbert et Schlick, du succès de la méthode de définition

⁷⁸ Voir l'article de Thomas Ryckman cité plus haut.

⁷⁹ Ce petit livre regroupe trois conférences prononcées par Schlick en 1932. M. Schlick, *Forme et Contenu : introduction à la pensée philosophique*, trad. Delphine Chapuis-Smitz, Agone, 2003.

implicite dans l'axiomatisation des théories mathématiques :

The mathematical object of knowledge is uniquely determined by the axioms and definitions of mathematics. The definitions indicate how a term is related to previously defined terms. The mathematical object receives meaning and content within this framework of definitions through an analysis of its differences from and equivalences to other mathematical objects. The axioms indicate the mathematical rules according to which concepts are to be defined. Even the fundamental concepts occurring in the axioms are defined through such relations.

[...]

This peculiar mutuality of mathematical definitions, in which one concept always defines another without the need of referring to "absolute definitions," has been clearly stated by Schlick in the theory of implicit definitions.⁸⁰

Mais, ainsi que le remarque Reichenbach, étendre cette méthode sans discernement aux théories physiques est fortement problématique :

The physical object cannot be determined by axioms and definitions. It is a thing of the real world, not an object of the logical world of mathematics. Offhand it looks as if the method of representing physical events by mathematical equations is the same as that of mathematics. Physics has developed the method of defining one magnitude in terms of others by relating them to more and more general magnitudes and by ultimately arriving at "axioms," that is, the fundamental equations of physics. Yet what is obtained in this fashion is just a system of mathematical relations. What is lacking in such a system is a statement regarding the significance of physics, the assertion that the system of equations is true for reality.⁸¹

Autrement dit, en physique, il n'est pas simplement question d'une pure forme : il doit y avoir une connexion au réel. Or les objets du réel peuvent-ils être, ainsi que les objets

80 H. Reichenbach, *TRAK*, p. 34-36.

81 *Ibid*, p. 36.

mathématiques, définis à travers les simples relations qu'ils entretiennent les uns avec les autres ? Pour Reichenbach, réaliste dans ces lignes, ce n'est pas le cas. C'est une coordination d'un type particulier qui va jouer ce rôle⁸². En bon empiriste il affirme que c'est par la mise en rapport des équations de la théorie physique avec les choses (*individual things*) ou les perceptions que la connaissance par coordination est possible en physique :

This relation is totally different from the internal coherence of mathematics. The physical relation can be conceived as a coordination : physical things are coordinated to equations. Not only the totality of real things is coordinated to the total system of equations, but individual things are coordinated to individual equations. The real must always be regarded as given by some perception. By calling the earth a sphere, we are coordinating the mathematical figure of a sphere to certain visual and tactile perceptions that we call "perceptual images of the earth," according to a coordination on a more primitive level.⁸³

Dans ce passage la distinction entre les « perceptions directes » (très semblables aux *sense-data* de Russell), et les « perceptions indirectes », comme « la position de l'aiguille d'un manomètre », est intéressante. Bien évidemment, la perception de l'aiguille et de sa position est une perception directe, mais la perception de cette aiguille et de sa position *en tant qu'elle indique un paramètre de l'état physique d'un gaz* (sa pression par exemple), est une perception indirecte. Il est facile de comprendre que la « perception indirecte » est une perception « chargée de théorie » (*theory laden* comme disent les anglo-saxons), et qu'avec ce concept Reichenbach anticipe et contourne les critiques de l'empirisme qui lui reproche de ne pas voir que les perceptions élémentaires n'existent pas, et qu'au contraire nous ne percevons toutes les choses qu'à travers le filtre de nos théories, comme le laisse voir l'exemple suivant développé un peu plus loin :

82 Dans la section II, A, nous avons vu en effet que celui-ci considérait la définition implicite comme le paradigme de la connaissance par coordination. Ici, il s'agit toujours d'une coordination, mais entre des éléments hétérogènes : entre des concepts et des choses.

83 *Ibid*, p. 36.

If we speak of Boyle's gas law, we coordinate the formula: $p.V = R.T$ to certain perceptions, some of which we call direct perceptions of gases (such as the feeling of air on the skin) and some of which we call indirect perceptions (such as the position of the pointer of a manometer). The fact that our sense organs mediate between concepts and reality is inherent in human nature and cannot be refuted by any metaphysical doctrine.⁸⁴

L'élaboration du concept de perception indirecte est néanmoins problématique, puisqu'elle fait l'impasse, justement, sur la manière dont la perception directe est reliée à la théorie : comment le physicien sait-il que la position de l'aiguille est une indication de la pression d'un gaz ? Reichenbach fait ici face à un problème de circularité : s'il veut définir un concept théorique comme la pression d'un gaz en le coordonnant aux perceptions indirectes de ce gaz (l'observation des instruments de mesure et leur interprétation), il prend le risque de définir un concept, « pression d'un gaz », par d'autres concepts, « position de l'aiguille sur le manomètre », « position du niveau de mercure dans le baromètre », etc, qui n'ont de sens qu'au sein de la théorie dont on tente de définir les termes.

Reichenbach est, comme nous allons le voir, parfaitement conscient de ce risque de circularité :

The coordination performed in a physical proposition is very peculiar. It differs distinctly from other kinds of coordination. For example, if two sets of points are given, we establish a correspondence between them by coordinating to every point of one set a point of the other set. For this purpose, the elements of each set must be defined; that is, for each element there must exist another definition in addition to that which determines the coordination to the other set. Such definitions are lacking on one side of the coordination dealing with the cognition of reality. Although the equations, that is, the conceptual side of the coordination, are uniquely defined, the "real" is not. On the contrary, the "real" is defined by coordinations to the equations.(p. 37)

84 *Ibid*, p. 37.

Autrement dit, contrairement aux mathématiques où la coordination a lieu entre des ensembles dont les éléments sont déjà indépendamment définis, en physique, un des ensembles – celui qui contient les objets réels – n'a pas de définition indépendante et univoque, et ne se trouve défini qu'à travers la coordination aux équations de la physique. Cela a pour conséquence, non pas une circularité, affirme le philosophe, mais la non-univocité de la définition des objets réels (*i.e.* il est possible que les mêmes objets réels reçoivent des définitions incompatibles, et des ensembles différents d'objets réels peuvent recevoir la même définition).⁸⁵

Immédiatement après Reichenbach s'autorise une analogie avec les mathématiques :

This kind of coordination might be compared to the mathematical case in which a discrete set is coordinated to a subset of the continuum. Let us consider as an example the coordination of the rational fractions to the points of a straight line. We note that all the points of the straight line are well defined; we can say of every point of the plane whether or not it belongs to the straight line. More than that : the points of the straight line are ordered ; we can say of any two points which of them lies "on the right," which of them lies "on the left." But the coordination does not refer to all the points of the straight line. An infinite set of points corresponding to the irrational numbers remains unaffected, and the selection of the points corresponding to the rational fractions is determined only by the coordination. Offhand we cannot say of a point of the straight line whether or not it belongs to the coordinated subset; to do so requires an analysis according to a method given by the construction of rational fractions. In this sense does the coordination to the other set determine the selection of the subset of the continuum. (p. 38)

Dans ce passage, il semble que Reichenbach se serve du problème du continu mathématique pour illustrer un problème de coordination physique. Il est possible de projeter l'ensemble des

85 Il est intéressant de noter qu'il s'agit ici d'une position presque inverse à celle que Carnap défendra à partir de 1936 où les termes théoriques ne sont que « partiellement » définis. Ici ce sont les termes réels qui sont « partiellement » définis. Ou bien l'on pourrait penser que la position de Carnap en 1939 est plus fidèle au Reichenbach des années 1920. Comme nous le verrons plus bas, dans le texte de 1939 sur le fondements de la logique et des mathématiques, Carnap se propose de prendre comme termes primitifs, non les prédicats observables, mais les termes les plus théoriques, pour reconstruire les premiers (dans un mouvement non plus ascendant, mais descendant).

nombre rationnels sur une ligne droite (géométrique). La ligne droite n'a pas même besoin d'être infinie d'un côté, elle peut consister d'un segment de droite. Bien que les points de cette droite soient géométriquement bien définis – on peut dire de tous les points du plan ou de l'espace s'ils se situent ou non sur la droite, et de plus l'on peut quels points de la droite se situent à droite ou à gauche d'un point donné de la droite – il n'est pourtant pas possible, à partir de cette définition géométrique, de déterminer quels points représentent des nombres rationnels, et quels points des nombres irrationnels. Pour cela il faut se référer à la méthode de construction des rationnels et à la forme de leur projection sur la droite ou le segment. L'exemple est difficile à comprendre, mais il est éclairé par le passage qui suit :

We notice that even so the problem has not been precisely defined, since such a coordination can be accomplished in an infinite number of ways. For instance, if the segment chosen as unit were to be increased, the required coordination could be achieved; but under these circumstances a different point of the straight line would correspond to a certain rational fraction. Moreover, points which previously corresponded to an irrational number might now be coordinated to a rational fraction so that the selected subset would consist of quite different elements. Other coordinations result if the straight line is divided into segments corresponding to the integers, and if the coordination is carried out backwards within each segment, or if arbitrary finite segments are excluded from the coordination altogether – there is an infinite number of possibilities. It is obvious that the subset to be selected is defined only if certain additional conditions are specified. It might be specified, for instance, that of any two fractions the larger is always to be coordinated to the point farther to the right, or that a fraction twice as large is always to be coordinated to a point twice as far to the right, and so forth. (p. 38-39)⁸⁶

Ce que veut mettre en évidence le berlinois par cette analogie, est la nécessité pour la

86 Cette argumentation de Reichenbach est à analyser avec prudence. Il s'agit de coordonner l'ensemble infini des rationnels à une *ligne géométrique* (et non pas à l'ensemble des nombres réels). La ligne géométrique peut d'ailleurs être limitée des deux côtés, d'un seul côté, ou même n'être pas limitée du tout. Cette coordination peut avoir lieu de multiples manières (d'une infinité de manières) puisque le choix de l'unité est conventionnel. Il est même possible de projeter tous les rationnels sur un segment, la « distance » entre deux rationnels diminuant à mesure que l'on s'approche de la limite du segment.

coordination en physique de formuler des règles supplémentaires afin d'éviter la non-univocité de la définition des éléments du réel. Or ces règles supplémentaires ne peuvent en aucun cas être les lois ou les équations de la physique (ces dernières constituent déjà un côté de la coordination), ni les propositions décrivant les objets réels (pour autant que de telles propositions pré-théoriques soient possibles). Ces règles supplémentaires n'appartiennent donc ni totalement au système de la théorie physique, ni au système des propositions élémentaires décrivant les objets empiriques.

Mais dans le cas de l'exemple mathématique, il est toujours possible, affirme Reichenbach, de formuler toutes les conditions supplémentaires nécessaires à l'univocité de la coordination : il suffit pour cela de trouver de nouvelles relations autorisées par les conditions supplémentaires, relations qui rendent la coordination non-univoque, puis de formuler encore d'autres conditions afin d'éliminer ces relations parasites.⁸⁷

Ce processus de correction ne peut pas avoir lieu avec la connaissance physique affirme l'auteur :

Yet all such specifications fail with regard to coordinations in the cognitive process, where one side is completely undefined. It is not delimited, it contains no direction, and it does not even give a clue as to what constitutes an individual element of the set. What is the length of a physical rod? It is defined by a large number of physical equations that are interpreted as "length" with the help of readings on geodetic instruments. The definition results from a coordination of things to equations. Thus we are faced with the strange fact that in the realm of cognition two sets are coordinated, one of which not only attains its order through this coordination, but whose elements are defined by means of this coordination. (p. 40)

Dans l'exemple de la ligne géométrique, la définition de la droite et l'identification des points la constituant relève de la théorie géométrique. Dans le cas de la coordination physique

⁸⁷ Comparer cette conception du progrès en mathématique à la théorie de Lakatos. Voir Imre Lakatos, *Preuve et Réfutations : essai sur la logique des découvertes mathématiques*, Hermann, 1984.

(Reichenbach dit « cognitive ») il n'existe pas de théorie (autre que la théorie physique, qui constitue l'autre ensemble à coordonner) pour définir le continu du réel.

Là, l'ajout de conditions supplémentaires délimitant la coordination, n'aurait pour effet que de modifier la définition des éléments du réel, qui ne sont définis qu'à travers la coordination.

L'exemple de Reichenbach est ambigu. Pour bien le comprendre il faut considérer que « la longueur de la règle » est un élément de la réalité. Cette longueur (qui est un élément de la réalité selon Reichenbach⁸⁸) n'est définie qu'avec l'aide des équations de la physique (qui sont des éléments de la théorie) où apparaît une variable qui peut être interprétée comme une longueur grâce aux instruments de mesure (ces instruments de mesure sont des éléments du réel, mais leur lecture suppose une « perception indirecte », c'est-à-dire une connaissance de la théorie). La longueur n'est donc définie que par le rapport particulier que les instruments de mesure (et les résultats de leur lecture) ont avec la théorie. Or ce sont justement les « conditions supplémentaires » (les principes de coordination) qui règlent la forme du rapport que les instruments entretiennent avec les équations ; en modifiant ces conditions, on modifie aussitôt la notion de longueur.

8 – Le statut des perceptions

Il n'est jamais question, comme l'a tenté Russell, et d'une certaine manière aussi Carnap, de poser dans les perceptions des éléments absolus, susceptibles de définir le réel : « The attempt to regard an individual perception as a defined element of reality is not successful either. »⁸⁹. Suite à cette phrase vient un paragraphe qui peut être lu comme un développement de la notion de « perception indirecte » où est introduit la notion importante d'ordre :

88 Il est difficile pourtant de dire si Reichenbach défend ici un réalisme des grandeurs. Tout au plus s'agit-il d'un réalisme des propriétés.

89 H. Reichenbach, *TRAK*, p. 40.

For instance, if we interpreted the perception of the pointer of the manometer in the above example as such an element, we would get into difficulties because this perception contains much more than the position of the pointer. Should the factory label be on the manometer, it would be part of the perception. Two perceptions different with respect to this label may still be equivalent for the coordination to Boyle's equation. Before a perception is coordinated, its relevant components must be distinguished from the irrelevant ones; that is, it must be ordered. But such a coordination presupposes the equations or the laws expressed in them.⁹⁰

Une perception indirecte est donc une perception dont les composants ont été ordonnés selon leur degré de pertinence relativement à une théorie.⁹¹ Quoi qu'il en soit, les perceptions et leurs composants constituent des entités trop complexes pour servir de base à une définition de la réalité : « The content of every perception is far too complex to serve as an element of coordination »⁹² car on ne peut pas, sur la simple base d'une perception, décider de la réalité de ce qui est perçu : « A perception does not contain even a sufficient criterion to decide whether or not a given phenomenon belongs to the class of real things »⁹³, ainsi que l'exemple de l'hallucination le montrerait bien.

9 – Une coordination circulaire ?

C'est pourquoi la notion de coordination appliquée à la connaissance physique pose un réel problème de circularité :

90 *Ibid*, pp. 40-41.

91 Il y a bien sûr ici un problème de distinction entre les perceptions et leur « composants ». Car il semble que les composants puissent être des perceptions à part entière. La notion de perception ultime ou « atomique » semble ne pas faire sens chez Reichenbach, ce qui n'est pas nécessairement un défaut.

92 *Ibid*, p. 41.

93 *Ibid*.

II. B) REICHENBACH, LA RELATIVITÉ ET LA CONNAISSANCE A PRIORI

If we compare this fact with the above example of a coordination, we discover that, since perceptions do not define the elements of the universal set, one side of the cognitive process contains an undefined class. Thus it happens that individual things and their order will be defined by physical laws. The coordination itself creates one of the sequences of elements to be coordinated.⁹⁴

La coordination s'opère entre deux ensembles dont un seulement est défini ; le deuxième ne trouve sa définition qu'à travers le premier : la coordination elle-même se présente comme une sorte de définition. Mais dans ce cas, nous l'avons vu, selon Reichenbach, il n'est pas possible de déterminer *a priori* si la coordination est, ou pourra devenir, univoque.

Voilà qui pourrait sonner comme une critique radicale de la conception coordinationniste de Schlick : dans le cas de la connaissance physique, l'univocité ne peut pas être déterminée de manière *a priori*. Et en vérité, c'est bien une critique que formule Reichenbach, mais plus loin, dans une note à la fin de l'ouvrage. À la fin d'un paragraphe où il est affirmé que « the uniqueness of the coördination cannot be ascertained; it is a conceptual fiction that is only approximately realized »⁹⁵ l'auteur ajoute une note critique à propos de la philosophie schlickéenne :

It is remarkable that Schlick, who makes the concept of unique coordination the center of his investigations and who shows great merit in his justification of the significance of this concept, has never seen the possibility of such a generalization.⁹⁶ For him it is obvious that the coördination must be unique. He regards it as a necessary human constitution to obtain knowledge in this way, and he thinks that knowledge would arrive at a *non possumus* if some day a unique coördination could no longer be carried through. Yet Kant did not assert anything different when he established his categories. It is characteristic of Schlick's psychologizing method that he believes to have refuted by many proofs the correct part of Kant's theory, namely, the constitutive significance of the coördinating principles, and that he accepts the incorrect part without noticing it. The characterization of knowledge as unique coördination is Schlick's analysis of reason, and the uniqueness is his

94 *Ibid*, p. 42.

95 *Ibid*, p. 85.

96 Selon Reichenbach, le critère de la connaissance vraie, l'univocité de la coordination, est généralisable. Il ne donne pas d'exemple particulier, mais évoque la physique quantique, où cette généralisation pourrait bien avoir lieu.

synthetic judgment *a priori*.⁹⁷

Cette critique, bien que ravageuse pour Schlick, ne porte pourtant pas un coup fatal à la conception coordinationniste de la connaissance en général : si l'univocité de la coordination ne peut pas être déterminée *a priori*, elle peut toujours être vérifiée *a posteriori*. Après qu'une coordination a été établie, il est toujours possible de vérifier empiriquement si l'univocité est atteinte. Bien évidemment cette univocité vérifiée empiriquement n'est ni assurée, ni garantie dans le temps (de nouvelles découvertes peuvent conduire au rejet de cette univocité), et elle n'est, comme le dit l'auteur, qu'approximative.

Comment, alors, se passe la vérification empirique de l'univocité d'une coordination ? Il faut, dit Reichenbach, vérifier la consistance de cette coordination avec les propositions issues de l'observation et de l'expérimentation :

Here the questions arise : what characterizes the "correct" coordination? how does it differ from an "incorrect one"? The answer is : by the fact that it is consistent. Contradictions are discovered by observation. For instance, if from Einstein's theory a deflection of light of 1.7" near the sun were predicted, but 10" were observed instead, there would arise a contradiction, and such contradictions are always used to test the correctness of a theory. The value 1.7" has been obtained on the basis of equations and experiences concerning other data; but the value 10" has in principle not been ascertained in a different way since it is not read off directly. Rather, it has been constructed from the recorded data with the help of complicated theories concerning the measuring instruments. It can be maintained therefore that *one* chain of reasoning and experience coordinates the value 1.7 to the physical event, the other, the value 10, and here lies the contradiction. That theory which continuously leads to consistent coordinations is called true. Shlick is therefore right when he defines truth in terms of unique coordination. We always call a theory true when all chains of reasoning lead to the same number for the same phenomenon. This is the only criterion of truth.⁹⁸

97 Note n°27, appel de note p. 85 ; texte pp. 115-116. Cette note est probablement à l'origine de la correspondance entre les deux philosophes : Schlick a en effet considéré que la critique était déplacée.

98 *Ibid*, p. 43. Il est intéressant de voir à quel point ce paragraphe préfigure le développement de Hasok Chang sur l'expérience de physique comme tentative de sur-détermination.

Et bien évidemment, les perceptions, qui avaient été rejetées pour la définition de la réalité, à travers l'observation et l'expérimentation regagnent une place d'honneur, car sans elles, la vérification empirique de la coordination n'est plus possible : « *Perceptions furnish the criterion for the uniqueness of the coördination. We saw previously that they cannot define the elements of reality; but they can always be used to judge uniqueness. (p. 44)* ». Il en résulte donc une définition originale et compliquée de la réalité :

There remains the peculiarity that the defined side does not carry its justification within itself ; its structure is determined from outside. Although there is a coordination to undefined elements, it is restricted, not arbitrary. This restriction is called "the determination of knowledge by experience." We notice the strange fact that it is the defined side that determines the individual things of the undefined side, and that, vice versa, it is the undefined side that prescribes the order of the defined side. The existence of reality is expressed in this mutuality of coordination.⁹⁹

Si les éléments définis implicitement du côté théorique, imposent à travers la coordination une forme aux éléments du réel, cette forme n'est pas arbitraire – il faut entendre, pas simplement conventionnelle – car les éléments de la théorie sont en retour structurés par l'expérience. Le fait qu'un ordre soit empiriquement imposé constitue pour Reichenbach une *preuve* de l'existence de la réalité : même si n'importe quelle coordination est *a priori* formulable entre la théorie et le réel, celles qui entrent trop facilement en contradiction avec l'expérience sont rapidement rejetées ; le réel, bien qu'indéfinissable indépendamment de la théorie, lui impose tout de même une structure par le rejet des coordinations inconsistantes, et c'est de cela qu'il s'agit lorsque l'on évoque la « détermination de la théorie par l'expérience ». On remarque au passage que cette conception laisse une place au phénomène de « sous-détermination » de la théorie par l'expérience : l'univocité de la

99 *Ibid.*

coordination n'est en effet vérifiée que de manière approchée.

De cette « preuve » Reichenbach n'hésite pas à tirer des conséquences philosophiques contre l'idéalisme :

One might be inclined to dismiss this difficulty simply by declaring that only the ordered set is real, while the undefined one is fictitious, a hypostatized thing-in-itself. Berkeley's solipsism and, in a certain sense, modern positivism may perhaps be interpreted in this way. But such a view is certainly false. [...] It is irrelevant in this context whether one speaks of a thing-in-itself or denies its existence. This mutuality [of coordination] attests to what is real. In this way existence can be conceptually apprehended and formulated.¹⁰⁰

Il est pourtant difficile de voir en quoi cela constitue une *preuve* de l'existence de la réalité. Tout au plus s'agit-il d'un indice montrant la présence de quelque chose transcendant la connaissance (que ce quelque chose soit constitué par les éléments de perception ou, pour le dire brutalement, la volonté d'un Dieu, voilà ce que l'on ne peut décider). Il n'empêche, un critère de réalité est tout de même formulable : selon Reichenbach, est réel tout ce qui impose empiriquement une forme – c'est-à-dire une limitation, une condition – à la coordination. Mais c'est aussi une des caractéristiques des auteurs empiristes que de vouloir « éliminer » les problèmes considérés comme « métaphysiques ».

Il est évident de voir qu'est affirmé ici l'empirisme de Reichenbach. En confrontant les « deux chaînes de raisonnements » et en constatant une incompatibilité entre les deux, c'est toujours la plus théorique (celle dont le rapport à l'expérience est le plus lointain) qui est rejetée. Cette préférence donnée à l'expérience comme critère de démarcation ne se justifie pas autrement que par une pétition de principe. Cette décision, « donner toujours la préférence à ce qui est le plus proche de l'expérience », critère pragmatique s'il en est, constitue la formulation implicite de l'empirisme chez Reichenbach.

¹⁰⁰*Ibid*, pp. 42 – 43.

Sur quoi repose pourtant cette confiance en l'expérience (observation et expérimentation) ?

Sans vouloir trop nous engager sur cette voie pour l'instant, qui nous conduirait à élaborer un examen critique de l'empirisme en général, nous pouvons d'ores et déjà indiquer que pour Reichenbach, il n'existe pas d'expérience à l'état pur. Lorsque « deux chaînes de raisonnement » sont confrontées, ce sont bien deux chaînes *théoriques*, et le critère de choix réside dans la *proximité* à l'expérience. Celle qui est la plus proche de l'expérience est toujours celle qui contient la théorie permettant l'utilisation des instruments de mesure. Or cette théorie est soit plus simple que celle qui est représentée dans l'autre chaîne de raisonnement, soit antérieure.

Un empirisme bien conçu ne compare pas la théorie à l'expérience ; *il confronte une théorie nouvelle à la théorie des instruments de mesure*. Une théorie nouvelle ne peut *jamais* s'imposer rationnellement, si ses prédictions ne sont pas vérifiables grâce à des instruments de mesure construits et utilisés selon les principes d'une théorie antérieure, parfois incompatible.¹⁰¹

101 Si la théorie devait s'appuyer sur des instruments n'offrant aucune continuité avec les instruments précédents, alors les deux théories pourraient être considérées comme authentiquement incommensurables (voir Kuhn, *La structure des Révolutions Scientifiques*). D'une certaine manière, la lunette de Galilée est un instrument qui certes permet de tester à la fois la théorie ptoléméenne et la théorie copernicienne, mais elle est incompatible avec les principes de la connaissance du paradigme aristotélicien. Dans ce cas il y a incommensurabilité car il y a un dilemme, ou une contradiction comme le dit Reichenbach : soit l'on accepte le paradigme aristotélicien, qui nécessite de rejeter la lunette astronomique comme instrument pertinent, soit l'on accepte la lunette astronomique comme instrument pertinent, ce qui implique de rejeter le paradigme aristotélicien. (Soit PA et non(LA), Soit LA et non(PA), qui indique simplement que PA et LA sont incompatibles). Comme nous le verrons plus tard, dans le chapitre sur la correspondance entre Schlick et Reichenbach, ce sont ces dilemmes qui sont caractéristiques, selon Reichenbach, du contenu empirique d'une théorie. On ne sort pas du dilemme par une simple convention (Poincaré, Schlick).

Le même raisonnement se tient dans le cas de la relativité. Il faut que le dilemme se pose entre un paradigme ancien (la physique classique) et un instrument – ou une expérimentation nouvelle – accompagné de la théorie qui interprète ses résultats (dans le cas de la relativité un bon candidat est l'expérience de Michelson et Morley). Soit on accepte la physique classique et l'on rejette les résultats de Michelson et Morley comme de simples artifices (voir par exemple l'analyse de cette mesure dans le livre de Bergson *Durée et Simultanéité*), soit l'on accepte les mesures de MM comme pertinente et non-artificielle, et l'on doit rejeter la physique classique.

L'analyse de Reichenbach est intéressante car elle pointe les propositions qui, dans la physique classique, sont incompatibles avec les nouvelles expériences. Ces propositions sont toutes, dans le cadre d'une épistémologie kantienne, des exemples de propositions synthétiques *a priori*. Reichenbach en termine avec les propositions synthétiques *a priori* de la même manière que Galilée en termine avec les vérités du dogme révélé.

Remarquons que l'analyse de Reinchenbach outrepassse le problème du holisme duhemien. D'une certaine manière, Schlick est plus fidèle à ce principe holiste, et demeure donc conventionnaliste. Mais le point important de l'analyse, c'est que Reichenbach (contrairement à Schlick) s'appuie sur le théorie de la relativité *générale* (et non pas simplement *restreinte*), dans laquelle la métrique est déterminée *empiriquement* (par la distribution de masse dans l'univers).

La question véritable est donc celle-ci : en relativité générale, la métrique est-elle réellement déterminée empiriquement ? Pour la réponse à cette question voir l'avis d'Einstein qui est rapporté à la fin de la partie, en II, C.

Ainsi l'univocité de la coordination, pour la connaissance physique, n'est assurée qu'*a posteriori*, et de manière approximative. Elle n'est donc pas comparable à l'univocité qui est atteinte dans le cas de la coordination purement mathématique, où l'univocité est assurée de manière *a priori*, grâce à la nature même des concepts. D'ailleurs ce caractère *a priori* de la coordination mathématique n'est jamais assumé tel quel par Reichenbach ; tout au plus se contente-t-il d'affirmer que l'univocité est toujours atteignable, en le justifiant par le fait que rien ne semble empêcher à l'esprit investigateur d'ajouter des conditions supplémentaires spécifiant la forme de la coordination. En résumé, dans le domaine mathématique, il ne semble pas y avoir de limitation (autre que la consistance logique) imposant de forme à la coordination, et la consistance logique seule ne semble pas pouvoir empêcher une quelconque tentative pour rendre univoque une coordination.

Il aurait été intéressant, dans ce contexte, que Reichenbach se penche sur le cas des paradoxes qui émergent dans le développement des théories mathématiques. Car, les paradoxes ne sont finalement « résolus » que par des changements de définition des objets mathématiques, ou par des changements dans la forme donnée à la coordination entre les objets.¹⁰²

Quoi qu'il en soit la coordination dans le cas de la connaissance physique ne peut pas être définie abstraitement comme une application bi-univoque :

It should be noticed that the concept of uniqueness used in this context is quite different from that used in the context of our set-theory examples. In set theory we called a coordination unique if to every element of one set it coordinated always one and the same element of the other set, independently of the manner in which the required coordination was carried out. For this purpose, the elements of the other set must also be defined ; it

102Ce développement pourrait conduire, pourquoi pas, à la distinction entre deux types de paradoxes : ceux que l'on peut résoudre par un changement de coordination (ce seraient les paradoxes « faibles ») ; et ceux que l'on ne peut résoudre que par un changement de définition – c'est-à-dire en réalité en se privant d'un objet mathématique (apparemment) contradictoire – ce seraient les paradoxes « forts », comme le paradoxe de Russell, qui ne peut se résoudre qu'en excluant par définition l'objet « ensemble élément de lui-même ».

must be possible to determine whether or not a given element is the same as a previously coordinated one.¹⁰³

Dans une coordination physique (une coordination « cognitive » comme l'appelle l'auteur), cela n'est pas possible :

Such a determination is not possible for reality. The only fact that can be determined is whether two numerical values derived from two different measurements are the same. We cannot know whether a coordination with this result always refers to the same element in the real world. The question is therefore meaningless ; but if the values obtained by the measurements are consistently the same, then the coordination possesses that property which we call truth or objective validity. Therefore, we define : *Uniqueness* of a cognitive coordination means that a physical variable of state is represented by the *same value* resulting from *different empirical data*.¹⁰⁴

À nouveau la définition de Reichenbach nous embarrasse : « *l'univocité* d'une coordination concernant la connaissance physique, signifie qu'une variable d'état physique est représentée par la *même valeur* résultant de *données empiriques différentes* ». Ce qu'il faut comprendre, à notre avis, peut s'exprimer de la sorte : lors de la confrontation d'une prévision théorique avec l'expérience (observation ou expérimentation), les résultats de deux « chaînes de raisonnement », ayant des origines empiriques, sont comparés ; la théorie prédit que tel nombre, ou tel ensemble de nombres, doit décrire le phénomène observé (la position d'une planète exprimée par un couple de nombres par exemple) ; l'observation, et toute la théorie des instruments d'observation, donne aussi un nombre, ou un ensemble de nombres. Ces nombres, dans le cas des grandeurs scalaires (ou ensemble de nombres dans le cas des grandeurs vectorielles), qui expriment une valeur de la même variable d'état (position, temps, pression, température, etc), s'ils sont compatibles¹⁰⁵, à la marge d'erreur près,

103 *Ibid*, pp. 44-45.

104 *Ibid*, p. 45.

105 Nous utilisons ici la notion de *compatibilité* pour décrire une relation d'égalité élargie. Ce que l'on compare ce ne sont jamais des nombres entre eux, mais des intervalles de nombre, un intervalle issu de la chaîne de raisonnement « théorique », et l'autre issu de la chaîne de raisonnement « expérimental ». Nous laissons ouvert, avec cette notion de compatibilité, les critères jugeant de l'accord entre les intervalles (l'un doit-il contenir strictement l'autre ? Un

indiquent l'univocité de la coordination opérée entre la théorie et l'expérience. S'ils ne sont pas compatibles, ils indiquent une incohérence résultant de la coordination.

Que signifie « position d'une planète à l'instant t » ? La coordination qui nous permet de donner un sens à cette expression ressemble à quelque chose de la sorte : la position d'une planète à l'instant t est l'ensemble de nombres obtenu en relevant les indications sur les graduations du télescope lorsque la planète est dans l'axe du viseur à l'instant t . La coordination est univoque si, et seulement si, dans tous les cas, pour tous les instants, et quelle que soit la méthode de mesure et d'observation utilisée, l'ensemble de nombres « théoriques » correspond à l'ensemble de nombres « expérimentaux » à la marge d'erreur prêt. La coordination n'est pas univoque dans le cas contraire.¹⁰⁶

L'expression « different empirical data », utilisée par Reichenbach, fait référence à ces deux ensembles de nombres, « théoriques » d'un côté, « expérimentaux » de l'autre. Et, en effet, même dans le cas d'un calcul théorique, le nombre obtenu n'est pas purement théorique, mais est authentiquement empirique, puisqu'il suppose généralement la mesure de la valeur d'une constante, et de la mesure de certaines conditions initiales (ainsi que l'auteur tente de l'expliquer dans le court passage qui suit¹⁰⁷).

recoupement partiel est-il suffisant ? etc.).

106Ce genre de développement est susceptible de recevoir les critiques et les améliorations qui constituent l'essentiel de l'apport de Carnap à l'empirisme logique.

107Ce passage est obscur. Le voici : « This definition does not assert that this variable of state must have the same value at every space-time point so long as all physical factors remain constant. Rather, the assumption that the four coordinates do not explicitly occur in the physical equations is included in the principle of causality. Even if this assumption were not satisfied, uniqueness would still hold. *Uniqueness does not concern the repetition of processes ; it merely requires that with respect to an individual process the value of the constants be completely determined by all factors, including in a given case, the coordinates. This requirement must be satisfied ; otherwise the numerical value of the variable of state cannot be calculated by a chain of reasoning and experience. Such a determination is expressed not only in the comparison of two equal events at different space-time points, but in the relation as well of quite different events by means of the connecting equations.* » (pp. 45-46). Nous soulignons.

10 - Reichenbach et la signification des constantes de la physique

Ainsi la critique par Reichenbach de la conception coordinationniste de la connaissance n'aboutit pas à un rejet de cette dernière, mais à une relativisation : on ne saurait voir, comme le pense Schlick, dans l'univocité de la coordination l'horizon indépassable de la connaissance vraie. Puisque pour la connaissance empirique, la preuve de cette univocité ne possède qu'un caractère empirique, l'exigence ne peut être considérée comme universelle : il se pourrait bien que la nature nous confronte à un phénomène pour la description mathématique duquel aucune coordination univoque n'est possible. Cela ne signifierait pas selon Reichenbach qu'aucune connaissance vraie n'est formulable à son propos, mais plutôt qu'il faudrait changer les critères de la connaissance vraie :

This assertion, once more, makes an assumption that cannot be proved : that a *unique* coördination will always be possible. Where does the definition of knowledge as *unique* coördination come from? From an analysis of the knowledge gathered up to now. Yet nothing can prevent us from eventually confronting experiences that will make a unique coordination impossible, just as experiences show us today that Euclidean geometry is no longer adequate. The requirement of uniqueness has a definite physical significance. It says that there are constants in nature; by measuring them in various ways, we establish their uniqueness. (p. 82)

La conception de la vérité défendue dans ce passage est en effet moins dogmatique que celle de Schlick. L'idée importante qu'il faut retenir – nous y reviendrons plus loin – est que les critères de vérités ne sont pas « transcendants » mais immanents au savoir tel qu'il se développe. Il s'agit là de l'une des affirmations les plus caractéristiques de l'épistémologie ouverte de Reichenbach.

Le dernier passage cité ajoute de plus une autre affirmation qui est caractéristique de Reichenbach (1920), et qui demeure difficilement compréhensible sans explications

supplémentaires. L'exigence d'univocité possède selon lui une signification physique : « elle signifie qu'il y a des constantes dans la nature » et qu'en « les mesurant de diverses manières, nous établissons leur univocité ».

Reprenons l'exemple schlickéen caractéristique des équations physiques de formes identiques, mais de « contenu » différent :

$$F_G = G \cdot (M_A \cdot M_B) / r^2 \quad \text{Loi de la gravitation générale}$$

$$F_C = C \cdot (q_A \cdot q_B) / r^2 \quad \text{Loi de Coulomb}$$

Formellement parlant les équations sont identiques :

$$k \cdot f(x_A, x_B, y) = z$$

où x_A, x_B sont des variables de même nature physique, y une variable de nature différente, f la fonction (ici $f(x_A, x_B, y) = (x_A \cdot x_B) / y^2$), z l'intensité de la force, et k un paramètre constant. En dehors de la dimension des grandeurs envisagées, la seule chose qui distingue empiriquement ces deux formules est la valeur de k , qui non seulement change le facteur de proportionnalité, mais en plus indique l'ordre de grandeur (l'échelle) auquel le phénomène pourra s'observer.¹⁰⁸

Ce que Reichenbach veut dire est simplement que tant que la constante n'est pas mesurée, l'équation physique demeure ambiguë, non-univoque : elle peut s'appliquer à des phénomènes de nature totalement différente (gravitationnels dans un cas, électriques dans l'autre). Son oubli du caractère dimensionnel des grandeurs et de leur différence à cet égard est excusable. Car certes, la

¹⁰⁸Les données du problème doivent être du même ordre de grandeur que la constante, sous peine de n'être pas observables avec les moyens qui permettent la mesure de cette constante.

masse d'un corps, et sa charge, ne sont pas des grandeurs directement comparables. Mais du point de vue de la mesure, il ne s'agit là que d'une différence d'unité, qui n'est que conventionnelle. Empiriquement parlant, il n'y a pas plus de différence entre plusieurs manières de mesurer la masse (ou la force gravitationnelle), qu'entre une manière de mesurer la masse et une manière de mesurer la charge (ou la force de Coulomb), sinon justement ce qui est indiqué par la constante, c'est-à-dire l'échelle (ou l'ordre de grandeur) à laquelle a lieu le phénomène. Le même instrument peut être utilisé, par exemple une balance à torsion, seule la différence d'amplitude des oscillations – ou les dimensions de l'instrument – nous informe sur l'origine gravitationnelle ou électrique des oscillations.

Seule la mesure de la constante permet d'éviter l'ambiguïté, et de rendre la coordination univoque. Si cette mesure n'était pas réalisée, les variables x_A et x_B pourraient indifféremment signifier la masse ou la charge, ou même ne pas faire de distinction entre les deux, entraînant des erreurs systématiques.

Si l'on devait se livrer à une « définition » telle que nous l'avons tentée plus haut dans le cas du concept de « position », il faudrait dire quelque chose de la sorte : l'intensité de la force gravitationnelle s'exerçant entre deux particules de masse m_A et m_B est représentée par le nombre que l'on obtient indirectement à partir de l'amplitude d'oscillation de la balance à torsion, lorsque la constante apparaissant dans l'équation possède un ordre de grandeur comparable. La « valeur » (et la dimension faudrait-il ajouter) de la constante constitue donc un élément central et *constitutif* de la coordination.¹⁰⁹

Voici un passage qui vient corroborer notre interprétation :

Every physical magnitude of state can be regarded as a constant for a class of cases, and every constant can be

¹⁰⁹Le critère « d'ordre de grandeur comparable » nous vient de l'analyse dimensionnelle, initiée par Bridgman, *Dimensional Analysis*. Cette analyse peut par exemple être effectuée dans le cas de la physique quantique, pour savoir si un phénomène est susceptible d'avoir un comportement quantique. Voir par exemple J.-M. Lévy-Leblond, Françoise Balibar, *Quantique*, Dunod, 2006.

regarded as a variable magnitude of state for another class. But how do we know that there are constants? It is very convenient to use equations in which certain magnitudes may be regarded as constants, and this procedure is certainly connected with the nature of human reason, which in this way arrives at an ordered system. But it does not follow that this procedure will always be possible. Let us assume, for instance, that every physical constant has the form: $C + ka$, where a is very small and k is an integer; let us add the probability hypothesis that k is usually small and lies perhaps between 0 and 10. For constants of the usual order of magnitude the additional term would be very small, and the current conception would remain a good approximation. But for very small constants – for example, of the order of magnitude of electrons – uniqueness could no longer be asserted.¹¹⁰ (p. 82-83)

La fin du passage témoigne d'un problème qui n'est pas développé : l'univocité de la coordination est-elle toujours assurée lorsque l'ordre de grandeur de la constante caractéristique du problème (du système) est de l'ordre de la plus petite grandeur mesurable avec les moyens disponibles ? L'incertitude sur les mesures dans ce domaine rend en effet l'univocité de la coordination hautement improbable.

Si l'on veut comprendre ce passage, il faut en effet supposer que Reichenbach est en train de parler de la marge d'erreur : la valeur C de la constante est connue (mesurable) avec une marge d'erreur de plus ou moins ka .

Une autre hypothèse est plus plausible. Reichenbach parle d'une certaine manière d'interpréter la théorie quantique. Le terme ka serait alors la mesure de la fluctuation de la valeur de la constante entre plusieurs mesures. Cette fluctuation ne doit pas être interprétée comme une « marge d'erreur », mais plutôt comme une incertitude irréductible causée par la nature même des phénomènes quantiques (à mettre en rapport avec l'interprétation dite des « variables cachées »).

On rejoint là un problème qui a aussi été signalé par Bridgman et qui contribue à la difficulté de définir les concepts de grandeur en physique : lorsque les constantes caractéristiques de

110H. Reichenbach, *TRAK*, pp. 82-83.

phénomènes (de systèmes) se trouvent à la limite du mesurable, il n'y a pas de garantie que les grandeurs utilisées dans les équations décrivant le phénomène conservent leur sens habituel. Dans ce cas, seule l'analyse opérationnelle (c'est-à-dire la redéfinition des grandeurs par les opérations de mesure plutôt que par des extrapolations théoriques) est significative, mais elle met alors en évidence une carence en lois empiriques.

Chez Reichenbach ce rôle joué par l'analyse opérationnelle est totalement assumé par l'analyse « logique ». L'incertitude causée par le caractère « borderline » de la constante n'est pas rejetée sur la nature (définition) des grandeurs physiques, comme chez Bridgman, mais est pris en charge par une probabilité qui caractérise la coordination :

We mentioned before that the uniqueness of the coördination cannot be ascertained; it is a conceptual fiction that is only approximately realized. A probability hypothesis must be added as a principle of coördination. This hypothesis defines when the measured values are to be regarded as values of the same magnitude; that is, it determines what is regarded as uniqueness in physics. However, if a probability hypothesis must be used after all, it can also differ just from that form which defines uniqueness. For the generalization of the concept of constant, we had to add a probability assumption; this assumption replaces the concept of uniqueness with regard to determining the definition. Certain assumptions of quantum theory may suggest such a generalization of the concept of coördination.¹¹¹

Lorsque Reichenbach affirme qu'à la coordination on doit indexer une probabilité, il le fait pour la même raison que Bridgman qui affirme que les concepts de grandeur perdent leur sens aux limites du mesurable. Mais Reichenbach, au lieu de faire peser le problème sur la définition des concepts de grandeur, fait peser la charge sur les chances que la coordination a d'être vraie.¹¹² Cependant l'auteur ne dit rien quand à la méthode pour assigner une probabilité à la coordination.

¹¹¹*Ibid*, p. 85.

¹¹²Cette interprétation de la probabilité de la coordination en termes de « chances » est de nous. Reichenbach ne se livre pas à cette interprétation.

Doit-elle être identique à l'incertitude sur la mesure de la constante caractéristique ? Quelle interprétation lui donner alors ? Celle-ci : la coordination a d'autant plus de chances d'être vraie que la mesure de la constante caractéristique est plus précise ?

11 - Reichenbach et la philosophie de la mesure

De nombreux métrologues (Campbell, Ellis, Palacios, Chang) s'accordent pour dire que la convergence numérique de deux opérations de mesure à des échelles qui se recoupent, ne constitue pas une condition suffisante pour affirmer que ces deux opérations de mesure sont des mesures de la même grandeur (cette condition est nécessaire, mais comme la convergence peut être fortuite, elle n'est certainement pas suffisante).

Une condition suffisante peut éventuellement être trouvée dans la nature de la constante qui relie les deux variables représentant les deux opérations de mesure différentes. D'après le théorème de Buckingham, il est toujours possible de relier deux grandeurs par un « produit de facteurs », dans lequel apparaît systématiquement une constante. Selon la nature de cette constante (particulière ou universelle) il est peut-être possible de dire si les deux opérations de mesure sont une mesure de la même grandeur.

Ce qui est intéressant, c'est que la « nature » de la constante n'est pas absolue. Elle dépend en partie du système d'unité choisi, donc dépend des conventions qui régissent le système métrique (et des principes constitutifs qui définissent ce qu'est une « grandeur physique », comme le principe de « la valeur unique » chez Chang).

Avec l'évolution de ce système métrique, une constante peut changer de statut¹¹³ ; ce qui

113J. M Lévy-Leblond, « On the conceptual nature of the physical constants », *La Rivista del Nuovo Cimento* (1971-1977) 7, n o . 2, 1977, pp. 187-214.

signifie que deux grandeurs apparentées peuvent cesser de l'être, ou inversement. Il se passe dans ce processus exactement la même chose que lorsque l'on change de principe constitutif : les raisons qui nous font considérer que deux opérations sont des mesures de la même grandeur, sont révisables sur la base de l'expérience et à travers la modification des principes constitutifs de la théorie.

Il nous semble que c'est ce phénomène que tente de décrire Reichenbach. Il tente d'imaginer une situation dans laquelle deux grandeurs, qui sont reliées par une constante fondamentale, changent de statut à partir du moment où la mesure de cette constante devient incertaine (à partir du moment où la valeur numérique de cette constante approche de l'intervalle d'incertitude).

Il existe donc une certaine forme d'anti-réalisme de la mesure chez Reichenbach. Cet anti-réalisme ne se réduit pourtant pas à un conventionnalisme de la mesure (tel qu'on peut le rencontrer chez Ellis par exemple¹¹⁴). Notre interprétation le rapprocherait plutôt d'un historicisme, tel qu'il est esquissé dans l'article de Lévy-Leblond déjà cité. Mais cet « historicisme » est chez Reichenbach, totalement implicite.

Flavia Padovani, dans son article, en s'appuyant sur la thèse de Reichenbach de 1916, semble suggérer qu'une interprétation conventionnaliste est possible :

Our direct measurement, explains Reichenbach, never points to the real quantity that we are supposed to find, but only to its function. In this sense, the resulting numerical value is the one that we have chosen as representative for the class of available measured values. So the problem is that of being able to determine which of these values is the "correct" one.¹¹⁵

L'objet de la mesure n'est donc pas pour Reichenbach de déterminer la « vraie valeur ». Le résultat d'une mesure implique toujours un choix à un moment donné du processus de mesure.

114 Brian Ellis, *Basic Concepts of Measurement*, Cambridge University Press, 1968.

115 F. Padovani, *op. cit.*, p. 44.

En fonction de quels principes ce choix doit-il s'élaborer ? Si l'interprétation conventionnaliste est possible, nous allons défendre l'idée que ce choix peut aussi être motivé par des considérations historiques.

12 - La méthode des approximations successives : empirisme, développement historique et anti-conventionnalisme

L'univocité de la coordination pour la connaissance physique n'est donc assurée que proportionnellement à l'incertitude de mesure de la constante caractéristique d'un système physique (ou d'un sous-ensemble théorique). Car il n'y a que lorsque la mesure de cette constante est précise et certaine que les concepts de grandeurs apparaissant dans les équations sont bien définis, c'est-à-dire, non ambigus. L'univocité de la coordination n'est donc pas une nécessité pour la connaissance, mais une simple approximation, et la reconnaissance de ce fait constitue une critique de la conception schlickéenne de la connaissance.

La réponse de Schlick à cette critique, mis-à-part la correspondance dont il sera question plus loin, apparaît dans la seconde édition de sa *Théorie Générale de la Connaissance*, dans une note à la fin de la section 40. Après la conclusion « Il n'y a pas de jugements synthétiques *a priori* », l'auteur ajoute la note suivante :

Dans son petit livre *Relativitätstheorie und Erkenntnis a priori*, Hans Reichenbach a exprimé l'opinion (qu'il ne maintient certainement plus aujourd'hui) selon laquelle ma théorie de l'univocité de la coordination en ce qui concerne la connaissance serait au fond un jugement synthétique *a priori* et que j'aurais ainsi inconsciemment endossé la partie erronée de la philosophie de Kant. Cette opinion est bien sûr totalement fautive, car mon explication de la connaissance et de la vérité au moyen du concept de coordination est une simple *définition*, et

donc à coup sûr un pur jugement analytique.¹¹⁶

Mais la réponse à la critique, est, comme on le voit, purement formelle. Il s'agit simplement d'éviter le reproche d'être plus kantien que Kant, ce qui étant donné le ton radicalement iconoclaste du livre de Schlick, est inacceptable pour le philosophe viennois, d'autant plus que la critique de Reichenbach est rhétoriquement très efficace. Si certes l'explication schlickéenne de la connaissance peut être conçue comme une simple et innocente définition, le livre de Reichenbach montre bien que cette définition, dans le cas de la connaissance physique, est inadéquate.

Le caractère approximatif de la coordination n'est en effet jamais identifié par Schlick, même s'il rejette clairement « tout espoir de parvenir à la certitude absolue dans la connaissance de la réalité ».¹¹⁷ Mais il y a plus grave. Malgré l'évocation des problèmes de l'induction dans la dernière section du livre, Schlick n'envisage jamais la possibilité que le critère de la vérité puisse être autre que l'univocité de la coordination. Or si cette univocité n'est même pas assurée pour la connaissance physique, il faut bien qu'il existe un moyen de généraliser ce critère afin qu'il puisse inclure les cas les plus polémiques, mais qui constituent tout de même des exemples de connaissance.

De ce point de vue, la philosophie de Reichenbach demeure descriptive, contrairement à la tentative ambitieuse de Schlick qui est normative. Le viennois entend donner les critères de la connaissance vraie, même s'il doit exclure pour cela des pans existants du savoir. Le berlinois est plus prudent : c'est seulement à partir de l'examen du savoir existant qu'une théorie générale de la connaissance peut être élaborée, et la théorie sera toujours inféodée à ce socle « empirique ». Ce n'est pourtant que la connaissance physique qui est l'objet de Reichenbach (peut-être la seule connaissance véritable pour un empiriste).

116M. Schlick, *TGC*, p. 511. Cette note est en réalité une réponse directe à la note n°27 de Reichenbach dans *TRAK*.

117*Ibid*, p. 511.

13 - Qu'est-ce qui limite formellement la connaissance ?

Dans le cas de la « connaissance » logico-mathématique, le facteur limitant est seulement le principe de contradiction : tant qu'une proposition n'engendre pas de contradiction au sein de l'ensemble dont elle fait partie, elle constitue une connaissance (ou, autrement dit, un théorème).

Mais pour la connaissance physique, y a-t-il autre chose qui limite la connaissance, en plus de la cohérence logique ? Oui, l'expérience. Kant pensait que ce qui est physiquement impossible constitue une impossibilité de raison ; c'est pourquoi selon lui les propositions synthétiques *a priori* étaient possibles, et même nécessaires. Et il ne pouvait pas concevoir que l'on puisse se tromper sur ce qui est physiquement possible ou impossible.

Pour un empiriste, au contraire, les seules propositions *a priori* qui existent sont les propositions logico-mathématiques, celles enrégimentées par le principe de non-contradiction. Dans le domaine physique, si le principe de non-contradiction est toujours roi, à son autorité s'adjoint celle de l'expérience. Est physiquement possible ce qui n'est pas contradictoire et qui est physiquement testable.

Or la connaissance physique doit bien commencer quelque part, en dehors des axiomes purement logiques ou mathématiques. Il lui faut pour cela poser un certain nombre de propositions, dont la compatibilité avec l'expérience devra être vérifié. Ces propositions sont des hypothèses.

Reichenbach, même en 1920, est fondamentalement d'accord avec cette idée. Mais cela ne le conduit pas à rejeter l'architecture qui constitue l'édifice de la connaissance selon Kant. Certes l'expérience peut nous conduire à la révision des principes initiaux (contrairement à ce que pensait

Kant, pour qui constitutif signifie nécessaire), mais ces principes ne peuvent avoir le statut de proposition *a posteriori*. Un empiriste comme Schlick est d'accord avec cette idée. Pour lui les principes physiques ne sont pas des propositions synthétiques *a priori*, ni de proposition *a posteriori*, ce sont, tout simplement des proposition analytiques.

Voilà le premier point de débat entre Schlick et Reichenbach : les principes de la physique (qui sont *a priori*, car ils ne sont pas directement vérifiables par l'expérience, et qui sont constitutifs du sens des concepts apparaissant dans les théories) sont-ils analytiques ou synthétiques ?

Il existe un autre point de discorde entre Schlick et Reichenbach sur le statut des principes de la connaissance. Est-il nécessaire que la connaissance soit définie par l'univocité de la coordination ? Reichenbach semble penser que Schlick ne peut pas envisager les choses autrement, que par conséquent il attache une forme de nécessité à cette définition, nécessité qui ressemble à la nécessité qui caractérise selon Kant les propositions synthétiques *a priori*. C'est pourquoi dans sa critique de Schlick il affirme que l'univocité de la coordination est la proposition synthétique *a priori* de Schlick. Schlick s'en défend en rappelant que selon lui il ne s'agit que d'une simple définition (c'est-à-dire d'une proposition analytique *a priori*). Il ne fait aucun doute que pour Schlick une définition est une proposition conventionnelle.

Ainsi le débat entre les deux philosophes semble en réalité se concentrer sur le sens qu'il faut attribuer à la nécessité, c'est-à-dire sur la différence entre une proposition analytique et une proposition synthétique. Un passage de Reichenbach est très éclairant sur ce point :

It is therefore not possible, as Kant believed, to single out in the concept of object a component that reason regards as necessary. It is experience that decides which elements are necessary. The idea that the concept of object has its origin in reason can manifest itself only in the fact that this concept contains elements for which

no selection is prescribed, that is, elements that are independent of the nature of reality. The arbitrariness of these elements shows that they owe their occurrence in the concept of knowledge altogether to reason. The contribution of reason is not expressed by the fact that the system of coördination contains unchanging elements, but in the fact that arbitrary elements occur in the system. This interpretation represents an essential modification compared to Kant's conception of the contribution of reason. The theory of relativity has given an adequate presentation of this modification.¹¹⁸

Le fait que les principes de coordination expriment des conditions *arbitraires* (mais *indispensables* pour la constitution de la connaissance) semble être, pour Reichenbach, une preuve de leur caractère synthétique.¹¹⁹ La nécessité n'est pas de raison ; elle est expérimentale. Mais la raison doit proposer des conditions à l'expérience, pour que cette dernière puisse les valider ou les invalider.

Ainsi, les éléments rationnels des théories ne sont pas de *invariants*. Les seules conditions limitatives possibles sont celles imposées par l'expérience (elles sont donc révisables car perfectibles, dans l'état actuel de nos connaissances). De là d'ailleurs vient la « relativisation » du concept d' *a priori* opérée par Reichenbach : « *a priori* » ne peut plus vouloir dire « nécessaire », car il n'y a rien de nécessaire si les conditions les plus fondamentales dérivent de l'expérience.

Le même fait est pour Schlick, une preuve du caractère analytique des principes. Ce sont selon lui de simples définitions conventionnelles.

La thèse de Reichenbach s'explique par le rejet du conventionnalisme géométrique de Poincaré. En voulant rejeter le conventionnalisme géométrique, Reichenbach rejette aussi le conventionnalisme métrique plus général.

118H. Reichenbach, *TRAK*, p. 88 – 89.

119Ils *pourraient* être différents ; ils ne sont donc pas de simples tautologies.

Voici le passage qui explique sa position sur ce problème :

Thus it is obviously not inherent in the nature of reality that we describe it by means of coordinates; this is the subjective form that enables our reason to carry through the description. On the other hand, the metric relations in nature have a certain property that holds our statements within certain limits. Kant's assertion of the ideality of space and time has been precisely formulated only in terms of the relativity of the coordinates. But we also notice that he asserted too much, for the metric furnished by human intuition does not belong to the admissible systems. If the metric were a purely subjective matter, then the Euclidean metric would have to be suitable for physics; as a consequence, all ten functions g_{mn} could be selected arbitrarily. However, the theory of relativity teaches that the metric is subjective only insofar as it is dependent upon the arbitrariness of the choice of coordinates, and that independently of them it describes an objective property of the physical world. Whatever is subjective with respect to the metric is expressed in the relativity of the metric coefficients for the domain of points, and this relativity is the consequence of the empirically ascertained equivalence of inertial and gravitational mass.¹²⁰

Rappelons ici la parabole des arpenteurs de Taylor et Wheeler¹²¹. Les auteurs imaginent une situation fictive dans laquelle une société apprend à prendre des mesures grâce à un système de coordonnées qu'elle vient de découvrir. Un certain nombre de conventions doivent être choisies pour permettre l'application du système à l'espace physique. Reichenbach rappelle de la même manière que la description de l'espace en termes de coordonnées n'est pas une nécessité : *a fortiori* les propriétés (mathématiques) de ces systèmes de coordonnées ne peuvent pas être considérées comme des propriétés de l'espace physique lui-même. Malgré tout une *description* de l'espace physique dans un langage mathématisée n'est pas possible sans ces systèmes et leurs propriétés.

D'un autre côté précise Reichenbach, la « nature » impose tout de même des contraintes sur les systèmes de coordonnées possibles ; ainsi en est-il par exemple de la « métrique fournie par

¹²⁰*Ibid*, pp. 90-91. À mettre en rapport avec *L'espace* de Carnap.

¹²¹Cette parabole est citée et commentée dans l'article de J.-M. Lévy-Leblond que nous avons cité un peu plus haut.

l'intuition humaine » (i.e. la géométrie euclidienne) qui ne fait pas partie des systèmes « admissibles », c'est-à-dire compatible avec les mesures empiriques.

Si cette géométrie euclidienne était adéquate, explique Reichenbach, il serait possible, au sein de la théorie de la gravitation générale, de choisir arbitrairement les valeurs des dix fonctions g_{mn} apparaissant dans les équations de champ. Or les valeurs de ces fonctions dépendent de la distribution de matière.

Les restrictions qu'imposent la nature à nos théories ne concernent donc pas seulement des lois empiriques. Elles s'étendent aussi à des principes plus généraux. La « nature » en effet, poursuit Reichenbach, fixe aussi la limite entre ce qui est possible et ce qui est impossible :

We are accustomed to perceive the occurrence of forces through their resistance to motion. We can just as well say: reality, also called a field of force, manifests itself in the fact that straight-line motion is impossible. It is a principle of the Einstein-Riemannian curvature of space that it makes the existence of straight lines impossible. "Impossible" must not be interpreted *technically*, as if merely a technical realization of a straight line by means of physical rods were impossible, but *logically*. Even the *concept* of straight line is impossible in Riemannian space. Applied to physics, this geometry implies that there is no point in searching for an approximation to a straight line by a physical rod; even *approximations* are impossible. Traditional physics also asserts that a celestial body entering a gravitational field adopts a curved path. But the theory of relativity asserts rather that it *does not make sense* to speak of straight lines in a gravitational field. This statement differs in physical content from that of the old view. The path of Einstein's theory has the same relation to the Newtonian path that a spatial curve has to a plane curve; Einstein's curvature is of a higher order than the Newtonian one.¹²²

Il faut remarquer ici que Reichenbach caractérise comme « logiques » les conditions que l'expérience impose à la théorie. Il est évident que le sens qu'il faut donner ici au mot « logique » ne correspond pas aux théories frégréenne, russellienne, wittgensteinienne ou encore schlickéenne de
122 *Ibid*, p. 99.

la logique. Reichenbach écrit bien que l'impossibilité du mouvement en ligne droite, est, au sein de la théorie de la relativité générale, une impossibilité *logique*, et non pas une impossibilité *physique*.

Cela signifie-t-il pour autant que le philosophe classe les principes physiques parmi les principes logiques (i.e. les principes analytiques *a priori*) ? Il ne semble pas que ce soit le cas puisqu'il prend la peine de préciser (et cette phrase est importante) : « This statement differs in physical content from that of the old view », le « contenu » de cette assertion (d'impossibilité) est différent. Une proposition possédant un contenu ne peut pas être analytique *a priori*. Nous pensons que Reichenbach développe ici une position originale sur la logique. Position qui sera toutefois abandonnée dans les ouvrages ultérieurs, comme nous le verrons bientôt, où l'auteur distingue bien la possibilité logique de la possibilité physique.

Quoi qu'il en soit cette affirmation de Reichenbach permet de conclure qu'il considère bien les principes de la physique comme des principes synthétiques possédant une « contenu » physique. Mais du fait de leur rôle constitutif, ils opèrent à l'intérieur de la théorie comme des principes logiques *a priori*.

14 - Les principes de coordination comme des principes de la connaissance

Cette conception originale des principes de la physique permet à Reichenbach de généraliser leur statut dans un mouvement très kantien reproduit ci dessous :

We are offering this presentation of the concept of object of the theory of relativity - which makes no claim to exhaust the epistemological content of the theory - in order to show the significance of constitutive principles. In contrast to particular laws, they do not say what is known in the individual case, but how knowledge is obtained ; they define the knowable and say what knowledge means in its logical sense. Thus far they are the

answer to the critical question: how is knowledge possible? By defining what knowledge is, they show the order rules according to which knowledge is obtained and indicate the conditions the logical satisfaction of which leads to knowledge. This is the logical sense of the word "possible" in the above question.¹²³

Jusque là Reichenbach se montre assez fidèle à Kant. Les principes les plus généraux de la théorie physique sont aussi les principes qui définissent selon quelle modalité la connaissance est possible. Ils sont en un sens une contrainte logique qui enrégimente la structure de la connaissance. Mais dans les phrases suivantes Reichenbach s'écarte de cette position kantienne pour mettre en place les thèses d'une position que nous pourrions appeler un *empirisme holiste* :

We understand that today's conditions of knowledge are no longer those of Kant's time, because the concept of knowledge has changed, and the changed object of physical knowledge presupposes different logical conditions. The change could occur only in connection with experience, and therefore the principles of knowledge are also determined by experience. *But their validity does not depend only upon the judgment of particular experiences, but also upon the possibility of the whole system of knowledge : this is the sense of the a priori.*¹²⁴

Non seulement, contrairement à ce qu'affirme la doctrine kantienne, les principes de la connaissance peuvent changer – en fonction des progrès de la connaissance elle-même. Mais de plus ce changement ne peut être motivé, affirme le philosophe, que par des raisons expérimentales. Cela a pour conséquence que les principes mêmes qui fixent la forme possible de la connaissance sont déterminés par l'expérience : l'expérience seule peut prescrire la forme possible de la connaissance. Et non pas la raison. Dans ce passage anti-rationnaliste Reichenbach se montre aussi anti-kantien. Cependant, comme l'explique l'auteur dans la dernière phrase citée, cela ne remet pas en cause la position aprioriste.

¹²³*Ibid*, pp. 103-104.

¹²⁴*Ibid*, pp. 103-104. Nous soulignons.

La validité de ces principes fondamentaux dépend en effet non seulement d'expériences particulières mais aussi de « la possibilité de tout le système de la connaissance », et c'est cela, écrit Reichenbach qui permet de dire que ces principes sont *a priori*.

Il ne faut toutefois prendre ici le mot « possibilité » dans le même sens que plus haut. La possibilité de tout le système de connaissance est garantie empiriquement : par exemple l'expérience est compatible avec le système théorique de la relativité Générale mais incompatible avec le système théorique de la physique classique. L'expérience ne valide pas les principes indépendamment les uns des autres, mais tous ensemble pris en système. Les principes particuliers n'ont donc pas nécessairement de lien direct avec le monde empirique. Remarquons-le, aux conventions près, la position de Reichenbach laisse la possibilité à plusieurs systèmes de coexister.

Nous pourrions pour aller plus loin nous poser la question de savoir si des contraintes purement logiques sont aussi à l'œuvre dans le processus de validation des principes. On pourrait penser par exemple que la non-contradiction est une de ces contraintes, et qu'elle est indépendante de l'expérience. Mais la position de Reichenbach est peut-être aussi plus forte : est-il envisageable de construire une connaissance empirique qui ne soit pas compatible avec le principe de contradiction ? Un jour verra-t-il l'avènement d'un système théorique compatible avec l'expérience dans lequel le principe de contradiction est nié ?

La formulation de Reichenbach laisse ouverte une telle possibilité. Cela est après tout compatible avec la phrase de Reichenbach selon laquelle « il n'y a pas de concept le plus général ». Cela a aussi pour conséquence que le principe de contradiction doit être tenu pour une proposition synthétique a priori – puisque s'il est révisable par l'expérience c'est que son contenu n'est pas purement analytique.

Cette conception est intéressante, puisqu'elle préfigure largement la position qui sera celle de Quine au début des années cinquante. Les critiques de ce dernier contre l'empirisme ne

s'appliquent donc pas au jeune Reichenbach.

La conséquence philosophique de tout cela est que la philosophie critique kantienne doit être abandonnée :

If it is true that the a priori principles of knowledge are only inductively determinable and can at any time be confirmed or disconfirmed by experience, traditional critical philosophy must be given up.¹²⁵

Et nous avons là un exemple de la manière dont des faits empiriques peuvent invalider une thèse philosophique. En toile de fond de cet empirisme particulier se dessine donc la thèse, ô combien positiviste, que les doctrines métaphysiques peuvent (et sont généralement) réfutées par l'expérience. Non parce qu'elle tomberait en dehors du domaine du savoir (comme Carnap tentera plus tard de le défendre) mais parce qu'elle possède le même statut que les principes fondamentaux de la connaissance.

Voilà pourquoi in fine le principe de l'univocité de la coordination n'est pas considéré par Reichenbach comme un principe absolu : ce principe est synthétique, il possède un contenu empirique non-nul et est donc révisable sur la base de l'expérience.

Y a-t-il, pour Reichenbach, des principes de la connaissance (des propositions non triviales) ayant un contenu empirique nul ? Cela pourrait bien être le point fondamental de divergence avec Schlick. Nous y reviendrons dans la section suivante consacrée à l'échange épistolaire entre les deux philosophes.

Tout en étant contraire à la doctrine kantienne traditionnelle, la philosophie de Reichenbach n'en est pas pour autant fidèle à l'empirisme sous sa forme classique. Nous avons déjà vu qu'il

¹²⁵*Ibid*, p. 93.

s'agissait d'un empirisme d'un genre particulier. Dans le passage suivant, Reichenbach se montre plus précis :

We want to show, however, that this view is distinct from an empiricist philosophy that believes it can characterize all scientific statements indifferently by the notion "derived from experience". Such an empiricist philosophy has not noticed the great difference existing between specific physical laws and the principles of coördination and is not aware of the fact that the latter have a completely different status from the former for the *logical construction* of knowledge. The doctrine of the a priori has been transformed into the theory that the logical construction of knowledge is determined by a special class of principles, and that *this logical function singles out this class, the significance of which has nothing to do with the manner of its discovery and the duration of its validity.*¹²⁶

Pour finir c'est l'ordre logique qui détermine chez Reichenbach si une proposition est *a priori* ou non, c'est-à-dire sa *fonction logique* au sein d'un système, et non pas sa nature particulière. Mais dans cette dernière phrase nous avons peut-être la relativisation la plus poussée du concept d'*a priori*. C'est en effet seulement la fonction logique des principes au sein du système, qui détermine leur statut a priori et non la durée de leur validité ou leur mode de découverte. Avec cette phrase le concept d'*a priori* est en réalité totalement détourné de son usage kantien. Le seul point commun avec la doctrine kantienne est que les principes que le philosophe de Königsberg reconnaissaient comme *a priori* jouaient aussi un rôle logique constitutif dans les théories (même s'il les croyait, par erreur, éternellement vrais et indépendants de l'expérience).

15 - L'analyse logique d'une théorie selon Reichenbach

¹²⁶*Ibid*, pp 93-94, Nous soulignons.

Une particularité notable de la philosophie de Reichenbach est la conception de l'analyse logique. À plusieurs reprises en effet, Reichenbach se réclame d'une méthode d'analyse logique. Pourtant il n'est jamais fait usage, comme chez Carnap, et comme dans les ouvrages ultérieurs des membres du Cercle de Vienne, de la logique formelle. Et il ne semble pas que cela soit dû à une inaptitude présumée de la logique, mais plutôt à une focalisation sur l'appareil mathématique et son rapport à la mesure. Il ne s'agit pas pour Reichenbach, comme pour Carnap, de déterminer le *sens* d'un prédicat théorique à partir du *sens* des prédicats d'un langage observationnel, mais plus simplement (et moins naïvement, aimerait-on dire) de rendre compte de la relation complexe qu'il existe entre un concept de grandeur physico-mathématique et les méthodes de mesure dont on dispose pour en évaluer la valeur dans des protocoles spécifiques.

De cette différence fondamentale découle la conception empiriste particulière qui est celle de Reichenbach, et que nous avons déjà esquissée. Pour Reichenbach, être empiriste ne signifie pas, comme au sens classique, dériver tous nos concepts de l'expérience, ni, comme au sens carnapien, construire le sens des concepts théoriques à partir de celui des concepts observationnels. Être empiriste, pour Reichenbach, se réduit simplement à l'exigence que la connaissance physique doit être justifiée expérimentalement ; non pas chaque proposition isolément, ni chacun des concepts qui les forment à part les uns des autres, mais chaque théorie dans son ensemble doit être confrontée à et validée par l'expérience.

À travers ce holisme de la justification (et non pas de la signification¹²⁷) l'empirisme de Reichenbach semble être dépouillé de tout ce qui en fait une position proprement philosophique. Et pourtant, entre les lignes, se dessine une conception originale de la structure des théories physiques, de la manière dont elles sont construites et reliées à l'expérience. Au centre de cette conception se trouve l'*analyse logique* telle que conçue par le philosophe de Berlin. Loin d'être une méthode formelle taillée sur mesure pour l'analyse du langage, il s'agit plutôt d'une réflexion sur le statut et le

¹²⁷Il est difficile de trouver des passages clairs de Reichenbach sur ce point.

rôle des principes au sein d'une théorie physique. Cette analyse se dit logique au sens où elle entend restituer à chaque proposition la place qui lui est propre dans l'édifice de la science, et selon le cas, montrer sa compatibilité ou son incompatibilité avec d'autres propositions constituant, par exemple, les systèmes philosophiques.

Par la mise en évidence de contradictions entre les théories physiques d'une part, et les systèmes philosophiques d'autre part, l'analyse logique a pour but de rejeter ces derniers, au profit des premières, fondées sur et vérifiées par l'expérience.¹²⁸ C'est d'ailleurs uniquement parce que les théories physiques sont vérifiées expérimentalement que la mise en évidence des contradictions peut se solder par le rejet des systèmes philosophiques, plutôt que de tout simplement s'ériger en apories physico-philosophiques. Cette option de l'aporie n'a d'ailleurs pas été sans partisan, puisque des philosophes comme Bergson, pour qui les principes des systèmes philosophiques constituent des évidences du sens commun, n'hésitent pas à pointer du doigt l'incapacité présumée des nouvelles théories physiques à rendre compte du réel de manière compatible avec ces principes préjugés inébranlables.¹²⁹

Cette préférence donnée à l'expérimentation sur l'évidence, conduisant au rejet et à la condamnation des systèmes philosophiques, n'est-elle pas caractéristique de l'empirisme ? Il s'agit bien pour Reichenbach, non de faire l'apologie de la méthode scientifique, mais bien de faire une critique – peut être radicale – de la philosophie traditionnelle. Le projet de l'épistémologue relève donc d'une démarche proprement philosophique, comme en témoigne d'ailleurs sa tentative maladroite de redonner un sens au concept d'*a priori*, sérieusement mis à mal par le positivisme.

Mais, plus qu'empiriste, la philosophie de Reichenbach en 1920, ne peut-elle pas plus exactement être qualifiée de positiviste ? C'est justement le rôle que Reichenbach entend faire jouer

¹²⁸C'est pourquoi dans *TRAK*, Reichenbach écrit que la philosophie kantienne est incompatible avec l'*expérience*, et non pas avec la *théorie* de la relativité, comme on l'aurait attendu d'un philosophe moins empiriste.

¹²⁹Voir par exemple le controversé *Durée et Simultanéité* de Bergson. Henri Bergson, *Durée et Simultanéité*, PUF, 1968.

à l'analyse logique qui nous permet de répondre par la négative. En réalité la philosophie du berlinois est authentiquement empiriste-logique. Non à la manière imposée par Carnap et Hempel plus tard, mais selon une façon beaucoup plus proche de ce que Duhem, par exemple, pouvait envisager dans son livre de 1906. Car si Reichenbach se livre bien à une critique de la philosophie, son projet n'est pas pour autant anti-philosophique, ou positiviste, car c'est une philosophie nouvelle qui est esquissée à la fin de l'ouvrage de 1920.

16 - Conclusion

La critique par Reichenbach de l'épistémologie coordinative de Schlick conduit donc aux positions suivantes.

La relation de coordination entre les équations mathématiques d'une théorie physique d'un côté, et les objets ou systèmes du réel empirique de l'autre, n'est pas une relation symétrique. Les systèmes physiques, selon Reichenbach, ne possèdent pas de définition indépendante des lois mathématiques de la théorie.

Or les lois mathématiques, et les concepts qu'elles définissent, ne sont pas des vérités éternelles, mais des généralisations empiriques, faillibles et perfectibles. Il en résulte que la définition même du réel physique est susceptible d'évoluer de paire avec la théorie physique. Selon Reichenbach, ce processus n'a pas de fin.

Mais contrairement à ce qui se passe dans la théorie kantienne de la connaissance, ce processus de correction n'affecte pas seulement le contenu des concepts synthétiques, mais la structure même de la connaissance. En effet, l'expérience peut conduire au rejet des lois ou des principes de la théorie qui sont les plus fondamentaux et qui fixent le cadre mathématique (la

métrique dans le cas de relativité Générale). Le changement de ces principes affecte ce qui est considéré comme logiquement possible ou impossible au sein d'une théorie.

Par exemple, au sein de la thermodynamique, le principe de la conservation de l'énergie est incompatible avec l'existence d'une machine à mouvement perpétuel. Par conséquent, une telle machine est « impossible » au sein du système de la thermodynamique. Si, pour des raisons empiriques (et ainsi que l'envisageait Schlick dans la section précédente) le principe de conservation de l'énergie venait à être insatisfaisant, les limites du physiquement possible et du physiquement impossible seraient à revoir.

Mais d'après Reichenbach un changement rationnel des principes fondamentaux n'est envisageable que par une approximation, ou une généralisation dirions-nous, des principes précédents. C'est ce qu'il appelle la méthode des approximations successives. Les limites du possible ne s'en trouvent donc jamais radicalement modifiées, mais évoluent plutôt selon des approximations successives.

Nous voyons que cela est particulièrement vrai dans le cas des concepts de grandeur tels que nous les avons étudiés dans la première partie. Ceux-ci, comme l'explique par exemple Hasok Chang, ne peuvent recevoir qu'une définition provisoire et perfectible. Ils ne s'enrichissent dans leur contenu que grâce à des approximations, des extrapolations, et des généralisations théoriques ardues. Il n'est enfin jamais possible d'avoir « fait le tour » de ces concepts métriques, car leur contenu est potentiellement (d'après leur représentation par des variables mathématiques) infini. Pour comprendre comment fonctionne la coordination de ce champ infini avec un nombre fini d'opérations de mesures, les analyses de Reichenbach sont précieuses.

Mais elles conduisent à relativiser le concept d'*a priori*. Par ailleurs, les principes et les définitions, ne peuvent plus apparaître, comme chez Schlick, comme de simples propositions

analytiques *a priori*, comme de simples conventions. Reichenbach explique qu'en raison de deux facteurs, cette dernière éventualité est impossible : premièrement ces principes possèdent un caractère constitutif qui les rend plus fondamentaux que des conventions, deuxièmement ils peuvent entrer en contradiction avec l'expérience (ce que ne peut pas une convention).

Or c'est justement ce point d'achoppement entre les deux philosophes qui constitue le centre de leur correspondance épistolaire que nous devons donc étudier dans la prochaine section.

II. C) La correspondance entre Schlick et Reichenbach

1 – Présentation de la correspondance.

Il nous semble nécessaire d'étudier cette correspondance¹³⁰ entre Schlick et Reichenbach, dans la mesure où elle concentre toutes les critiques et les réponses que les philosophes s'adressent. Pour certains commentateurs¹³¹, c'est à l'issue de cette correspondance que Reichenbach se serait rangé à une position conventionnaliste plus fidèle à celle de Schlick.

Il est en effet certain qu'à la suite de cette correspondance le jeune philosophe berlinois abandonne effectivement sa tournure de pensée néo-kantienne ainsi que sa position sur l'existence des principes synthétiques *a priori*. Nous aimerions pourtant montrer, à la suite de Flavia Padovani, que le changement de position de Reichenbach n'est pas si radicalement conventionnaliste.

Une lecture précise de la correspondance montre en effet qu'il ne se range pas au conventionnalisme sous la forme que défend Schlick. Reichenbach continue à penser que quelque chose de fondamental dirige le choix des principes. Nous tenterons de justifier cette interprétation grâce à l'analyse de certains passages des ouvrages postérieurs de Reichenbach, où la position conventionnaliste est contournée, parfois au prix de raisonnements très ardue.

¹³⁰Nous nous intéressons à cinq lettres échangées entre les deux philosophes. Les lettres de Reichenbach à Schlick sont disponibles sur le site suivant : <http://echo.mpiwg-berlin.mpg.de/content/modernphysics/reichenbach1920-22>. Les lettres de Schlick à Reichenbach nous ont été communiquées par les Archives Philosophiques de l'université de Constance. Nous remercions ici chaleureusement Brigitte Parakenings de nous les avoir communiquées. Les références des lettres de Schlick dans les archives sur Reichenbach sont les suivantes : Lettre du 25 sept. 1920 : HR-015-63-23. Lettre du 26 nov. 1920 : HR-63-22. Lettre du 11 dec. 1920 : HR-63-19.

¹³¹Voir par exemple Coffa, J. A., *The semantic tradition from Kant to Carnap: To the Vienna station*, Cambridge University Press, 1991.

Et, comme nous le verrons dans la troisième partie, les positions les plus élaborées de Carnap, à partir des années trente, se rapprochent beaucoup plus de celles de Reichenbach que de celles de Schlick.

La correspondance entre les deux philosophes s'étale sur plusieurs années. Seules les lettres de la fin de l'année 1920 nous intéressent. Ces lettres sont les premières que les deux philosophes échangèrent. Schlick initie la correspondance pour répondre aux critiques que Reichenbach lui adresse dans son livre de 1920.

La première lettre est adressée à Reichenbach par Schlick le 25 septembre 1920. Visiblement impressionné, Schlick transmet ses compliments et annonce une prochaine lettre plus étoffée où il reviendra sur les points qui lui semble les plus contestables.

Dans sa réponse, datée du 17 octobre 1920, Reichenbach se réjouit de l'avis positif de son aîné. Il dit attendre avec empressement sa critique plus détaillée. Il semble conscient que l'un des points de désaccord réside dans l'attitude tenue vis-à-vis de Kant puisqu'il écrit : « Car si vous vous empressez de réfuter Kant, mon intention était plutôt de le sauver des Kantiens ».¹³² Cependant les deux épistémologues paraissent d'emblée se positionner sur un champ commun et affirment leur volonté de parvenir à une conception objective à travers le débat : « Car je crois comme vous, que la philosophie a à voir avec la connaissance, où, comme en physique, on peut arriver à un éclaircissement et un accord par l'investigation scientifique ».¹³³

La troisième lettre de la correspondance, la deuxième que Schlick adresse à Reichenbach, datée du 26 novembre 1920, est en effet beaucoup plus étoffée, et est constituée de six pages dactylographiées. Elle retiendra toute notre attention puisque l'auteur y revient sur tous les points

¹³²Lettre 2, « Denn wenn es Ihnen darauf ankam, Kant zu widerlegen, so war es mehr meine Absicht, ihn vor den Kantianern zu retten ».

¹³³Lettre 2, « Denn ich glaube wie Sie, dass die Philosophie es mit Erkenntnissen zu tun hat, über die man wie in der Physik durch wissenschaftliche Untersuchung zu einer Aufklärung und Einigung kommen kann ».

importants de l'ouvrage de Reichenbach (les deux sens de l'*a priori*, la place à accorder à la position de Poincaré, le statut de la géométrie euclidienne, le statut des conventions dans un système formel, la critique des « principes de coordination synthétiques *a priori* », la valeur qu'il faut accorder à l'univocité comme critère de vérité, etc.).

Dans la quatrième lettre, constituée de sept pages dactylographiées datées du 29 novembre 1920, Reichenbach présente sa défense face aux critiques de Schlick. Il s'agit là de l'acmé de la correspondance (alors que le premier échange de lettre avait été espacé de presque un mois, ici Reichenbach ne met que trois jours à répondre). Il y explique clairement pourquoi il appelle ses principes de coordination des principes synthétiques *a priori*, et non pas, ainsi que le voudrait Schlick, des conventions. Il répond à toutes les critiques en se rangeant toutefois, la plupart du temps, à l'avis du « maître ».

Dans la cinquième lettre de l'échange – datée du 11 décembre 1920, deux pages dactylographiées – Schlick revient à la charge sur les points qui n'ont pas encore été acceptés par Reichenbach. Il somme son cadet d'abandonner le terme de principe *a priori* et d'adopter celui de convention, car « rien ne s'oppose à la conservation du terme »¹³⁴. Il s'appuie pour étayer cette affirmation sur une interprétation – discutable – de la philosophie de Poincaré. Puis il revient sur la question de l'univocité, et nie tout simplement la pertinence de la critique de Reichenbach.

Il faut s'imaginer que Reichenbach fût convaincu par l'argumentation de Schlick puisque ses ouvrages ultérieurs prennent acte, au niveau du vocabulaire employé tout du moins, des critiques. Faut-il pour autant penser que les critiques de Schlick sont justifiées ? Un empirisme historique cohérent n'aurait-il pas pu surgir des idées originales de Reichenbach ?

On l'aura compris, la correspondance entre les deux philosophes aura surtout pour but de montrer à Reichenbach l'impertinence de sa critique. Schlick en profitera pour montrer au jeune

¹³⁴Lettre 5, « Der Beibehaltung des Terminus steht also m.E. nichts im Wege ».

Reichenbach que sa conception pêche par son idéalisme. Non pas au sens où Reichenbach se rendrait coupable « d'hypostasier une chose-en-soi », ou (plus grave) de se livrer à une analyse transcendantale de la connaissance, mais au sens où il « confond l'objet et le concept ».

Ce n'est pas en effet l'*objet* physique qui est défini à travers les principes de coordination, mais seulement le *concept* de l'objet physique. Le caractère constitutif des principes ne se rapporte pas aux objets du réel, mais aux concepts de nos théories. Portant uniquement sur les concepts, à la manière d'une définition, ils sont analytiques et *a priori*. L'erreur du jeune Reichenbach, reconnaissant dans les principes de coordination des propositions synthétiques, provient donc du fait qu'un principe constitutif se rapportant à des objets ne peut être que synthétique – et cela quand bien même les objets ne seraient pas définis autrement par ailleurs. D'une certaine manière il s'agit presque là de la réhabilitation de l'idée de substance, que Reichenbach critique pourtant de manière radicale :

Thus has been abandoned the traditional concept of substance used by Kant, a concept according to which substance was a metaphysical substratum of things about which only changes could be observed. Epistemologically, there is no difference between the assertion of Thales of Miletus that water is the ultimate constituent of things and the traditional concept of substance; a more advanced physics merely substituted hydrogen or the helium atom for water. Advancing physical discoveries were not able to change the epistemological concept, only its specific content. It was Einstein's change of the *coördinating principles* that affected the *concept* of reality. His theory must not be confronted with the question: What is real? Is it the electron? Is it radiation? This way of putting the question includes the traditional concept of substance and merely asks a new content for it. That something exists manifests itself in the dependency relations between the metric coefficients; since we can discover these relations by means of measurements - and only by means of them - we can discover the real. It is the essence of the general theory of relativity that the metric is much more than a mathematical measurement of bodies; it is the form by means of which the body is described as an element in the material world¹³⁵

135H. Reichenbach, *TRAK*, pp. 101-102.

Il est facile de voir, à travers cet extrait, que Reichenbach pense réellement que les principes de coordination véhiculent une ontologie.¹³⁶ Il affirme en effet que seul un changement des principes de coordination a été à même d'éliminer la catégorie ontologique de substance de la physique contemporaine. Ainsi Reichenbach les considère bien comme des principes constitutifs *de la réalité*, et non pas simplement comme des *concepts*, au sens où il prescrivent les catégories à travers lesquelles le réel doit être appréhendé.

2 – Principes synthétiques *a priori* ou conventionnels ?

L'une des raisons pour lesquelles Schlick initie la correspondance est la suivante : il veut comprendre pourquoi Reichenbach considère ses principes de coordination comme des principes synthétiques *a priori*, et non pas comme de simples conventions (c'est-à-dire des principes analytiques *a priori*) ?

Formulé de la sorte le problème est ambigu car Reichenbach insiste énormément sur le caractère *a priori* des principes, mais beaucoup moins sur leur caractère synthétique. Son ambition est surtout de montrer que les principes de coordination sont *a priori* au deuxième sens (constitutifs du concept d'objet) mais pas au premier sens (universellement vrais ou nécessaires). Et sur ce point là, Schlick et Reichenbach sont parfaitement d'accord¹³⁷.

Les deux correspondants sont aussi d'accord sur le fait que Kant n'aurait pas considéré ces principes de coordination comme des principes *a priori*, puisqu'en effet ces principes peuvent

¹³⁶Mais certes pas une ontologie classique, constituée d'objets.

¹³⁷Ainsi que le prouve le début de la lettre 3 où Schlick reconnaît la nécessité de principes constitutifs : « Pour moi, le présupposé de principes constitutifs de construction est tellement évident que, surtout dans la *Théorie générale de la connaissance*, je ne l'ai pas souligné assez fortement [...] Il est clair que la perception devient une "observation" ou même une "mesure" uniquement en raison de la présupposition de certains principes par lesquels le concept d'objet observé ou mesuré est construit. ».

changer selon le progrès de la science. Mais Schlick pense que ces principes sont de pures « conventions » ou « hypothèses ».¹³⁸ C'est-à-dire, selon la théorie qu'il développe dans la *Théorie Générale de la Connaissance*, des principes analytiques *a priori*.

Or Reichenbach semble réticent à reconnaître que les principes de coordination soient des conventions ou des hypothèses : « Par conséquent, je ne peux pas accepter le nom de «Convention». »¹³⁹

Où se situe donc la ligne de désaccord entre les deux philosophes ? Il y a, à ce stade, plusieurs hypothèses possibles. Soit le désaccord est purement terminologique, l'un utilise le terme « convention », et l'autre l'expression « principe constitutif *a priori* », pour désigner dans tous les cas des propositions analytiques *a priori*. Soit le désaccord est réel et Reichenbach entend désigner véritablement par son expression, des principes *synthétiques a priori*.

L'alternative est rapidement tranchée puisque Reichenbach affirme noir sur blanc dans la lettre 4 qu'il considère qu'un tel principe véhicule une « connaissance synthétique »¹⁴⁰. Quelle est la justification de cette affirmation ? Si de tels principes sont synthétiques, pour Reichenbach, c'est parce qu'ils expriment une véritable *connaissance*, alors qu'une convention n'exprime qu'une propriété arbitraire d'un système de principes. Quel est alors le contenu de cette connaissance ? Voici l'explication de Reichenbach :

Bien que plusieurs systèmes de principes soient possibles, un seul ensemble (groupe?) de système de principes est possible; et dans cette limitation il y a une connaissance. Tout système possible, dans sa possibilité, est une propriété de la réalité. Je [remarque que] Poincaré manque de mettre l'accent sur le fait que l'arbitraire des principes est limité, et que les principes sont combinés. [...] En outre, nous ne sommes jamais sûrs que nous n'aurons pas demain à séparer deux principes – que nous mettons maintenant côte à côte comme des principes

138Lettre 3, « Es bestehen ja aber außerdem noch die beiden Möglichkeiten, daß jene Prinzipien Hypothesen oder daß sie Konventionen sind. ».

139Lettre 4, « Darum kann ich den Namen "Konvention" nicht annehmen. ».

140Lettre 4.

II. C) LA CORRESPONDANCE ENTRE SCHLICK ET REICHENBACH

constitutifs, et qui sont tous deux selon Poincaré des conventions – à cause de nouvelles expériences. De sorte que l'alternative entre les deux conventions apparaît comme une connaissance synthétique.¹⁴¹

Ce sont donc deux caractéristiques différentes (mais reliées) qui permettent aux principes *a priori* d'exprimer, selon Reichenbach, une connaissance véritable. Nous allons voir qu'il est cependant très difficile de reconstruire une position cohérente à partir des explications insuffisantes de Reichenbach.

(Le fait que deux systèmes de principes soient incompatibles, constitue pour Reichenbach une connaissance synthétique. Qu'est-ce que cela signifie ? Cela signifie que l'incompatibilité mise en évidence n'est pas purement logique, mais intègre des éléments empiriques.)

Premièrement, à chaque étape du développement d'une théorie, un certain nombre de systèmes de principes sont possibles (souvent seulement deux – c'est le cas avec la physique relativiste et la physique classique incluant des déformations). Mais ces systèmes de principes appartiennent à l'ensemble des systèmes possibles, qui lui est limité (le système des principes de la physique newtonienne, et les principes de la philosophie de Kant, ne sont par exemple, plus possibles). Cette exclusion exprime, selon Reichenbach, une connaissance, car elle dessine, dans le champ de ce qui est réel (mais pas encore connu), une possibilité¹⁴². Plus brièvement : que l'ensemble des systèmes de principes délimite ce qui est possible ou non, constitue pour Reichenbach, une connaissance – et non une hypothèse ou une convention.

141Lettre 4, « Sie fragen mich, warum ich meine Prinzipien a priori nicht Konventionen nenne. Ich glaube, über diese Frage werden wir uns sehr leicht einigen. Obgleich mehrere Systeme von Prinzipien möglich sind, ist doch immer nur eine Gruppe von Prinzipien-Systemen möglich; und in dieser Einschränkung liegt eben doch ein Erkenntnisgehalt. Jedes mögliche System besagt in seiner Möglichkeit eine Eigenschaft der Wirklichkeit. Ich vermisse bei Poincaré eine Betonung, dass die Willkürlichkeit der Prinzipien eingeschränkt ist, sowie man Prinzipien kombiniert. Darum kann ich den Namen "Konvention" nicht annehmen. Auch sind wir nie sicher, dass [wir] nicht zwei Prinzipien, die wir heute nebeneinander als konstitutive Prinzipien bestehen lassen und die also beide nach Poincaré Conventionen sind, morgen wegen neuer Erfahrungen trennen müssen, sodass zwischen beiden Konventionen die Alternative als synthetische Erkenntnis auftritt. Ich gehe wohl nicht fehl, wenn ich annehme, damit Ihre Meinung ebenso zu treffen. ».

142Remarquons que dans ce raisonnement succinct, Reichenbach semble supposer que le « réel » n'est connaissable qu'à travers des suppositions sur ce qui est possible.

Deuxièmement, poursuit Reichenbach, puisque l'expérience peut nous conduire à réviser nos principes, et à séparer deux principes qui auparavant était liés, l'alternative entre les deux principes exprime une connaissance synthétique. Ici le passage n'est pas clair, mais un autre passage permet de l'éclairer. Plus haut dans sa lettre le philosophe écrit : « Parfois, je pense aussi que le contenu scientifique de la science n'existe que dans de telles alternatives, et dans le développement progressif de la formation d'alternatives toujours de plus en plus plus étroites »¹⁴³. Autrement dit, l'alternative que l'expérience impose entre deux systèmes de principes (qui peuvent – remarquons-le au passage – ne différer que par un seul principe) apparaît à Reichenbach comme l'expression d'une connaissance synthétique.

Le raisonnement implicite semble être le suivant. L'alternative elle même n'est pas un principe. Mais elle peut être représentée comme une proposition exprimant la disjonction exclusive des deux (ensembles de) principes. Or il est difficile de voir comment la disjonction pourrait être une proposition synthétique sans que les principes, pris individuellement, soient des propositions synthétiques. Or la disjonction est synthétique. Donc les principes sont synthétiques. Il n'est toutefois pas certain que ce soit cela que Reichenbach ait voulu exprimer. (Reichenbach considère-t-il que la synthéticité d'une proposition répond au principe d'extensionnalité?).

La réponse de Schlick à cette argumentation laborieuse est que, contrairement à ce que croit Reichenbach, Poincaré partage la position que les principes conventionnels ne peuvent se formuler qu'au sein d'un système. Selon Schlick, Poincaré semble partager le holisme des principes : « Si Poincaré n'a pas expressément souligné que les conventions ne sont pas possibles indépendamment les unes des autres, mais ne sont possibles que d'une manière groupée par système, on aurait bien

143Lettre 4, « Manchmal dachte ich auch so der Erkenntnisgehalt der Wissenschaft besteht überhaupt nur in derartigen Alternativen, und die fortschreitende Entwicklung in der Aufstellung von immer mehr und immer engeren Alternativen. ».

sûr tort de croire qu'il n'était pas au courant de cette circonstance ». ¹⁴⁴ Mais il ne le dit nulle part dans ses écrits.

La remarque de Schilck est pourtant incomplète. Schlick en effet prouve seulement, par l'intermédiaire de l'autorité de Poincaré, que rien ne s'oppose à l'utilisation du terme « convention » pour désigner des principes qui n'ont de sens que de manière holiste. Il ne tranche cependant pas la question de savoir si ces « conventions » sont des principes analytiques ou synthétiques. Pour Poincaré les conventions sont-elles nécessairement des propositions analytiques ? Cela n'est pas certain.

C'est ici que se concentre tout le problème. Quel est le statut des conventions ?

Une réponse à cette question est proposée par Einstein, dans un passage que nous allons reproduire à la fin de cette section.

3 – L'univocité de la coordination comme critère de la vérité est-elle un principe synthétique ou analytique ?

Le débat sur le statut de l'univocité est complexe. Il est considérablement obscurci par l'exemple des constantes développé par Reichenbach.

L'idée de Reichenbach est, comme nous l'avons déjà expliqué, d'identifier la possibilité d'une coordination univoque en physique, à l'existence d'une constante mesurable dans les systèmes physiques concernés par les lois en question. Exprimée de cette manière, l'exigence d'univocité possède le caractère d'une proposition empirique, car, comme le dit le jeune philosophe, on ne peut jamais être certain qu'une telle constante pourra être mesurée. Comprise de cette manière, l'exigence

¹⁴⁴Lettre 5, « Wenn Poincare nicht ausdrücklich betont hat, daß Konventionen nicht voneinander unabhängig, sondern immer nur gruppenweise möglich(sind), so würde man ihm natürlich doch sehr unrecht tun, wollte man glauben, er sei sich dieses Umstandes nicht bewußt gewesen. ».

d'univocité ne peut jamais être, ainsi que l'affirme Schlick, une proposition analytique *a priori*.

L'exemple de Reichenbach de la constante de la forme $C + ka$, est censée mettre en évidence un tel cas de non-univocité. Il existe des systèmes physiques dans lesquels la constante est si petite qu'elle est du même ordre de grandeur que l'incertitude de mesure : dans de tels cas l'univocité ne peut plus être assurée.

Que pense Schlick de cette argumentation ?

La réponse de Schlick est en substance la suivante : si jamais il arrive que de tels cas se présentent (ceux où la constante est si petite) alors il n'est plus possible de parler de *connaissance* physique. (cf pp. 18, 19 et 20)

Il faut distinguer ici deux possibilités. Si la mesure n'est pas assez fine pour assurer l'univocité ce peut être pour deux raisons. Premièrement parce que les instruments *disponibles au moment de l'expérimentation* ne sont pas assez précis. Dans ce cas la réponse de Schlick est censée.

Mais il pourrait y avoir une limitation théorique à la possibilité de la mesure. Dans ce cas il pourrait être intéressant, comme le défend Reichenbach, de continuer à parler de connaissance physique, même si l'univocité ne peut pas être assurée. Schlick semble rejeter ce cas comme non pertinent : « Que dans un monde où une telle coordination n'est pas possible, il peut devenir pratique de définir un concept de connaissance d'une manière différente [sans l'univocité]- cette question n'a guère à nous inquiéter. »¹⁴⁵.

(Ironie du sort, ce cas de figure se présentera quelques années plus tard lors de la progressive formulation de la théorie quantique)

Mais, ainsi que le lui fait remarquer Reichenbach dans sa réponse, cette question doit nous inquiéter. Car il ne s'agit pas de savoir comment définir le concept de connaissance à un temps t . Mais de donner une idée de ce que doit pouvoir être la connaissance dans n'importe quel cas :

145Lettre 3 : « Ob es in einer Welt, in der eine solche Zuordnung nicht möglich ist, praktisch werden kann, einen Erkenntnisbegriff auf andere Weise zu definieren — diese Frage braucht uns kaum zu beunruhigen. ».

« Même votre concept de vérité ne peut que signifier : notre système de connaissances positives présent utilise l'univocité comme critère de vérité (ou définition). Considérer cela comme une conséquence pour toute connaissance ultérieure, je le considère injustifiée. »¹⁴⁶. Cela serait en effet, conformément à ce que dit Reichenbach, faire la même erreur que Kant, et prétendre faire correspondre toute la connaissance possible à la seule connaissance actuelle, et le justifier en se reposant sur une hypothétique « invariabilité de la raison ».

Pour clore le débat Schlick explique que selon lui, les cas de défaut d'univocité ne peuvent être considérés que comme des cas d'absence de connaissance (et non des cas, comme le voudrait Reichenbach, où il y a une connaissance réelle, sans univocité) : « même maintenant, les cas de manque d'univocité que vous avez mentionnés me paraissent des exemples typiques de l'inconnaissable »¹⁴⁷.

Schlick commet-il ici une pétition de principe ? Cela est difficile à déterminer, car ainsi qu'il le dit lui-même la question confine à une querelle de termes : si jamais des cas de non-univocité devaient être découverts, serait-il encore possible de parler de connaissance ? La réponse serait positive pour Reichenbach, et négative pour Schlick, mais il est certain alors qu'ils n'utiliseraient pas le même concept de connaissance.

4 – Examen critique des arguments

A propos des conventions. Il faut ici distinguer, en suivant le raisonnement de Schlick, deux

146Lettre 4 : « Auch Ihr Wahrheitsbegriff kann doch nur heissen: unser positiv vorliegendes System der Erkenntnis benutzt die Eindeutigkeit als Wahrheitskriterium (bzw. Definition). Daraus eine Folgerung auf jede spätere Erkenntnis zu ziehen, halte ich für unberechtigt. »

147Lettre 5, « auch jetzt noch erscheinen mir die von Ihnen angeführten Fälle fehlender Eindeutigkeit als typische Beispiele des Unerkennbaren ».

problèmes. Il y a un réel problème épistémologique, et un problème terminologique.

Le problème épistémologique est le suivant : Est-il vrai que, lors de la construction d'une théorie physique, les principes nécessaires pour assurer l'univocité de la coordination ne peuvent être formulés que tous ensemble, de manière holiste ? Cette question demande tout simplement s'il y a réellement quelque chose (la raison, l'intuition, la logique, la simplicité ...) qui nous *contraint* à formuler les principes collectivement.

Le problème terminologique se résume à ceci : si la réponse au problème épistémologique est positive, alors comment *désigner* cet ensemble de principes que l'on ne peut formuler indépendamment les uns des autres ? Sont-ce des principes synthétiques *a priori* ou bien de simples conventions ou définitions, analytiques *a priori* ? La réponse dépend en réalité de la nature que l'on prête à la *contrainte* mentionnée dans le paragraphe précédent. D'ailleurs Schlick lui-même reconnaît que ce qu'il réduit à un « problème terminologique » repose en réalité sur une question épistémologique bien réelle puisqu'il affirme que : « C'est une énorme différence que les principes constructifs soient fondés sur une convention ou sur une loi immanente de l'intuition et de la raison ». ¹⁴⁸

On comprend alors très bien l'origine du désaccord entre les deux philosophes. Pour Schlick, c'est le principe de simplicité (ou principe du minimum de concepts comme il aime à l'appeler) qui nous contraint au choix d'un ensemble ou d'un autre de principes de coordination. Or selon Schlick ce principe est un principe logique : « La vraie économie de pensée (le principe du minimum de concepts) est un principe *logique*, il concerne les relations des concepts entre eux ». ¹⁴⁹ Il ne peut en aucun cas, donc, constituer une connaissance.

Et c'est bien cela que conteste Reichenbach. Premièrement il n'a pas l'air convaincu que le

148Lettre 5, « Es ist eben ein riesiger Unterschied, ob die konstruktiven Prinzipien auf Konvention oder auf einer immanenten Gesetzlichkeit der Anschauung und Vernunft, beruhen ».

149M. Schlick, *TGC*, p. 158. Cette affirmation est bien évidemment contestable. Comment définir la simplicité en termes purement logiques ?

principe d'économie, même reformulé par Schlick, soit véritablement un principe logique, puisqu'il suggère dans la quatrième lettre qu'il pourrait s'agir d'un principe *pratique* :

le système favorisé par la physique n'est pas «plus vrai» que les autres, mais vraiment plus pratique; puisque l'on ne peut pas découvrir toutes les alternatives, on se limite à la poursuite de la théorie la plus simple selon l'économie réelle de la pensée. Alors le principe d'économie ne serait pas logique mais pratique.¹⁵⁰

Cette objection pourtant ne remet pas en cause le caractère conventionnel du principe. Sans tenter de développer cette thèse instrumentaliste et pragmatique venons en au cœur du problème. Selon Reichenbach ce n'est tout simplement pas un quelconque principe de simplicité qui détermine le choix entre les systèmes de principes :

La physique choisit pourtant [une] solution et je dois admettre ouvertement que je ne suis pas tout à fait sûr de savoir comment le justifier, même si je suis d'accord avec mon sens physique. Vous, et Poincaré, diriez, en raison de la simplicité; [...] Mais j'ai une forte méfiance à l'égard de ce concept. Pour le moment, je pense qu'il est plus sûr d'analyser exactement à partir de quels principes individuels (par exemple, relativité, approximation idéale, etc.) on établit une décision particulière. Selon lequel le choix est réalisé ici, je ne le sais pour l'instant tout simplement pas. Le principe de simplicité n'est pas assez clair pour moi, et il ne me semble pas univoque.¹⁵¹

Pour Reichenbach il est tout à fait possible que le choix entre les systèmes de principes ne

150Lettre 4 : « Dann ist das von der Physik bevorzugte System nicht "wahrer" als die andern, sondern wirklich nur praktischer; da man doch nicht alle Alternativen ausfindig machen kann, beschränkt man sich auf die Verfolgung der einfachsten Theorie aus wirklicher Denkökonomie. Dann wäre das Oekonomieprinzip kein logisches, sondern ein praktisches. ».

151Lettre 4, « Die Physik wählt allerdings die erste Entscheidung, und ich muss Ihnen offen zugeben, dass ich nicht recht weiss, wie ich das begründen soll, so sehr ich mit meinem physikalischen Gefühl derselben Meinung bin. Sie, und Poincaré, würden sagen, um der Einfachheit halber; und Sie haben in Ihrem Buche dieses Prinzip sehr schön von dem Oekonomieprinzip der Positivisten als ein logisches Prinzip geschieden. Aber ich habe ein starkes Misstrauen gegen diesen Begriff. Ich halte es vorläufig für sicherer, genau zu analysieren, um welcher Einzelprinzipien willen (z.B. Relativität, approximierbares Ideal usw.) man eine bestimmte Entscheidung wählt. Nach welcher Rangordnung hier entschieden wird, weiss ich vorläufig einfach nicht. Mir ist das Einfachheitsprinzip nicht klar genug formulierbar, und es erscheint mir nicht eindeutig. ».

repose pas sur le (méta)principe de simplicité. Ce choix reposerait plutôt, dirions-nous, sur la pertinence des principes, pris individuellement. En ce sens la théorie relativiste pourrait être préférée à une théorie classique incluant des déformations, car la première constituerait un cas plus exemplaire d'*approximation successive* que la seconde. Par ailleurs Reichenbach semble toucher juste lorsqu'il affirme que le principe de simplicité ne lui semble pas univoque ; existe-t-il en effet un critère objectif de simplicité autre que pratique ?

L'appel qui est fait dans ce passage au « sens physique » (*physikalischen Gefühl*) semble d'ailleurs être une indication. Tout en rappelant des passages centraux de *La théorie physique* de Duhem, cette indication permet de penser que Reichenbach percevait la contrainte imposée sur le choix d'un système non pas de manière purement logico-conventionnelle (comme Schlick le voudrait) mais plutôt comme fondée sur un sens interne, constitué à la fois par la pratique du physicien, et par une certaine manière d'envisager la raison.

Il est intéressant, d'ailleurs, de tenter de comprendre pourquoi Reichenbach ne parle pas ici (pas plus que ne le fait Duhem) d'*intuition*. N'oublions pas que ce concept (et la faculté qui lui correspondrait) a été critiqué de manière virulente par Schlick dans la *TGC*. L'empirisme, tel qu'il se développe au début du XX^{ème} siècle, veut tout simplement éliminer ce concept. Reichenbach – et les nombreuses pages de ses ouvrages consacrées à la *représentation* des géométries en témoignent – est d'accord avec cette critique. Pourquoi alors réintroduire ce concept flou de « sens physique » ? Nous verrons dans la dernière partie, comment, grâce à Duhem, nous pouvons rendre ce *sens* compatible avec une philosophie empiriste.

Quoi qu'il en soit, qu'il nous soit permis de conclure que selon Reichenbach le prétendu principe de simplicité semble bien trop arbitraire, et que le choix d'un système de principes semble reposer sur quelque chose de plus profond, quelque chose que l'on peut désigner, à la suite de Duhem, comme le « sens physique ». Malheureusement la correspondance ne nous permet pas de

comprendre ce que Reichenbach entend exactement par ce terme.

5 – Les ouvrages ultérieurs

The Philosophy of space and time (1928)

La longue analyse de Reichenbach, dans *The Philosophy of Space and Time*, qui précède la conclusion sur la relativité de la géométrie, en introduisant la distinction (purement spéculative) entre les « forces différentielles » et les « forces universelles », pourrait être comprise comme une tentative pour rendre compte de la relativité de la géométrie *sans* utiliser de recours à la simplicité.

Ce livre de Reichenbach est aussi en quelque sorte, anti-conventionnaliste. En fait, il fait reposer la géométrie physique sur une convention primordiale : les « forces universelles » doivent être considérées comme égales à zéro, afin de préserver l'univocité de la géométrie.

Il faut bien faire la différence entre « relativité de la géométrie » et « conventionnalisme ». Le conventionnalisme affirme que la question de la géométrie n'est pas empirique. La relativité de la géométrie affirme que plusieurs descriptions de la géométrie physique sont compatibles avec les résultats expérimentaux.

From conventionalism the consequence was derived that it is impossible to make an objective statement about the geometry of physical space, and that we are dealing with subjective arbitrariness only ; the concept of geometry of real space was called meaningless. This is a misunderstanding. Although the statement about geometry is based upon some arbitrary definitions, the statement itself does not become arbitrary : once the

definitions have been formulated, it is determined through objective reality alone which is the actual geometry.¹⁵²

L'article de 1949 : « The philosophical Significance of the Theory of Relativity »

La position de Reichenbach dans l'article « The philosophical Significance of the Theory of Relativity », paru dans le volume de A. Schlipp sur Einstein, est un bon résumé de sa philosophie de la physique. Il y marque de manière claire son abandon définitif de la position aprioriste qu'il défendait en 1920 : « In other words, the synthetic principles of knowledge which Kant had regarded as *a priori* were recognized as *a posteriori*, as verifiable through experience only and as valid in the restricted sense of empirical hypotheses ». ¹⁵³

Pourtant il s'écarte toujours d'un conventionnalisme à la Poincaré. Reichenbach est donc toujours d'accord avec les raisons pour lesquelles il écrivait en 1920 que les principes de la relativité étaient synthétiques *a priori*, et pourtant révisables par l'expérience. Il abandonne seulement, à notre avis, le concept d'*a priori*. Ainsi que le fait Carnap, comme nous le verrons dans la partie suivante.

Le début de son argumentation est en effet plus conforme à ce que proposait Schlick. Certaines propositions des théories physiques ne sont ni des axiomes logiques, ni des propositions empiriques : « The logical basis of the theory of relativity is the discovery that many statements, which were regarded as capable of demonstrable truth or falsity, are mere definitions. »¹⁵⁴. Et la vision coordinative des théories physiques est immédiatement mise en place :

152H. Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time*, Dover, 1958, pp. 36-37.

153H. Reichenbach, « PSTR », p. 307.

154Ibid, p. 293.

II. C) LA CORRESPONDANCE ENTRE SCHLICK ET REICHENBACH

The definitions employed for the construction of space and time are of a particular kind: they are co-ordinative definitions. That is, they are given by the co-ordination of a physical object, or process, to some fundamental concept. For instance, the concept "equal length" is defined by reference to a physical object, a solid rod, whose transport lays down equal distances. The concept "simultaneous" is defined by the use of light-rays which move over equal distances. The definitions of the theory of relativity are all of this type; they are co-ordinative definitions.¹⁵⁵

Contrairement à ce qu'il affirmait en 1920, il suit ici une ligne plus fidèle au conventionnalisme de Schlick, puisqu'il écrit que les définitions de coordination sont « arbitraires ». Par ce mot, il ne faut bien sûr pas entendre que les définitions peuvent se formuler n'importe comment, mais qu'elles sont l'ouvrage de la raison seule : elles ne sont pas déterminées par l'expérience :

Definitions are arbitrary ; and it is a consequence of the definitional character of fundamental concepts that with the change of the definitions various descriptive systems arise. But these systems are equivalent to each other, and it is possible to go from each system to another one by a suitable transformation. Thus the definitional character of fundamental concepts leads to a plurality of equivalent descriptions. [...] All these descriptions represent different languages saying the same thing; equivalent descriptions, therefore, express the same physical content.¹⁵⁶

Différents systèmes physiques, empiriquement équivalents, mais formulés sur la base de définitions de coordination différentes, peuvent donc être construits. Ils sont, précise l'auteur, comme autant de langage exprimant la même chose, le même contenu physique.

Dès lors, pour un physicien en possession de systèmes empiriquement équivalents, comment doit s'opérer le choix entre les systèmes ? Lequel préférer ? Poincaré et Schlick prétendaient que

¹⁵⁵*Ibid*, p. 294.

¹⁵⁶*Ibid*, p. 295.

c'était le système le plus « simple » qu'il fallait choisir, tout en ne donnant pas le même sens au concept de simplicité. Pour Reichenbach, au contraire, et en restant fidèle à la position défendue dans la correspondance de 1920, la simplicité ne peut pas représenter un critère de choix entre deux systèmes physiques empiriquement équivalents :

Some confusion has arisen from considerations referring to the property of simplicity. One descriptive system can be simpler than another; but that fact does not make it "truer" than the other. The decimal system is simpler than the yard-foot-inch system; but an architect's plan drawn in feet and inches is as true a description of a house as a plan drawn in the decimal system. A simplicity of this kind, for which I have used the name of descriptive simplicity, is not a criterion of truth. [...] For instance, the fact that non-Euclidean geometry often supplies a simpler description of physical space than does Euclidean geometry does not make the non-Euclidean description "truer."¹⁵⁷

Ce rejet de la simplicité comme critère de choix est à mettre en rapport avec le rejet du conventionnalisme à la Poincaré. Pour Reichenbach, la géométrie à utiliser pour décrire l'espace physique ne relève pas d'un choix conventionnel, mais dépend des définitions de coordination qui ont été retenues. Par opposition à la position conventionnaliste, Reichenbach dénomme cette position la « relativité de la géométrie » : « Instead of speaking of conventionalism, therefore, we should speak of the relativity of geometry. »¹⁵⁸. La position « relativiste » permet en effet de conserver une épistémologie empiriste :

Another confusion must be ascribed to the theory of conventionalism, which goes back to Poincaré. According to this theory, geometry is a matter of convention, and no empirical meaning can be assigned to a statement about the geometry of physical space. Now it is true that physical space can be described by both a Euclidean and a non-Euclidean geometry; but it is an erroneous interpretation of this relativity of geometry to

¹⁵⁷*Ibid*, p. 296.

¹⁵⁸*Ibid*, p. 297.

II. C) LA CORRESPONDANCE ENTRE SCHLICK ET REICHENBACH

call a statement about the geometrical structure of physical space meaningless. The choice of a geometry is arbitrary only so long as no definition of congruence is specified. Once this definition is set up, it becomes an empirical question *which* geometry holds for a physical space. For instance, it is an empirical fact that, when we use solid bodies for the definition of congruence, our physical space is practically Euclidean within terrestrial dimensions.¹⁵⁹

La géométrie décrivant l'espace-temps est donc relative, mais cela ne l'empêche pas de posséder un contenu empirique bien réel : « the plurality of equivalent description does not rule out the possibility of true empirical statements. »¹⁶⁰. De cela il résulte que la question de la géométrie adéquate à la description de l'espace physique est bien une question empirique :

it is the combined statement of geometry and co-ordinative definitions which is empirical. But, if the statement about the geometry of the physical world is empirical, geometry describes a property of the physical world in the same sense, say, as temperature or weight describe properties of physical objects. When we speak of the reality of physical space we mean this very fact.¹⁶¹

Ce fait est selon Reichenbach, une preuve contre la doctrine kantienne de l'espace. Expliquons un peu ce point. Reichenbach ne prétend pas que la relativité de la géométrie disqualifie directement l'apriorisme kantien. Il montre plutôt qu'il est impossible de conserver à la fois une compréhension classique de l'espace physique – selon laquelle l'espace physique est euclidien – et une compréhension classique de la causalité – selon laquelle il ne peut pas y avoir des « anomalies causales ». Selon Reichenbach en effet, la théorie de la relativité générale exclu la possibilité de conserver à la fois une géométrie euclidienne et un principe classique de causalité. Un kantien se retrouverait donc face à un dilemme insoluble pour lui : soit conserver une description euclidienne

¹⁵⁹*Ibid*, p. 297.

¹⁶⁰*Ibid*, p. 299.

¹⁶¹*Ibid*, p. 303.

de l'espace et rejeter le principe de causalité, soit garder le principe de causalité et rejeter la vision kantienne de l'espace comme structuré par une intuition pure :

if Einstein's hypothesis of a closed universe is correct, a Euclidean description of the universe would be excluded for all adherents of a normal causality.

It is this fact which I regard as the strongest refutation of the Kantian conception of space. The relativity of geometry has been used by Neo-Kantians as a back door through which the apriorism of Euclidean geometry was introduced into Einstein's theory: if it is always possible to select a Euclidean geometry for the description of the universe, then the Kantian insists that it be this description which should be used, because Euclidean geometry, for a Kantian, is the only one that can be visualized. We see that this rule may lead to violations of the principle of causality; and since causality, for a Kantian, is as much an *a priori* principle as Euclidean geometry, his rule may compel the Kantian to jump from the frying pan into the fire.¹⁶²

Ce dilemme conduit naturellement à rejeter l'apriorisme kantien. Puisque, selon l'auteur, tant le principe de causalité, que la doctrine kantienne de l'espace sont des éléments *a priori* dans le système de Kant. Il n'est alors pas possible de conserver ce dernier. Ce processus de « dissolution de l'*a priori* », qui se développe au cours du XIX^{ème} siècle, trouve sa fin, pour le philosophe empiriste, avec la formulation définitive de la théorie de la relativité générale :

It is this process of a dissolution of the synthetic a priori into which we must incorporate the theory of relativity, when we desire to judge it from the viewpoint of the history of philosophy. A line which began with the invention of non-Euclidean geometries 20 years after Kant's death runs uninterruptedly right up and into Einstein's theory of space and time. The laws of geometry, for 2000 years regarded as laws of reason, were recognized as empirical laws, which fit the world of our environment to a high degree of precision ; but they must be abandoned for astronomic dimensions.¹⁶³

¹⁶²*Ibid*, pp. 298-299.

¹⁶³*Ibid*, pp. 307-308.

Enfin l'auteur termine par un manifeste empiriste que nous nous permettons de reproduire en entier afin d'anticiper la réponse d'Einstein à cet article de Reichenbach. Contrairement à ce que prétend Einstein dans cette réponse (comme nous le verrons plus bas), à aucun moment Reichenbach n'adhère à une quelconque théorie vérificationniste de la signification :

It is the philosophy of empiricism, therefore, into which Einstein's relativity belongs. It is true, Einstein's empiricism is not the one of Bacon and Mill, who believed that all laws of nature can be found by simple inductive generalizations. Einstein's empiricism is that of modern theoretical physics, the empiricism of mathematical construction, which is so devised that it connects observational data by deductive operations and enables us to predict new observational data. Mathematical physics will always remain empiricist as long as it leaves the ultimate criterion of truth to sense perception. The enormous amount of deductive method in such a physics can be accounted for in terms of analytic operations alone. In addition to deductive operations there is, of course, an inductive element included in the physics of mathematical hypotheses; but even the principle of induction, by far the most difficult obstacle to a radical empiricism, can be shown today to be justifiable without a belief in a synthetic a priori. The method of modern science can be completely accounted for in terms of an empiricism which recognizes only sense perception and the analytic principles of logic as sources of knowledge. In spite of the enormous mathematical apparatus, Einstein's theory of space and time is the triumph of such a radical empiricism in a field which had always been regarded as a reservation for the discoveries of pure reason.

The process of the dissolution of the synthetic a priori is going on. To the abandonment of absolute space and time quantum physics has added that of causality; furthermore, it has abandoned the classical concept of material substance and has shown that the constituents of matter, the atomic particles, do not possess the unambiguous nature of the solid bodies of the macroscopic world. If we understand by metaphysics the belief in principles that are non-analytic, yet derive their validity from reason alone, modern science is anti-metaphysical. It has refused to recognize the authority of the philosopher who claims to know the truth from intuition, from insight into a world of ideas or into the nature of reason or the principles of being, or from whatever super-empirical source. There is no separate entrance to truth for philosophers. The path of the philosopher is indicated by that of the scientist: all the philosopher can do is to analyze the results of science,

to construe their meanings and stake out their validity. Theory of knowledge is analysis of science.¹⁶⁴

La position d'Einstein

Nous reproduisons ci-dessous, en guise de conclusion, la réponse d'Einstein à l'article de Reichenbach « The Philosophical Significance of the Theory of Relativity » paru dans la livre de Schlipp.

Now I come to the theme of the relation of the theory of relativity to philosophy. Here it is Reichenbach's piece of work which, by the precision of deductions and by the sharpness of his assertions, irresistibly invites a brief commentary. Robertson's lucid discussion also is interesting mainly from the standpoint of general epistemology, although it limits itself to the narrower theme of "the theory of relativity and geometry." To the question: Do you consider true what Reichenbach has here asserted, I can answer only with Pilate's famous question: "What is truth ?"

Let us first take a good look at the question: Is a geometry - looked at from the physical point of view - verifiable (viz., falsifiable) or not? Reichenbach, together with Helmholtz, says: Yes, provided that the empirically given solid body realizes the concept of "distance." Poincaré says no and consequently is condemned by Reichenbach. Now the following short conversation takes place:

Poincaré : The empirically given bodies are not rigid, and consequently can not be used for the embodiment of geometric intervals. Therefore, the theorems of geometry are not verifiable.

¹⁶⁴*Ibid*, pp. 309-310.

Reichenbach : I admit that there are no bodies which can be *immediatdy* adduced for the "real definition" of the interval. Nevertheless, this real definition can be achieved by taking the thermal volume-dependence, elasticity, electro- and magneto-striction, etc., into consideration. That this is really [and] without contradictiot: possible, classical physics has surely demonstrated.

Poincaré : In gaining the real definition improved by yourself you have made use of physical laws, the formulation of which presupposes (in this case) Euclidean geometry. The verification, of which you have spoken, refers, therefore, not merely to geometry but to the entire system of physical laws which constitute its foundation. An examination of geometry by itself is consequently not thinkable. Why should it consequently not be entirely up to me to choose geometry according to my own convenience (i.e., Euclidean) and to fit the remaining (in the usual sense "physical") laws to this choice in such manner that there can arise no contradiction of the whole with experience?

(The conversation cannot be continued in this fashion because the respect of the [present] writer for Poincaré's superiority as thinker and author does not permit it; in what follows therefore, an anonymous non-positivist is substituted for Poincaré.)

Reichenbach : There is something quite attractive in this conception. But, on the other hand, it is noteworthy that the adherence to the objective meaning of length and to the interpretation of the differences of co-ordinates as distances (in pre-relativistic philosophy) has not led to complications. Should we not, on the basis of this astounding fact, be justified in operating further, at least tentatively, with the concept of the measurable length, as if there were such things as rigid measuring-rods? In any case it would have been impossible for Einstein *de facto* (even if not theoretically) to set up the theory of general relativity, if he had not adhered to the objective meaning of length. Against Poincaré's suggestion it is to be

pointed out that what really matters is not merely the greatest possible simplicity of the geometry alone, but rather the greatest possible simplicity of all of physics (inclusive of geometry). This is what is, in the first instance, involved in the fact that today we must decline as unsuitable the suggestion to adhere to Euclidean geometry.

Non-Positivist: If, under the stated circumstances, you hold distance to be a legitimate concept, how then is it with your basic principle (meaning = verifiability)? Do you not have to reach the point where you must deny the meaning of geometrical concepts and theorems and to acknowledge meaning only within the completely developed theory of relativity (which, however, does not yet exist at all as a finished product)? Do you not have to admit that, in your sense of the word, no "meaning" can be attributed to the individual concepts and assertions of a physical theory at all, and to the entire system only insofar as it makes what is given in experience "intelligible?" Why do the individual concepts which occur in a theory require any specific justification anyway, if they are only indispensable within the framework of the logical structure of the theory, and the theory only in its entirety validates itself?

It seems to me, moreover, that you have not at all done justice to the really significant philosophical achievement of Kant. From Hume Kant had learned that there are concepts (as, for example, that of causal connection), which play a dominating rôle in our thinking, and which, nevertheless, cannot be deduced by means of a logical process from the empirically given (a fact which several empiricists recognize, it is true, but seem always again to forget). What justifies the use of such concepts? Suppose he had replied in this sense: Thinking is necessary in order to understand the empirically given, *and concepts and "categories" are necessary as indispensable elements of thinking*. If he had remained satisfied with this type of an answer, he would have avoided scepticism and you would not

have been able to find fault with him. He, however, was misled by the erroneous opinion - difficult to avoid in his time - that Euclidean geometry is necessary to thinking and offers *assured* (i.e., not dependent upon sensory experience) knowledge concerning the objects of "external" perception. From this easily understandable error he concluded the existence of synthetic judgments *a priori*, which are produced by the reason alone, and which, consequently, can lay claim to absolute validity. I think your censure is directed less against Kant himself than against those who today still adhere to the errors of "synthetic judgments *a priori*."

I can hardly think of anything more stimulating as the basis for discussion in an epistemological seminar than this brief essay by Reichenbach (best taken together with Robertson's essay).

What has been discussed thus far is closely related to Bridgman's essay, so that it will be possible for me to express myself quite briefly without having to harbor too much fear that I shall be misunderstood. In order to be able to consider a logical system as physical theory it is not necessary to demand that all of its assertions can be independently interpreted and "tested" "operationally" *de facto* this has never yet been achieved by any theory and can not at all be achieved. In order to be able to consider a theory as a *physical* theory it is only necessary that it implies empirically testable assertions in general.

This formulation is insofar entirely unprecise as "testability" is a quality which refers not merely to the assertion itself but also to the co-ordination of concepts, contained in it, with experience. But it is probably hardly necessary for me to enter upon a discussion of this ticklish problem, inasmuch as it is not likely that there exist any essential differences of opinion at this point.

Permettons-nous de commenter un peu cette réponse d'Einstein, pourtant déjà si claire. Le désaccord entre Reichenbach (empiriste) et Poincaré (conventionnaliste) se résume à notre avis, à la question de la validité d'un raisonnement prenant en compte une approximation dans un processus de mesure.

La question du corps rigide qui peut ou non servir de référence concentre en effet le problème. Selon Reichenbach, la physique classique permet de considérer, avec une approximation suffisante, et étant donné les corrections nécessaires, que la règle est rigide. Il faudrait, en effet, dans le cas contraire, faire l'hypothèse d'une « force universelle », comme il l'a expliqué dans son livre de 1928.

D'un autre côté nous avons montré, avec Chang, qu'il était possible de faire progresser la physique et l'instrumentation en utilisant un minimum de théorie. Et même lorsque cette théorie est abondamment utilisée (comme cela est nécessaire afin de s'approcher d'une règle de mesure rigide), elle ne sert pas à se valider elle-même. Elle participe à son propre dépassement. Nous avons montré que ce dépassement peut avoir lieu de manière rationnelle. La critique qu'Einstein fait prononcer à Poincaré est donc surmontable.

Utiliser la physique classique pour « étalonner » ses instruments, n'engage pas à considérer les résultats de mesure comme des preuves du caractère irréfutables des principes et lois de la physique classique. Il est tout à fait possible de « réfuter » la géométrie euclidienne à l'aide d'instruments construits d'après des principes reposant sur la physique euclidienne. C'est cela que veulent montrer Reichenbach et Chang, en suivant deux voies différentes.

Mais dans ce processus de « correction » (comme le dit Chang), il faut tout de même faire quelques hypothèses, admettre certains principes. Mais ces principes sont, prétendent ces auteurs, d'un autre statut que les principes de la physique. C'est le cas du principe de la valeur unique chez Chang, et du principe qui consiste à éliminer les « forces universelles », ou encore le principe de

probabilité chez Reichenbach. Ces principes ne sont pas des conventions – ils ont quelque chose de plus fondamental, de plus constitutif, sans eux, les raisonnements ne pourraient pas aboutir. Ils ne sont pas non plus des principes logiques, ils ne sont ni tautologiques (analytiques) ni nécessairement vrais. C'est pourquoi Chang les tient pour révisables sur la base de l'expérience. Pour Reichenbach, cela est plus complexe. Il reconnaît le fait que l'expérience puisse entrer en contradiction avec un principe fondamental, contradiction de laquelle il est possible de sortir par un « processus d'approximation successive ». Mais le principe de probabilité, étant le plus fondamental de tous, ne peut pas être dépassé, ainsi que l'explique Flavia Padovani, qui montre qu'il existe une hiérarchie au sein des principes de coordination.

Cela pose la question suivante : Reichenbach affirme dans son ouvrage de 1920 qu'il n'y a pas de concept le plus général ; comment rendre cette idée compatible avec la thèse que le principe de probabilité est fondamental et indépassable ?

Conclusion de la partie II

Il est donc intéressant de voir l'œuvre de Reichenbach comme une tentative d'éviter le conventionnalisme, tout en se tenant à l'écart d'un rationalisme néo-kantien. L'avantage d'une telle position est qu'elle laisse une place primordiale à l'évolution historique des théories : elle propose une explication au progrès rationnel des principes.¹⁶⁵ Elle demeure aussi parfaitement fidèle à l'empirisme nouveau, puisque les changements fondamentaux ne peuvent être motivés que par des raisons expérimentales.

Mais elle demeure obscure sur le statut exact des principes constitutifs. Il faudrait être plus précis, il faut parler du *système des principes constitutifs*, car seul le système en intégralité peut recevoir un statut non ambigu.

Peut-être serait-il utile ici de résumer les positions que Reichenbach veut éviter :

Premièrement Reichenbach veut éviter un conventionnalisme à la Poincaré, qui ne tient compte, finalement, que du principe de relativité Restreinte. Une des conséquences du principe de relativité Générale est que la métrique est une question empirique.

Deuxièmement il faut éviter un conventionnalisme à la Schlick. Pour Schlick, toutes les conventions sont comme des définitions, analytiques et *a priori*. Ce type de conventionnalisme est sujet à la même critique que le précédent.

Troisièmement il faut éviter la position néo-kantienne, telle qu'elle est défendue par

¹⁶⁵Il serait à cet égard intéressant de comparer les positions de Reichenbach aux constructions du philosophe Imre Lakatos.

exemple par Cassirer. La sélection des principes ne peut pas être déterminée par la raison seule, fût-elle historique. L'expérience seule doit décider.

Enfin Reichenbach rejette aussi très explicitement la position empiriste classique qui prétend dériver les principes – même les plus fondamentaux – de l'expérience. Pour Reichenbach les principes, dans leur formulation, ne sont pas dérivés de l'expérience. Mais l'expérience constitue, une fois qu'ils sont formulés, le critère de validation.

On voit difficilement alors en quoi le modèle de Reichenbach se distingue d'un modèle déductif-nomologique. En réalité le savant, selon Reichenbach, n'est pas parfaitement libre dans le choix de ses hypothèses. Il est en effet contraint par les hypothèses fondamentales des théories précédentes, et doit en formuler des approximations pour donner les fondements de la théorie nouvelle.

Ce besoin de formuler les nouveaux principes à partir de l'approximation des anciens principes est lié, selon nous, à la nécessité qu'a le savant de se conformer au « principe de respect » et celui de « conformité sémantique » des concepts de grandeur qu'a identifié Hasok Chang. Si une continuité sémantique n'était pas nécessaire entre deux théories successives, la méthode des approximations successives de Reichenbach serait inutile.

Cette remarque nous permet d'ailleurs de formuler une critique à l'égard de la thèse kuhnienne de l'incommensurabilité des théories scientifiques.

De là vient aussi probablement la distinction opérée par Reichenbach entre le contexte de découverte et le contexte de justification. Il faut voir dans cette distinction une volonté de sauver l'empirisme : si l'origine d'un principe peut n'être pas empirique, sa justification l'est nécessairement.

Mais avant qu'un principe ne soit posé, aucune vérification n'est possible, puisqu'il n'y a

pas de théorie. C'est en ce sens que les principes sont constitutifs. Sans eux les expériences et les observations n'ont aucun sens. Mais ces mêmes expériences et observations peuvent conduire à les réviser. Comment cela est-il possible ? Cela est possible car la définition des concepts métriques ne se déduit pas intégralement des principes. Si, en effet il y avait une dérivation directe possible des concepts métriques à partir des principes, une seule expérience négative mettrait à bas toute la connaissance. Or, si la signification des concepts métriques n'est que partiellement déterminée par les principes, une raison expérimentale peut tout à fait justifier une transition sémantique, il suffit pour cela que le nouveau principe possède un noyau commun avec l'ancien. Ce noyau commun assure la continuité sémantique des concepts métriques.

C'est en partant de cette idée que Carnap va développer la plupart des ses théories à partir de son livre de 1934 sur la syntaxe logique du langage. C'est l'objet de la prochaine section que d'examiner comment on retrouve cette idée dans les œuvres de Carnap à partir de 1934.

À peine formulée l'épistémologie coordinative sous sa mode empiriste est aussitôt critiquée par Reichenbach et son positionnement original. L'idée primordiale qu'il faut retenir est que l'univocité de la coordination (critère indispensable pour garantir aux théories physiques le même degré de certitude que les théories mathématiques) n'est pas possible dans le cas de la connaissance physique, et ne devrait pas être considérée comme un but à atteindre pour l'épistémologue.

Il s'agit, à notre avis, d'une des premières affirmations aussi radicale de l'incomplétude de la connaissance physique. Elle est à notre avis liée au caractère toujours approximatif des concepts de grandeur. Le développement de Reichenbach à propos des constantes témoigne d'ailleurs de ce rapprochement que nous faisons entre l'impossibilité pour la physique d'évoluer au même degré de

certitude que les mathématiques abstraites, la nécessité de reconnaître l'impossibilité de définir complètement les concepts métriques.

Si la physique n'est qu'une science approchée¹⁶⁶, c'est parce que les concepts de grandeur sont partiellement définis.

Finalement, Reichenbach propose une philosophie empiriste cohérente qui n'utilise pas (ce ne sera pas toujours le cas dans les ouvrages ultérieurs de l'auteur) et ne défend pas de théorie vérificationniste de la signification.

¹⁶⁶Approchée, mais avec une précision largement satisfaisante.

**Partie III – La transformation de l'épistémologie coordinative,
son abandon, et sa postérité**

Introduction : De la survivance du synthétique *a priori* chez les empiristes-logiques.

Il s'agira d'analyser, dans cette partie historique, comment le concept de *principe de coordination*, initialement issu de l'épistémologie coordinationniste de Schlick et Cassirer, est devenu, au sein de la philosophie empiriste logique du Cercle de Vienne, et, après 1936, lors de sa maturation aux États-Unis, sous l'autorité de Carnap et de Hempel, un outil formel, censé donner un sens à la procédure logique d'interprétation partielle d'un langage formel.

Cette conception des théories scientifiques comme langages partiellement interprétés, dans laquelle culmine le courant empiriste logique outre atlantique, et qui d'après Hempel lui-même, à scellé son échec, est pourtant bien éloignée de l'épistémologie initiale dans laquelle s'est développé le concept foisonnant de *principe de coordination*.

Initialement associée au développement de l'analyse mathématique dans les universités Allemande à la fin du XIX^{ème} siècle, la notion de coordination (*zuordnung* en allemand, que l'on peut aussi traduire « correspondance biunivoque ») se trouve en quelques dizaines d'années, sous l'impulsion d'une épistémologie dictée par les succès du mouvement fondationnaliste en mathématique, au centre de l'interprétation de la toute nouvelle théorie de la relativité formulée par Einstein.

En ce sens, le concept de coordination subit déjà un premier dévoiement, puisque étant à l'origine un concept mathématique technique appartenant à l'analyse, il devient un concept philosophique destiné à caractériser la forme de la connaissance en général¹. Au départ une notion

1 Voir l'article de Ryckman, Thomas A., « Conditio sine qua non? Zuordnung in the early epistemologies of Cassirer »

mathématique claire et parfaitement définie, il devient un schéma d'après lequel on peut comprendre toute la connaissance. Il se trouve par la-même exporté de son domaine mathématique d'origine, vers le domaine de la théorie physique, où des philosophes comme Schlick, Cassirer ou Reichenbach pensent pouvoir l'employer avec succès.

Plus tard, avec Carnap et Hempel, il devient quasiment un concept de métalogue appliquée à l'analyse des théories physiques, sous le nom de « règles de correspondances » (*correspondance rules*², ou encore *semantical rules*).

Cette partie entend faire l'histoire de ces dévoiements successifs, et voudrait montrer que l'altération de ce concept d'origine mathématique constitue une cause non négligeable de l'échec de l'empirisme logique à donner une image claire et cohérente de l'élaboration et de la structure des théories physiques.

Comment un concept conçu pour prendre en charge l'aspect historique du développement de la physique, se voit transformé en un outil logique pour l'interprétation des théories formelles ?

Les principes de coordination se retrouvent en effet dans le rôle de *règles sémantiques* chez Carnap (ou P-règles en 1936). Rappelons-le, ces principes de coordination permettent en effet aux principes « formels » d'une théorie de « retrouver » le contenu empirique d'une théorie, tout en tenant compte de l'imprécision des instruments de mesure (l'énoncé rigoureux d'un principe de coordination doit nécessairement inclure une référence à un type particulier d'instruments de mesure). Le raisonnement qui avait poussé Reichenbach à voir dans ces principes d'authentiques principes synthétiques *a priori*, mais cependant révisables, ce même raisonnement qui avait poussé Schlick à y voir des principes analytiques *a priori*, révisables car conventionnels et hypothétiques, conduit Carnap à y voir des postulats constitutifs de la *P*-validité. Carnap écrit explicitement à

and Schlick », *Synthese*, vol. 88, no. 1, 1991, pp. 57–95.

2 Voir nos sections III, A, et III, B.

propos de ces règles ou énoncés qu'ils « sont de nature empirique [...] comme par exemple les lois physiques ou biologiques *énoncés en tant que postulats* »³. Sur le caractère conventionnel de ces principes il écrit : « Supposons qu'un énoncé *S* soit donné, que l'on ait réalisé pour lui certaines observations tests, et que celles-ci confirment *S* à un certain degré. *C'est alors une question de décision pratique* de considérer que ce degré est suffisamment élevé pour que nous acceptions *S* [...]. Bien que notre décision soit fondée sur les observations réalisées jusqu'à présent, elle n'est toutefois pas déterminée uniquement par elles. *Il n'y a pas de règle générale pour déterminer notre décision* [nous soulignons]. Ainsi l'acceptation et le rejet d'un énoncé (synthétique) contiennent toujours un *élément conventionnel* ».⁴ Cet élément conventionnel, cet énoncé qui fixe le degré de validité à partir duquel un énoncé doit être accepté, est l'exemple paradigmatique du principe de coordination.

Malgré toutes ces dénominations le problème du statut de ces énoncés persiste. Si Carnap ne semble pas disposé à les qualifier de synthétiques ou d'analytiques, du moins suppose-t-il qu'ils fixent ce qui doit être considéré comme physiquement possible.

Tout le problème, et cela est bien perçu par Quine, est que la distinction entre principes logiques (*L*-règles) qui sont « de nature logico-mathématique » écrit Carnap, et principes de coordination (*P*-règles) « qui sont de nature empirique », est elle aussi conventionnelle, ou tout au moins relative. Car comment montre-t-on qu'un énoncé est de nature logique ou de nature empirique ? En montrant s'il se réduit ou non à une tautologie. Les principes « de nature empirique » seraient donc ces principes qui, s'ils n'étaient pas choisis comme postulats, seraient d'authentiques propositions synthétiques *a posteriori*. S'ils se réduisent à de simples tautologies c'est par pure convention, ils ne sont qu'artificiellement tautologiques (tautologiques pour les besoins de la cause)⁵. Comme le montre bien Quine, qui nous dit que ce n'est pas le cas *aussi* des principes

3 R. Carnap, *Testabilité et signification*, Vrin, 2015, p. 74. Nous soulignons.

4 *Ibid*, p. 67. Nous soulignons.

5 Après l'*Aufbau* Carnap n'utilise plus la notion de « tautologie » et la remplace par celle d'énoncé « syntaxique ».

logiques ? Là où la critique de Quine achoppe, c'est justement sur cette distinction chez Carnap entre énoncé L-valide et énoncé P-valide. Tout ce que la critique de Quine peut montrer est qu'il n'y a aucun principe qui puisse être de droit et de manière absolu dans la classe des énoncés L-valides. Mais même si tous les principes de la science n'étaient que P-valides, cela ne poserait, semble-t-il, aucun problème à Carnap. Quelle est exactement le rôle des énoncés L-valides chez Carnap ?

Cette notion, la P-validité, est ce qui décrit le plus rigoureusement ce qu'il y a de commun dans la position de Schlick et de Reichenbach.

III. A) Carnap : de la définition explicite à l'interprétation partielle des théories

1 – L'influence de Russell, le conventionnalisme et la théorie de la mesure

L'empirisme logique tel qu'il va être pris en main par Carnap, à partir de l' *Aufbau*⁶, doit sa méthode d'analyse logique aux *Principia* de Russell. C'est grâce à cet ouvrage que l'empirisme logique pourra entrer véritablement dans la logique formelle. Cela n'est pas sans impact sur les concepts que les futurs membres de ce mouvement développent déjà depuis une dizaine d'années : ils vont tous y être redéfinis et redisposés à l'intérieur du nouvel appareillage logique. Néanmoins cette modification ne joue pas seulement sur le plan formel, mais aussi sur le contenu des concepts.

Si l'influence de Wittgenstein se fait surtout sentir sur Schlick, le jeune Carnap est quand à lui largement inspiré par le grand Russell, ainsi qu'il l'avoue lui-même dans sa biographie intellectuelle :

Whereas Frege had the strongest influence on me in the fields of logic and semantics, in my philosophical thinking in general I learned most from Bertrand Russell. In the winter of 1921 I read his book, *Our Knowledge of the External World, as a Field For Scientific Method in Philosophy*. Some passages made an especially vivid impression on me because they formulated clearly and explicitly a view of the aim and method of philosophy which I had implicitly held for some time. In the Preface he speaks about "the logical-analytic

6 L'ouvrage original de Carnap date de 1928. Mais il existe une traduction française : R. Carnap, *La construction logique du monde*, Vrin, 2002.

method of philosophy" and refers to Frege's work as the first complete example of this method. And on the very last pages of the book he gives a summarizing characterization of this philosophical method in the following words :

The study of logic becomes the central study in philosophy : it gives the method of research in philosophy, just as mathematics gives the method in physics. [...]

The one and only condition, I believe, which is necessary in order to secure for philosophy in the near future an achievement surpassing all that has hitherto been accomplished by philosophers, is the creation of a school of men with scientific training and philosophical interests, unhampered by the traditions of the past, and not misled by the literary methods of those who copy the ancients in all except their merits.

I felt as if this appeal had been directed to me personally. To work in this spirit would be my task from now on. And indeed henceforth the application of the new logical instrument for the purposes of analyzing scientific concepts and of clarifying philosophical problems has been the essential aim of my philosophical activity. I now began an intensive study of Russell's books on the theory of knowledge and the methodology of science. I owe very much to his work, not only with respect to philosophical method, but also in the solution of special problems. (p.12)

Or, les théories logico-philosophiques de Russell dressent le projet d'un programme de définition systématique de tous les concepts scientifiques, sur le modèle de ce qui a été réalisé dans les *Principia*. Par analogie, de la même manière que la théorie de la connaissance de Schlick prend pour modèle l'axiomatique la plus aboutie de sa génération – l'axiomatisation de la géométrie par Hilbert – de même Carnap s'inspire des *Principia* de Russell – c'est-à-dire de la tentative la plus réussie du programme « logiciste ».

Sur le plan philosophique, cela n'est pas sans conséquence. Schlick pensait que tous les concepts de la science devaient, au moins en principe, être réductibles à des définitions implicites.

III. A) CARNAP : DE LA DÉFINITION EXPLICITE À L'INTERPRÉTATION PARTIELLE DES THÉORIES

La définition étant le nouveau modèle de définition introduit par Hilbert. Carnap, fidèle à Russell, pensait que tous les concepts de la science devaient, au moins en principe, se réduire à des définitions explicites.

Nous avons déjà vu comment Reichenbach fut le premier à montrer que l'ambition de Moritz Schlick était trop grande : les concepts de grandeur ne peuvent pas être définis de manière univoque par des définitions implicites. Et si l'on veut forcer arbitrairement cette tentative, il faut alors admettre des nouveaux principes synthétiques *a priori*, et non pas de simples conventions *analytiques a priori*.

D'une certaine manière c'est Carnap lui-même qui fera son auto-critique. Dans son ouvrage caractéristique du projet de définitions explicites, publié en 1928, l'*Aufbau*, Carnap se propose en effet de reconstruire tous les concepts de la physique dans le langage des *Principia*, en partant d'un nombre très restreint de termes de base (qui sont des termes observables).

Or, dès les années trente Carnap propose des formalisations qui abandonnent progressivement la stratégie des définitions explicites. Nous voulons montrer que cet abandon est motivé, sinon directement par les écrits de Reichenbach lui-même (que Carnap connaissait nécessairement), du moins par des arguments similaires à ceux que propose Reichenbach pour caractériser la nature des concepts métriques.

Dans la section qui va suivre nous ne nous intéresserons donc pas aux écrits des années vingt, mais seulement à ceux qui, à partir de *La Syntaxe Logique du Langage* de 1934, abordent les arguments qui touchent à la nature incomplète de la définition des concepts métriques.

Au cours des années trente, la sémantique de Tarsky a aussi beaucoup d'influence sur Carnap. Dans son texte de 1939 cela se ressent particulièrement. Néanmoins, que ce soit sous l'influence de Russell avec les définitions explicites, sous celles de Reichenbach avec l'interprétation partielle, ou sous celle de Tarsky avec la distinction entre la syntaxe et la

sémantique, Carnap reste selon nous fidèle à une épistémologie coordinative très classique. La séparation entre la partie mathématique d'une théorie, et son « contenu empirique » est toujours un des motifs centraux de ses tentatives de reconstructions logiques.

Dans ces reconstructions, Carnap ne peut donc pas se passer d'énoncés jouant le rôle de principes de coordination. Mais ils prennent une forme différente dans chacune des reconstructions. Notre but dans cette section sera donc de les identifier systématiquement et de nous poser la question de leur statut.

Or Carnap abandonne très tôt le vocabulaire classique de la philosophie pour classer les propositions (analytique / synthétique et *a priori* / *a posteriori*), pour lui préférer un vocabulaire de sa création qui est exposé en détail dans *La syntaxe logique du langage*. Nous aborderons l'analyse des passages de cet ouvrage dans la dernière sous-section (en III, A, 5).

Une des questions récurrentes de cette section sera aussi celle du conventionnalisme de Carnap⁷. Pour nous convaincre du caractère conventionnaliste de certaines positions de Carnap, voici un passage tiré d'un de ses ouvrages les plus important :

« *The construction of the physical system is not effected in accordance with fixed rules, but by means of conventions. [...] That hypotheses, in spite of their subordination to empirical control by means of protocol-sentences, nevertheless contain a conventional element is due to the fact that the system of hypotheses is never univocally determined by empirical material, however rich it may be* ».⁸

Ainsi, selon Carnap, sans des éléments conventionnels au sein de l'ensemble des hypothèses ou des principes d'une théorie, il n'est pas possible de parvenir à une « détermination univoque »

7 Il est possible de se référer, pour cette question, à, par exemple, E. Runggaldier, « Carnap's Early conventionalism », *International Philosophical Quarterly* 19 (1):73-84 (1979).

8 R. Carnap, *Logical Syntax of Language*, Routledge, 2000, p. 320. Nous soulignons.

III. A) CARNAP : DE LA DÉFINITION EXPLICITE À L'INTERPRÉTATION PARTIELLE DES THÉORIES

des concepts de la théorie. Ce genre de remarque est considérablement éclairé si l'on a en tête le débat de l'année 1920 entre Schlick et Reichenbach.

Mais que désigne exactement le terme « élément conventionnel » utilisé ici ?

Pour Reichenbach, nous l'avons vu, ces éléments n'étaient pas purement conventionnels, puisque si une convention est belle et bien nécessaire, l'ensemble des conventions possibles est déterminé empiriquement. La part de la raison se situe justement dans le choix parmi ces conventions empiriquement possibles.

Rappelons le passage de Carnap, dans la préface au livre de Reichenbach *The Philosophy of Space and Time* :

Reichenbach proposes to accept as a general methodological principle that we choose that form of a theory among physically equivalent forms (or, in other words, that definition of « rigid body » or « measuring standard ») with respect to which all universal forces disappear. If this principle is accepted, the arbitrariness in the choice of a measuring procedure is avoided and the question of the geometrical structure of physical space has a unique answer, to be determined by physical measurements.⁹

Il est possible de se poser la question suivante : le conventionnalisme de Carnap est-il plus proche du conventionnalisme de Schlick-Poincaré ou plus proche de la relativité de la géométrie de Reichenbach ? Les positions de Carnap se situent souvent à mi-chemin entre les deux, empruntant à chacun des éléments caractéristiques. Nous analyserons à chaque fois le type de conventionnalisme mis en place par Carnap.

Enfin, Carnap met souvent en place, ne serait-ce qu'implicitement, une théorie de la mesure très semblable à l'opérationnalisme de Bridgman. Il se dira même parfois en accord avec cette

9 H. Reichenbach, *The philosophy of space and time*, Dover Publications, Inc. 1958, p.vii.

position (voir notre section III, A, 4). Pour nous, en effet, une épistémologie coordinative conduit naturellement (mais pas nécessairement) à une théorie opérationnaliste de la mesure. Parfois, cette théorie de la mesure est aussi proche d'un conventionnalisme classique.¹⁰ Nous analyserons, à chaque fois que cela sera possible, les positions exactes de Carnap dans ses productions successives.

2 – 1936 : *Testabilité et signification*, les termes dispositionnels et les chaînes introductives.

Il n'est plus besoin de faire l'apologie de ce court mais dense ouvrage de Carnap, publié en deux fois, en 1936 et 1937, dans la revue américaine *Philosophy of Science*¹¹. Dans ce texte Carnap se propose de remplacer le schéma classique de définition explicite des prédicats théoriques de la science, par ce qu'il nomme des « énoncés de réduction ». Comme ces énoncés de réduction, pour introduire correctement un nouveau prédicat, vont par deux, Carnap les appelle des « paires de réduction ». L'idée générale est la suivante : la forme logique des définitions explicites ne permet pas de définir correctement les prédicats dispositionnels (comme « être soluble »), seules les paires de réduction, qui possèdent une forme logique spéciale, sont en mesure de formaliser le caractère dispositionnel de ces prédicats.

Un passage cependant reste, pour notre propos, intrigant et difficilement compréhensible. Il semble qu'y sont condensés tous les problèmes relatifs à l'explication conventionnaliste de la

10 Sur les liens de Carnap avec la théorie de la mesure voir N. de Courtenay, « Mesure et formation des concepts physiques. Rudolf Carnap et Norman Campbell », in Jacques Bouveresse et Pierre Wagner, dir., *Mathématiques et expérience, L'empirisme logique à l'épreuve (1918-1940)* Odile Jacob, 2008. Pour une classification des théories de la mesure, voir N. Cartwright et Hasok Chang, « Measurement », *Routledge Companion to the Philosophy of Science*, Stas Psillos and Martin Curd (eds.), pp 702-718.

11 Nous nous référons à la récente traduction française par Pierre Wagner, R. Carnap, *Testabilité et signification*, Vrin, 2015.

signification des concepts de grandeurs.

Dans la section intitulée « Chaînes introductives » Carnap s'attaque au problème de la signification empirique des grandeurs physiques qui « peuvent être déterminées par différentes méthodes », ce qui rappelle beaucoup les passages de Bridgman :

On peut par exemple mesurer l'intensité d'un courant électrique en mesurant la chaleur produite dans un conducteur, ou la déviation d'une aiguille aimantée, ou la quantité d'argent extraite d'une solution, ou la quantité d'hydrogène extraite de l'eau, etc.¹²

Comment donc, dans ce cas, est établie la connexion entre tous les prédicats, définis chacun par une opération différente ? Et plus ardu : comment le concept d'intensité du courant électrique par exemple, peut-il être enrichi par de nouvelles opérations ? Carnap affirme simplement que la découverte de nouvelles lois empiriques permet d'étendre le concept au delà de ses significations initiales, la connexion entre les différentes « définitions » étant établie par convention !

Ces lois n'ont pas le caractère conventionnel des définitions ; elles sont plutôt empiriquement découvertes dans la zone de signification que le prédicat en question a reçu des lois précédemment énoncées. Mais c'est par convention qu'on étend ces lois à une zone où le prédicat n'avait, antérieurement, pas de signification ; en d'autres termes, nous avons décidé d'utiliser le prédicat de manière à ce que ces lois, qui sont testées et confirmées dans des cas où le prédicat a une signification, demeurent valides dans d'autres cas.¹³

N'existe-t-il rien d'autre qu'une convention qui nous permette d'affirmer que deux méthodes de mesures sont deux méthodes de mesures de la même grandeur ? En ne laissant de place dans l'édifice de la science qu'aux énoncés purement empiriques (décrivant par exemple les protocoles)

12 R. Carnap, *op. cit.* p. 86.

13 *Ibid*, p. 87. Nous pourrions presque parler d'un conventionnalisme sémantique.

ainsi qu'aux énoncés *a priori* ou conventionnels (les définitions à la Russell, et l'appareil mathématique) Carnap se prive de la connexion intimement historique qu'il existe entre un concept métrique et les diverses opérations par lesquelles on le mesure.¹⁴

Car il ne peut s'agir, même d'un point de vue logique, d'une simple convention. Il y a, à chaque période de la physique, quelque chose comme une *nécessité* (un critère rationnellement formulable) qui pousse les savants à considérer que deux opérations de mesure sont des mesures de la même grandeur. Comme l'avait remarqué Reichenbach, un principe de continuité est bel et bien à l'œuvre dans ce processus de constitution des concepts.

Carnap répondrait probablement que cette nécessité est une donnée psychologique (le savant se sent obligé d'agir ainsi, sans pouvoir justifier de manière entièrement logique son choix), et que par conséquent elle ne doit pas être prise en compte dans l'analyse logique de la science, qui ne s'appuie que sur le contexte de justification.

L'idée que nous aimerions porter en avant est que cette nécessité est de type *historique*, et non pas subjectif : l'état de la science à ce moment de son histoire fait qu'il n'est pas vraiment possible d'effectuer un choix différent. Nous pensons qu'il s'agit là de l'idée que Reichenbach voulait exprimer avec son concept de principe de coordination et d'*a priori* relativisé, et qui l'a conduit, en 1920, à élaborer une véritable philosophie de l'objet. Si les savants d'une époque sont contraints dans leur choix par des critères non purement empiriques, c'est parce qu'ils sont tributaires d'une certaine conception de l'objet physique, modelé par la théorie qu'ils manipulent.

Pourtant, si la « philosophie de l'objet » peut justement être qualifiée d'idéaliste (et en ce sens totalement néo-kantienne), l'abandonner ne réduit pas le philosophe à accepter un conventionnalisme radical. Le livre de Reichenbach de 1920 contient selon nous les éléments pour élaborer une philosophie empiriste cohérente de cette « nécessité historique ». Quoi qu'il en soit, pour Reichenbach, l'identification et la formulation de ces principes supra-empiriques est bien une

¹⁴ Il faut penser ici aux principes énoncés par Chang.

tâche de l'*analyse logique* de la science.

Dans le §10 de son long article, Carnap va encore plus loin. Il reconnaît que généralement il n'est pas possible en science (et plus particulièrement en physique) de définir complètement un concept, du fait que son extension possible est découverte expérimentalement et aprogressivement :

Supposons que nous introduisions dans le langage de la science un prédicat 'Q', d'abord par une paire de réduction, et qu'ensuite, progressivement, nous ajoutions davantage de telles paires pour 'Q', à mesure que notre connaissance de 'Q' augmente avec de nouvelles recherches expérimentales. Au cours de cette procédure, le champ d'indétermination de 'Q', c'est-à-dire la classe des cas pour lesquels nous n'avons pas encore donné de signification à 'Q', se réduit de plus en plus. Or à chaque étape de cette évolution, nous pourrions établir une définition pour 'Q', qui consisterait en l'ensemble des paires de réduction pour 'Q' établies à ce stade. Mais en énonçant cette définition, nous devrions prendre une décision arbitraire concernant les cas qui ne sont pas déterminés par l'ensemble des paires de réduction.¹⁵

Ainsi le champ expérimental ouvert d'un concept serait fermé de manière *a priori* par une définition précipitée. La définition exclurait *a priori* des extensions possibles de concept. Or si la science continue de progresser, la définition peut alors se voir contredite par l'expérience :

Si nous devons alors énoncer une définition, nous devrions la révoquer à une telle nouvelle étape du développement de la science, et énoncer une nouvelle définition, incompatible avec la première.¹⁶

Carnap reconnaît certes ici que le changement dans les sciences puisse s'opérer de manière discontinuiste, le développement d'un concept pouvant mettre en évidence des incompatibilités entre la compréhension classique d'un concept, et sa compréhension nouvelle. Toutefois, cela peut-

¹⁵ *Ibid*, p. 90.

¹⁶ *Ibid*, p. 91.

être évité, si, comme le dit Carnap, la prétention d'une définition complète est abandonnée au profit de la méthode par paires de réduction :

Si en revanche nous devons énoncer une paire de réduction, nous n'aurions qu'à ajouter une ou plusieurs paires de réduction à la nouvelle étape ; et ces paires de réduction seront compatibles avec la première. Dans ce dernier cas, nous ne corrigeons pas les déterminations établies lors de l'étape précédente, nous ne faisons que les compléter.¹⁷

Cela signifie que la méthode des paires de réduction est la méthode appropriée pour rendre compte de la définition des concepts de grandeur dans une science en changement continu :

[...] si nous souhaitons déterminer la signification du terme au moment présent pour certains cas seulement, tout en laissant sa détermination ultérieure pour d'autres cas à des décisions que nous entendons prendre pas à pas et sur la base d'une connaissance empirique que nous comptons obtenir dans le futur, alors c'est la méthode de la réduction, plutôt que celle de la définition qui est appropriée.¹⁸

Cela a cependant un coût puisque les concepts théoriques sont en ce cas partiellement définis : « Un ensemble de paires de réductions n'est qu'une détermination partielle de la signification et, par conséquent, ne peut pas être remplacé par une définition »¹⁹. Pour un concept métrique cela signifie qu'il existe des systèmes physiques pour lesquels on ne sait pas si l'application d'une méthode de mesure conduira à la mesure de la grandeur à laquelle elle est habituellement associée, ou inversement, qu'il existe des systèmes physiques caractérisés théoriquement par une grandeur pour laquelle il n'est connue aucune méthode de mesure.

Ces deux situations problématiques résument bien les problèmes auxquels peut être

17 *Ibid.*

18 *Ibid.*

19 *Ibid.*

confronté l'expérimentateur. Il semblerait donc que le caractère incomplet de la définition des concepts de grandeur soit en réalité une caractéristique positive de ces derniers. Il devient dès lors possible de se poser une question telle que la suivante : un concept de grandeur au sein d'une théorie physique doit-il nécessairement avoir une définition partielle ? La définition partielle est-elle constitutive des concepts métriques ? Et finalement, existe-t-il des concepts métriques qui soient complètement définis ?

3 – 1939 : *Foundations of Logic and Mathematics* et l'interprétation partielle des théories.

C'est dans ce texte que Carnap introduit pour la première fois la notion d'*interprétation partielle* d'une théorie.²⁰ Par ailleurs le formalisme qui y est développé préfigure de nombreuses manières le formalisme qui sera utilisé plus tard par les structuralistes.²¹ Avec les *Fondations* nous avons affaire à l'une des versions les plus solides de la philosophie carnapienne.

L'intérêt que les thèses développées dans ce livre présente pour nous est le suivant : Carnap y réduit l'interprétation d'une théorie à la formulation de règles sémantiques. Cet ensemble de règles permet de donner une valeur de vérité à une théorie purement formelle (c'est-à-dire une théorie purement syntaxique ou encore, selon les mots de Carnap lui-même dans ce texte, un simple *calcul*). Si les règles sémantiques seules permettent d'assigner une valeur de vérité à une proposition formulée dans le langage de la théorie, alors la proposition est analytique (*L-déterminée* dit Carnap, une proposition contradictoire – toujours fausse – est aussi *L-déterminée*). Sinon la proposition est

20 Voir R. Carnap, *Foundations of logic and Mathematics*, The University of Chicago press, 1939, par la suite abrégé en *FLM*. Dans le texte de 1936 il n'évoquait que la « détermination partielle de la signification » d'un prédicat. Selon cette nouvelle théorie, la détermination partielle ne se joue plus à l'échelle des prédicats (concepts métriques) mais à l'échelle de la théorie toute entière.

21 Nous faisons référence ici aux travaux de Balzer, Moulines, et Sneed : Wolfgang Balzer, C. Ulises Moulines, Joseph D. Sneed, *An Architectonic for Science, The Structuralist Program*, D. Reidel Publishing Company, 1987.

synthétique : elle implique la prise en compte d'un fait (Carnap appelle ces propositions « *factuelles* »). Une théorie empirique (comme la théorie physique) est donc constituée par un ensemble de propositions factuelles.

Cependant Carnap précise uniquement la forme générale de ces règles sémantiques, qui sont de deux types. Ceux-ci recourent exactement la division du langage en termes descriptifs (variables ou constantes non-logiques) et termes logiques (les constantes logiques). Il y a donc les règles *L-sémantiques* qui déterminent la sémantique des termes purement logiques, et les règles *D-sémantiques* qui fixent la référence des termes descriptifs du langage, que ceux-là soient des noms ou des prédicats.

Ce sont les règles D-sémantiques qui intéressent notre propos, car elles fixent la signification des termes désignant les grandeurs dans une théorie physique, et ne semblent être rien d'autre que des définitions opérationnelles, ainsi que l'exemple analysé plus loin le laisse penser. Ainsi, le complexe appareillage sémantique construit par Carnap en 1939 ne semble pas résoudre le problème central de la définition des concepts métriques, car il ne permet pas d'échapper aux problèmes centraux de l'opérationnalisme.

Cet appareillage permet cependant à Carnap de dégager, dans le §24 de son livre, une propriété sémantique que les concepts métriques, ainsi que tous les termes quelque peu abstraits, semblent posséder : leur interprétation ne peut jamais être complète.

Les calculs formels et leur interprétation

Dans ce texte de 1939, Carnap présente une version de la reconstruction logique des théories différente de celle de 1936 et 1956. Il y effectue en effet une séparation radicale entre la syntaxe et

III. A) CARNAP : DE LA DÉFINITION EXPLICITE À L'INTERPRÉTATION PARTIELLE DES THÉORIES

la sémantique. Une théorie physique serait ainsi constituée d'une partie purement logico-mathématique dont la reconstruction logique montrerait qu'elle n'est qu'une syntaxe non interprétée. La syntaxe d'une théorie, qu'elle soit physique ou mathématique ne possède pas de valeur de vérité : elle n'est qu'un simple calcul formel. Pour que ce calcul puisse obtenir une valeur de vérité, il faut qu'il soit interprété grâce à des règles sémantiques :

For any given calculus there are, in general, many different possibilities of a true interpretation. The practical situation, however, is such that for almost every calculus which is actually interpreted and applied in science, there is a certain interpretation or a certain kind of interpretation used in the great majority of cases of its practical application. This we will call the *customary interpretation* (or kind of interpretation) for the calculus. In what follows we shall discuss some calculi and their application. We classify them according to their customary interpretation in this way : logical calculi (in the narrower sense) , mathematical, geometrical, and (other) physical calculi. The customary interpretation of the logical and mathematical calculi is a logical, L-determinate interpretation ; that of the geometrical and physical calculi is descriptive and factual. The mathematical calculi are a special kind of logical calculi, distinguished merely by their greater complexity. The geometrical calculi are a special kind of physical calculi. This classification is rather rough and is only meant to serve a temporary, practical purpose.²²

Néanmoins, il n'est pas nécessaire de donner une règle sémantique pour chacun des symboles apparaissant dans le calcul non interprété. Seul les « termes primitifs » ont besoin d'une telle interprétation. Les autres termes du calcul recevant une signification grâce à des chaînes de définitions explicites :

A definition is a rule of a calculus which serves for introducing a new sign. In simpler cases the rule states that the new sign is to be taken as an abbreviation for a certain expression consisting only of old signs (i.e., primitive signs or signs defined earlier) . In other cases the rule states that sentences containing the new sign

22 R. Carnap, *FLM*, p. 29.

and old signs are to be taken as abbreviations for certain sentences containing old signs only. Rules of the first kind are called explicit definitions (e.g., Defs. 11, 12, and IS in § 14) ; those of the second kind are called definitions in use (e.g., Defs. 1-7, below) ; we shall use still another kind of definition, the so-called recursive definitions frequently found in arithmetic (e.g., Defs. 14 and 15 in § 14) . The definitions in a calculus are, so to speak, additional rules of transformation, either primitive sentences or rules of inference, according to their formulation ; they are added in order to provide shorter expressions. If a calculus C contains definitions and the interpretation S contains semantical rules for the primitive signs of C, the interpretation of the defined signs need not be given explicitly. The definitions, together with those rules of S, determine the truth conditions of the sentences containing the defined signs and thereby the interpretation of these signs.²³

Carnap évoque trois types de définition différents : les définitions explicites, les définitions d'usage, et enfin les définitions récursives. Une définition explicite fait donc *a fortiori*, comme toutes les autres définitions, intégralement partie de la syntaxe d'une théorie, et ne peut en aucun cas en constituer une interprétation si elle n'est pas accompagnée par les règles sémantiques.

Avant d'en venir à la question de l'interprétation (c'est-à-dire à la question des règles sémantiques qu'il faut ajouter à une théorie pour qu'elle possède une signification et soit plus qu'un simple calcul), Carnap précise qu'un « calcul » non purement logique (une théorie mathématique ou physique en est un) est constitué de deux calculs différents :

In later sections we shall discuss certain other calculi which are applied in science. The logical calculus explained previously is distinguished from them by the fact that it serves as their basis. Each of the nonlogical calculi to be explained later consists, strictly speaking, of two parts : a logical *basic calculus* and a *specific calculus* added to it. The basic calculus could be approximately the same for all those calculi ; it could consist of the sentential calculus and a smaller or greater part of the functional calculus as previously outlined. The specific partial calculus does not usually contain additional rules of inference but only additional primitive

²³ *Ibid*, p.31.

III. A) CARNAP : DE LA DÉFINITION EXPLICITE À L'INTERPRÉTATION PARTIELLE DES THÉORIES

sentences, called *axioms*. As the basic calculus is essentially the same for all the different specific calculi, it is customary not to mention it at all but to describe only the specific part of the calculus. What usually is called an axiom system is thus the second part of a calculus whose character as a part is usually not noticed. For any of the mathematical and physical axiom systems in their ordinary form it is necessary to add a logical basic calculus. Without its help it would not be possible to prove any theorem of the system or to carry out any deduction by use of the system. Not only is a basic logical calculus tacitly presupposed in the customary formulation of an axiom system but so also is a special interpretation of the logical calculus, namely, that which we called the normal interpretation. An axiom system contains, besides the logical constants, other constants which we may call its specific or axiomatic constants. Some of them are taken as primitive ; others may be defined. The definitions lead back to the primitive specific signs and logical signs. An interpretation of an axiom system is given by semantical rules for some of the specific signs, since for the logical signs the normal interpretation is presupposed. If semantical rules for the primitive specific signs are given, the interpretation of the defined specific signs is indirectly determined by these rules together with the definitions. But it is also possible - and sometimes convenient, as we shall see - to give the interpretation by laying down semantical rules for another suitable selection of specific signs, not including the primitive signs. If all specific signs are interpreted as logical signs, the interpretation is a logical and L-determinate one ; otherwise it is a descriptive one. (Every logical interpretation is L-determinate ; the converse does not always hold .)²⁴

La partie purement logique du calcul aurait été considérée par Reichenbach comme faisant partie des principes de coordination. Mais, ainsi que Carnap nous le fait bien comprendre, il s'agit plutôt du « squelette logique » d'une théorie, sans lequel aucun théorème ne serait démontrable dans la théorie.

Pourtant ici, implicitement, Carnap et Reichenbach se rejoignent en laissant la possibilité à la structure logique de se modifier. Reichenbach considère possible que la logique de base d'une théorie puisse ne pas être une logique classique. Rien dans les affirmations de Carnap n'empêche d'envisager le contraire. L'interprétation que nous proposons est d'ailleurs en accord avec le

²⁴ *Ibid*, pp. 37 – 38.

principe de tolérance formulé par Carnap dans *La syntaxe logique du langage*.

L'épistémologie coordinative et la théorie de la mesure

Nous parvenons alors au sommet de l'épistémologie coordinative. D'un côté, selon Carnap, il y a un calcul mathématico-logique abstrait non interprété, et de l'autre il y a les règles sémantiques d'interprétation qui « enracinent » ce calcul dans une réalité (physique ou intuitive ou visuelle). La fonction de la partie purement mathématique (le calcul non interprété) est d'offrir des moyens de déduction logique plus brefs et plus efficaces que ceux de la logique élémentaire²⁵ :

The application of mathematical calculi in empirical science is not essentially different from that of logical calculi. Since mathematical sentences are, in the customary interpretation, L-determinate, they cannot have factual content ; they do not convey information about facts which would have to be taken into consideration besides those described in empirical science. The function of mathematics for empirical science consists in providing, first, forms of expression shorter and more efficient than non-mathematical linguistic forms and, second, modes of logical deduction shorter and more efficient than those of elementary logic.²⁶

La spécificité des « calculs » mathématiques, ajoute Carnap, par rapport aux calculs simplement logiques, est l'occurrence d'expressions numériques. Ces expressions numériques trouvent une application à travers deux « procédures » : compter et mesurer. Fidèle dans ce passage à une théorie relationnelle de la mesure, Carnap donne les définitions suivantes pour les opérations de compter et de mesurer :

25 L'intégration d'équations différentielles, par exemple, est l'un de ces « moyens de déduction logique », qu'il est relativement aisé de déployer en analyse mathématique, et qui deviendrait quasiment impossible s'il devait être développé en logique formelle.

26 *Ibid*, p. 44.

Mathematical calculi with their customary interpretation are distinguished from elementary logical calculi chiefly by the occurrence of numerical expressions. There are two procedures in empirical science which lead to the application of numerical expressions : counting and measurement (cf. Lenzen, Vol. I, No. 5, §§ 4 and 5) . Counting is ascertaining the cardinal number of a class of single, separate things or of events. Measuring is ascertaining the value of a magnitude for a certain thing or place at a certain time. For each physical magnitude, e.g., length, weight, temperature, electric field, etc., there are one or several methods of measurement. The result of a measurement is a fraction or a real number. (Irrational real numbers can also occur, but only if, besides direct measurement, calculation is applied.) If a deduction has to do with results of counting, we may apply, besides an elementary logical calculus, a calculus of elementary arithmetic. If it has to do with results of measurements, we may apply a calculus of analysis, i.e., of real numbers.²⁷

Cette vision instrumentaliste des mathématiques est à notre avis une conséquence du développement radical d'une épistémologie coordinative. Pour Reichenbach, en 1920, chez qui une critique, même minimale, de cette épistémologie était élaborée, les principes mathématiques n'étaient jamais considérés comme des calculs vides de signification. Au contraire, pour lui, les mathématiques constituaient l'ensemble « bien défini », et le réel le côté « non-défini ».

Le statut de la géométrie

Néanmoins l'épistémologie carnapienne permet de comprendre parfaitement la distinction entre géométrie mathématique et géométrie physique, telle qu'elle est exposée par exemple dans l'article d'Einstein, « Géométrie et expérience »²⁸ :

27 *Ibid*, p. 44. Nous renvoyons à la section III, B, consacrée à Hempel pour un développement sur la question de savoir comment définir, en théorie de la mesure, l'ensemble de réels à partir des l'ensemble des rationnels seuls accessibles à la mesure.

28 Albert Einstein, « Géométrie et expérience », in Jacques Merleau-Ponty et Françoise Balibar ed., *Albert Einstein, Oeuvres choisies*, vol. 5, pp. 70-81. Dans sa thèse de philosophie, traduite en français par Pierre Wagner, (R. Carnap,

A geometrical calculus is usually constructed as an axiom system, i.e., a specific calculus presupposing a logical calculus (with normal interpretation). Such a calculus describes a structure whose elements are left undetermined as long as we do not make an interpretation. The geometrical calculi describe many different structures. And for each structure, e.g. , the Euclidean , there are many different possible forms of calculi describing it.²⁹

La question de l'interprétation devient ici cruciale. Puisque c'est elle qui permet de distinguer la géométrie mathématique de son application physique. Ce sont donc les règles sémantiques qui donnent un contenu physique à la géométrie :

The distinction between mathematical geometry, i. e., the calculus, and physical geometry is often overlooked because both are usually called geometry and both usually employ the same terminology.

[...]

The difference becomes clear when we take into consideration other interpretations of the geometrical calculus.³⁰

Et aussi :

The difference between mathematical and physical geometry became clear in the historical development by the discovery of non-Euclidean geometry, i.e., of axiom systems deviating from the Euclidean form by replacing the parallel axiom (G 4) by some other axiom incompatible with it. It has been shown that each of these systems, although they are incompatible with one another, does not contain a contradiction, provided the Euclidean system is free from contradictions. This was shown by giving a translation for each of the non-Euclidean systems into the Euclidean system. Mathematicians regarded all these systems on a par,

L'espace, Une contribution à la théorie de la science, Gallimard, 2017) Carnap avait déjà développé de telles positions.

29 R. Carnap, *FLM*, p. 51.

30 *Ibid*, p. 53.

III. A) CARNAP : DE LA DÉFINITION EXPLICITE À L'INTERPRÉTATION PARTIELLE DES THÉORIES

investigating any one indifferently. Physicists, on the other hand, could not accept this plurality of geometries ; they asked : "Which one is true ? Has the space of nature the Euclidean or one of the non-Euclidean structures ?" It became clear by an analysis of the discussions that the mathematician and the physicist were talking about different things, although they themselves were not aware of this in the beginning.³¹

La différence entre le mathématicien et le physicien se réduit donc au fait que le premier travaille sur des calculs non-interprétés alors que le second ne s'intéresse qu'aux calculs interprétés, c'est-à-dire possédant un contenu physique :

Mathematicians have to do with the geometrical calculus, and with respect to a calculus there is no question of truth and falsity. Physicists, however, are concerned with a theory of space, i.e., of the system of possible configurations and movements of bodies, hence with the interpretation of a geometrical calculus. When an interpretation of the specific signs is established – and, to a certain extent, this is a matter of choice – then each of the calculi yields a physical geometry as a theory with factual content.³²

Dans la dernière phrase de ce passage, nous voyons très bien comment l'épistémologie coordinative conduit à des positions conventionnalistes à propos de la géométrie. La question intéressante à présent est de savoir si la position de Carnap se conforme à un conventionnalisme à la Schlick-Poincaré ou bien si elle se rapproche plutôt d'un relativisme de la géométrie à la Reichenbach.

Or, dans le passage suivant, Carnap rappelle le caractère empirique de la géométrie physique :

The truth conditions, determined by the interpretation, refer to facts. Therefore, it is the task of the physicist, and not of the mathematician, to find out whether a certain one among the theories is true, i.e., whether a

31 *Ibid*, p. 54.

32 *Ibid*, p. 54.

certain geometrical structure is that of the space of nature. (Of course, the truth of a system of physical geometry, like that of any other universal factual sentence or theory, can never be known with absolute certainty but at best with a high degree of confirmation.) For this purpose, the physicist has to carry out experiments and to see whether the predictions made with the help of the theory under investigation, in connection with other theories confirmed and accepted previously, are confirmed by the observed results of the experiments. The accuracy of the answer found by the physicist is, of course, dependent upon the accuracy of the instruments available.³³

Il semblerait donc que Carnap se rapproche ici plutôt de Reichenbach. La phrase entre parenthèses, notamment, se souciant d'insister sur la question de l'erreur de mesure, nous permet de conclure à une position empiriste forte. Remarquons que Carnap fait aussi dépendre la question de la géométrie physique de la nature et de la précision des instruments de mesure disponibles. Cela sous-entend qu'avec des instruments différents, ou plus précis, les réponses empiriques à la question de la géométrie de l'espace physique, pourraient bien être différentes. Ce dernier point est aussi en accord avec la position de Reichenbach.

Pour Carnap, la géométrie physique est similaire à une théorie physique :

Physical geometry is in its methods not fundamentally different from the other parts of physics. This will become still more obvious when we shall see how other parts of physics can also take the form of calculi³⁴

La position de Carnap n'est donc pas du tout une position conventionnaliste. Au contraire, la question de la géométrie y est résolue de manière typiquement empiriste. Mais à présent, puisque la géométrie n'acquiert de signification empirique qu'à travers les « règles sémantiques d'interprétation », quel est le statut de ces règles ? Sont-elles synthétiques *a priori* comme le défendait Reichenbach en 1920, ou bien Carnap les considère-t-il comme des conventions (c'est-à-

³³ *Ibid*, p. 55.

³⁴ *Ibid*, p. 55.

dire des propositions analytiques *a priori*) ainsi que le posait Schlick ?

La critique de la doctrine kantienne de l'espace

La réponse à cette question peut se trouver dans le passage suivant à propos de Kant. Le passage met d'ailleurs en regard l'idée selon laquelle la doctrine kantienne est une erreur, grâce la formule d'Einstein à propos des mathématiques et de la réalité :

The doctrine concerning geometry acknowledged by most philosophers in the past century was that of Kant, saying that geometry consists of "synthetic judgments a priori", i. e., of sentences which have factual content but which, nevertheless, are independent of experience and necessarily true. Kant attributed the same character also to the sentences of arithmetic. Modern logical analysis of language, however, does not find any sentences at all of this character.

[...]

The Kantian doctrine is based on a failure to distinguish between mathematical and physical geometry. It is to this distinction that Einstein refers in his well-known dictum : "So far as the theorems of mathematics are about reality they are not certain ; and so far as they are certain they are not about reality." ³⁵

Carnap rejette, comme Schlick, l'existence de toute proposition synthétique *a priori*. Il se rapproche donc des positions de Reichenbach postérieures à l'année 1920. Cependant Carnap ne précise pas quel est le statut exact de ces règles sémantiques. Car en tant que « règles » elle peuvent faire partie des propositions analytiques *a priori* par convention (comme chez Schlick), ainsi que de simples définitions. Mais si elles possèdent un contenu empirique – lorsqu'il s'agit de règles sémantiques s'appliquant à des calculs physiques – elles pourraient tout aussi bien être des

35 *Ibid*, pp. 55-56.

propositions synthétiques *a posteriori*.

Aucune des solutions n'est entièrement satisfaisante. Une règle sémantique ne peut pas en effet être une proposition *a priori* au même titre qu'un principe logique par exemple. Mais en tant que simple règle (ou définition) il est difficile de la considérer comme une proposition synthétique.

Afin de répondre à ce dilemme, étudions comment Carnap présente l'interprétation d'un « calcul physique ».

Les théories physiques comme des calculs interprétés

La reconstruction logique d'une théorie physique se passe exactement de la même manière que celle d'une théorie mathématique ou géométrique :

The method described with respect to geometry can be applied likewise to any other part of physics : we can first construct a calculus and then lay down the interpretation intended in the form of semantical rules, yielding a physical theory as an interpreted system with factual content. The customary formulation of a physical calculus is such that it presupposes a logico-mathematical calculus as its basis, e.g. , a calculus of real numbers in any of the forms discussed above (§ 18) . To this basic calculus are added the specific primitive signs and the axioms, i.e., specific primitive sentences, of the physical calculus in question.³⁶

De manière plus détaillée, les axiomes du calcul (non-interprété) sont, dans le cas de la mécanique classique par exemple, les lois fondamentales de la mécanique (principe d'inertie, principe de l'action et de la réaction et principe fondamental de la mécanique), et les règles sémantiques permettent d'exprimer ce que représentent les variables apparaissant dans les lois (les trois coordonnées de l'espace par exemple) :

³⁶ *Ibid*, pp. 56-57.

III. A) CARNAP : DE LA DÉFINITION EXPLICITE À L'INTERPRÉTATION PARTIELLE DES THÉORIES

Thus, for instance, a calculus of mechanics of mass points can be constructed. Some predicates and functors (i.e., signs for functions) are taken as specific primitive signs, and the fundamental laws of mechanics as axioms. Then semantical rules are laid down stating that the primitive signs designate, say, the class of material particles, the three spatial coordinates of a particle x at the time t , the mass of a particle x , the class of forces acting on a particle x or at a space point s at the time t .³⁷

À nouveau Carnap résume sa philosophie coordinative. Il en est de même du rapport entre physique théorique et physique expérimentale que du rapport entre géométrie mathématique et géométrie physique :

By the interpretation, the theorems of the calculus of mechanics become physical laws, i.e., universal statements describing certain features of events ; they constitute physical mechanics as a theory with factual content which can be tested by observations. The relation of this theory to the calculus of mechanics is entirely analogous to the relation of physical to mathematical geometry. The customary division into theoretical and experimental physics corresponds roughly to the distinction between calculus and interpreted system. The work in theoretical physics consists mainly in constructing calculi and carrying out deductions within them ; this is essentially mathematical work. In experimental physics interpretations are made and theories are tested by experiments.³⁸

Dans le passage qui va suivre Carnap donne un exemple détaillé. Mais on va voir que la reconstruction logique qu'il offre n'élimine pas la nécessité d'une interprétation opérationnaliste des concepts de grandeur physique. Une épistémologie coordinative, en effet, ne peut pas se passer de telles définitions opérationnelles :

37 *Ibid*, p. 57. Carnap évoque à la suite de ce passage une construction logique différente à laquelle nous nous intéresserons plus bas.

38 *Ibid*, p. 57.

In order to show by an example how a deduction is carried out with the help of a physical calculus, we will discuss a calculus which can be interpreted as a theory of thermic expansion. To the primitive signs may belong the predicates 'Sol' and 'Fe', and the functors 'lg', 'te', and 'th'. Among the axioms may be A1 and A2. (Here, ' x ', ' β ' and the letters with subscripts are real number variables ; the parentheses do not contain explanations as in former examples, but are used as in algebra and for the arguments of functors.)

A 1. For every $x, t_1, t_2, l_1, l_2, T_1, T_2, \beta$ [if [x is a Sol and $lg(x, t_1) = l_1$ and $lg(x, t_2) = l_2$ and $te(x, t_1) = T_1$ and $te(x, t_2) = T_2$ and $th(x) = \beta$] then $l_2 = l_1 \cdot (1 + \beta \cdot (T_2 - T_1))$].

A 2. For every x , if [x is a Sol and x is a Fe] then $th(x) = 0.000012$.

The *customary interpretation*, i.e., that for whose sake the calculus is constructed, is given by the following semantical rules. ' $lg(x, t)$ ' designates the length in centimeters of the body x at the time t (*defined by the statement of a method of measurement*) ; ' $te(x, t)$ ' designates the absolute temperature in centigrades of x at the time t (*likewise defined by a method of measurement*) ; ' $th(x)$ ' designates the coefficient of thermic expansion for the body x ; 'Sol' designates the class of solid bodies ; 'Fe' the class of iron bodies. By this interpretation, A1 and A2 become physical laws. A1 is the law of thermic expansion in quantitative form, A2 the statement of the coefficient of thermic expansion for iron. As A2 shows, a statement of a physical constant for a certain substance is also a universal sentence. Further, we add semantical rules for two signs occurring in the subsequent example : the name ' c ' designates the thing at such and such a place in our laboratory ; the numerical variable ' t ' as time coordinate designates the time-point t seconds after August 17, 1 938, 10 : 00 A.M.³⁹

Ici Carnap fait explicitement référence à une définition opérationnelle, puisque la règle sémantique qui donne une signification factuelle aux termes métriques ($lg(x, t)$, i.e. la longueur de l'objet x au temps t par exemple) doit mentionner « l'énoncé d'une méthode de mesure ». Or, pour que les prémisses et la conclusion soient testables, il est impératif que cette méthode de mesure permette de mesurer réellement la grandeur *dans le système physique en question*. Selon le système

39 *Ibid*, pp. 57-58. Nous soulignons les passages entre parenthèses.

envisagé (selon son échelle de grandeur) la méthode peut n'être pas la même. Par ailleurs Carnap écrit bel et bien que la grandeur est « définie » par « l'énoncé d'une méthode de mesure ». Parler de longueur ou d'intervalle de temps sans préciser de méthode de mesure, serait en effet contraire à l'exigence de testabilité. Rappelons cependant que pour Carnap ce n'est pas une méthode de mesure qui définirait une grandeur physique, mais l'énoncé d'une méthode de mesure qui définit un *terme* métrique. L'énoncé A2 donne l'énoncé d'un coefficient constant (celui de dilation pour le fer). Or un développement de cet énoncé devrait fournir une explication du moyen par lequel il est possible de parvenir à ce nombre.

Cela n'est tout de même pas sans poser un certain nombre de problèmes, qui ont déjà été abordés dans la section précédente sur l'ouvrage de 1936. Il est impossible que la « définition » se limite à l'énoncé d'une seule méthode de mesure (sauf cas improbable où il n'existerait qu'une seule méthode pour mesurer une grandeur donnée), au risque de n'être utilisable que dans un ensemble très limité de systèmes physiques. Il faudrait au contraire soit que cette définition se présente comme l'ensemble des différents énoncés de méthodes de mesure connues pour la grandeur en question ; soit il faudrait plutôt ajouter une nouvelle règle sémantique qui assignerait à chaque méthode de mesure disponible pour la grandeur en question, un ordre de grandeur spécifique (par exemple : si la longueur caractéristique attendue du système est comprise entre tant et tant de mètres, utiliser telle méthode, etc.).

La deuxième solution entérinerait une vision opérationnaliste des concepts de grandeur et porterait atteinte à l'unité de ces concepts, ainsi que le défendra Hempel. Mais la première solution se réduit à l'option déjà examinée par Carnap dans *Testabilité et Signification*, et cela conduit, comme nous l'avons déjà vu, à accepter l'idée que les concepts métriques ne sont que partiellement définis.

La vérité des « théorèmes physiques »

Carnap n'hésite d'ailleurs pas à généraliser sa méthode à toutes les branches de la science :

Any physical theory, and likewise the whole of physics, can in this way be presented in the form of an interpreted system, consisting of a specific calculus (axiom system) and a system of semantical rules for its interpretation ; the axiom system is, tacitly or explicitly, based upon a logico-mathematical calculus with customary interpretation. It is, of course, logically possible to apply the same method to any other branch of science as well. But practically the situation is such that most of them seem at the present time to be not yet developed to a degree which would suggest this strict form of presentation. There is an interesting and successful attempt of an axiomatization of certain parts of biology, especially genetics, by Woodger (Vol. I, No. 10) . Other scientific fields which we may expect to be soon accessible to this method are perhaps chemistry, economics, and some elementary parts of psychology and social science.⁴⁰

Mais cela ne répond toujours pas à la question du statut des « règles sémantiques ». En réalité ce statut ne semble pas être le même, selon Carnap, si les théorèmes interprétés par les règles sont des théorèmes « mathématiques » ou des théorèmes « physiques ». Des règles s'appliquent à des signes. Elles devraient être donc pouvoir classées en fonction des signes auxquelles elles s'appliquent. Mais ici Carnap voudrait distinguer ces règles par la nature des vérités que ces règles produisent une fois leur application aux signes étant assurée :

Within a physical calculus the mathematical and the physical theorems, i.e., C-true formulas, are treated on a par. But there is a fundamental difference between the corresponding mathematical and the physical propositions of the physical theory, *i. e.*, the system with customary interpretation. This difference is often overlooked . That physical theorems are sometimes mistaken to be of the same nature as mathematical

⁴⁰ *Ibid*, p. 60.

III. A) CARNAP : DE LA DÉFINITION EXPLICITE À L'INTERPRÉTATION PARTIELLE DES THÉORIES

theorems is perhaps due to several factors, among them the fact that they contain mathematical symbols and numerical expressions and that they are often formulated incompletely in the form of a mathematical equation (e.g., A 1 simply in the form of the last equation occurring in it). A mathematical proposition may contain only logical signs, e.g., 'for every $m, n, m + n = n + m$ ', or descriptive signs also, if the mathematical calculus is applied in a descriptive system. In the latter case the proposition, although it contains signs not belonging to the mathematical calculus, may still be provable in this calculus, e.g., ' $\lg(c) + \lg(d) = \lg(d) + \lg(c)$ ' ('lg' designates length as before). A physical proposition always contains descriptive signs, because otherwise it could not have factual content ; in addition, it usually contains also logical signs. *Thus the difference between mathematical theorems and physical theorems in the interpreted system does not depend upon the kinds of signs occurring but rather on the kind of truth of the theorems.* The truth of a mathematical theorem, even if it contains descriptive signs, is not dependent upon any facts concerning the designata of these signs. *We can determine its truth if we know only the semantical rules ; hence it is L-true.* (In the example of the theorem just mentioned, we need not know the length of the body c .) *The truth of a physical theorem, on the other hand, depends upon the properties of the designata of the descriptive signs occurring. In order to determine its truth, we have to make observations concerning these designata ; the knowledge of the semantical rules is not sufficient.* (In the case of A 2, e.g., we have to carry out experiments with solid iron bodies .) Therefore, a physical theorem, in contradistinction to a mathematical theorem, has factual content.⁴¹

Pour prouver les théorèmes simplement mathématiques, par opposition aux théorèmes physiques, la seule connaissance des règles sémantiques suffit. Ce sont les théorèmes L-vrais. En ce sens, les règles sémantiques peuvent être comprises comme de simples définitions, comme des propositions analytiques *a priori*. Mais pour prouver un théorème physique – c'est-à-dire un théorème C-vrai – en plus de la connaissance des règles sémantiques, il faut réaliser des expériences et des mesures ; ou plutôt la connaissance des règles sémantiques impose la nécessité

41 *Ibid*, pp. 60-61. Nous soulignons. La distinction entre les énoncés L-vrais et les énoncés C-vrais est expliquée par Carnap dans le §8. Un énoncé est L-vrai s'il est possible de prouver qu'il est vrai avec l'aide des règles syntaxiques seulement (ou L-faux s'il est possible de prouver qu'il est faux avec l'aide des règles syntaxiques seulement). L'énoncé est C-vrai (ou C-faux) si les règles sémantiques ne sont pas suffisantes, si par exemple des expériences ou des mesures doivent être réalisées. Il va de soi que la L-vérité et la C-vérité ne sont pas du tout de même nature. La L-vérité est purement formelle, la C-vérité est empirique.

de mesurer si l'on veut prouver les théorèmes. Les règles sémantiques pourraient en ce sens appartenir à la catégorie des énoncés synthétiques *a posteriori*, mais Carnap semble trop emporté dans son analyse sémantique pour songer à s'interroger sur cette question épistémologique.

Il y a donc bel et bien deux types de règles sémantiques : celles dont la compréhension et l'application n'impliquent pas la nécessité d'expérimentations, d'opérations de comptage ou de mesure ; et celles dont la compréhension et l'application implique de telles opérations. Celles qui conduisent à des théorèmes L-vrais d'un côté, et celles qui conduisent à des théorèmes C-vrais de l'autre.

Mais le véritable critère de démarcation nous semble résider dans la présence indispensable, au sein de l'énoncé d'une règle sémantique conduisant à un théorème C-vrai, de définitions opérationnelles. Ces dernières sont, selon la conception de Carnap en 1939, indispensables pour assurer la vérité des théorèmes physiques. Elles sont une conséquence, selon nous, de la volonté par Carnap de conduire l'épistémologie coordinative jusqu'au bout. Il y a une exigence interne à la pensée de Carnap : garder à l'instrument de l'analyse philosophique toute sa neutralité, pour permettre à la philosophie scientifique d'accomplir sa tâche. À cette exigence de départ se conjugue, au cours de l'évolution de la pensée de Carnap, une deuxième exigence : celle de conduire à son terme l'épistémologie coordinative, qui présuppose une interprétation instrumentaliste de la logique et des mathématiques.

4 – 1956 : « The Methodological Character of Theoretical Concepts » et la critique de l'opérationnalisme.

L'article de 1956, « The Methodological Character of Theoretical Concepts »⁴² constitue, 42 R. Carnap, « The methodological Character of Theoretical Concepts », in H. Feigl et M. Scriven eds., *The*

III. A) CARNAP : DE LA DÉFINITION EXPLICITE À L'INTERPRÉTATION PARTIELLE DES THÉORIES

malgré sa brièveté, une étape importante dans le développement de la pensée carnapienne. Comme d'habitude chez Carnap, il y est question de donner un critère de signification pour les termes d'un langage théorique, sur la base des termes d'un langage observationnel. Tout l'enjeu est de s'assurer que des concepts qui font référence « à des événements inobservables, à des aspects ou propriétés d'événements inobservables, i.e. des micro-particules comme les électrons ou les atomes, des champs électromagnétiques ou gravitationnels en physique [...] » sont véritablement « empiriquement significatifs ».⁴³

Or, dans le contexte critique du mouvement empiriste logique des années cinquante aux Etats-Unis, il est apparu que la distinction évoquée entre « langage observationnel » et « langage théorique » n'est pas bien définie : tous les critères de démarcation précédemment proposés étaient trop forts, ou trop faibles ; il semblerait qu'il y ait là un continuum plutôt que deux ensembles de termes appartenant à des langages bien délimités. C'est pourquoi la stratégie de Carnap est modifiée à partir de cet article. Pour que les termes théoriques du langage théorique (L_T) possèdent une signification empirique il faut pouvoir leur donner une *interprétation* grâce aux termes du langage observationnel (L_O). Mais, nous précise Carnap, cette interprétation ne peut être que partielle : « the rules connecting the two languages (which we shall call "rules of correspondence") can give only a partial interpretation for the theoretical language »⁴⁴.

Notre but, dans cette section, sera d'expliquer ce que Carnap veut signifier par « interprétation partielle », et montrer que cette nouvelle manière de voir la relation entre langage théorique et langage observationnel est en réalité motivée par des problèmes qui se réduisent aux problèmes déjà analysés dans la première partie, à savoir les problèmes qui se posent pour définir les concepts de grandeur lorsque ceux-ci apparaissent dans plusieurs équations et sont mesurables

Foundations of Science and the Concepts of Psychology and Psychoanalysis, University of Minnesota Press, 1956, pp. 38–76.

⁴³ *Ibid*, p. 38.

⁴⁴ R. Carnap, *op. cit.* p. 39.

par différents moyens.

Le langage observationnel L_O est composé d'un vocabulaire V_O constitué de la sorte :

The terms of V_O are predicates designating observable properties of events or things (e.g., "blue", "hot", "large" etc.) or observable relations between them (e.g., "x is warmer than y", "x is contiguous to y", etc.).⁴⁵

D'après les exemples que donne Carnap, il s'agit en réalité d'un langage qualitatif, où les échelles métriques les plus élaborées sont des échelles ordinales. Le philosophe donne d'ailleurs à la suite une liste des exigences logiques qu'un tel langage – simpliste – doit satisfaire. Bien évidemment ces exemples et définitions sont susceptibles d'être critiqués sur la base de la notion d'observabilité. Mais les débats sur la question ne nous intéressent pas pour l'instant.

Le langage théorique L_T , quant à lui, doit contenir, en plus des termes conceptuels de la physique, toutes les mathématiques nécessaires. Carnap explique comment, sur la base de trois axiomes ensemblistes $C1$, $C2$ et $C3$, dont le premier nous donne un domaine D d'entités dénombrables, et qui possèdent le statut de simples conventions, on peut reconstruire toutes les mathématiques nécessaires à la physique théorique (de l'époque), de l'arithmétique élémentaire à l'analyse complexe. Après cela, il ne reste plus que la partie physique :

Now we proceed to physics. We assume that L_T is based upon a particular space-time coordinate system ; thus the space-time points are ordered quadruples of real numbers and hence, according to $C2$, belong to D . A space-time region is a class of space-time points. Any particular system of which a physicist may speak, e.g., a material body or a process of radiation, occupies a certain space-time region. When a physicist describes a physical system or a process occurring in it or a momentary state of it, he ascribes values of physical magnitudes (e.g., mass, electric charge, temperature, electromagnetic field intensity, energy, and the like) either

⁴⁵ *Ibid*, p. 41.

III. A) CARNAP : DE LA DÉFINITION EXPLICITE À L'INTERPRÉTATION PARTIELLE DES THÉORIES

to the space-time region as a whole or to its points. The values of physical magnitudes are either real numbers or n-tuples of such. Thus a physical magnitude is a function whose arguments are either space-time points or regions and whose values are either real numbers or n-tuples of such. Thus, on the basis of our conventions, the domain D contains space-time points and regions, physical magnitudes and their values, physical systems and their states. A physical system itself is nothing else than a space-time region characterized in terms of magnitudes. In a similar way, all other entities occurring in physical theories can be shown to belong to D .⁴⁶

Après un avertissement à teneur anti-métaphysique et anti-Quinien dans lequel Carnap rappelle que parler d'une entité dans un langage ne revient pas à se prononcer sur son existence réelle dans le monde (question qui est d'ailleurs pour lui dénuée de tout « contenu cognitif » (*cognitive content*)), il affirme que L_T est bien un calcul non-interprété (*uninterpreted calculus*), et que par conséquent il n'y pas de limitation quant aux structures que l'on peut réquisitionner pour en former les expressions, tant qu'il est possible, grâce aux règles de correspondance (*C-rules*) de donner une interprétation, même partielle, en terme de L_O .

Nous en venons maintenant aux règles de correspondance. Puisque le langage L_O n'est qu'un langage qualitatif constitué de relations d'identité ou d'ordre, il n'est pas suffisant pour formuler la physique mathématique, et les sciences de la nature en général. Pour exprimer la complexité requise le langage L_T est suffisant, mais il n'est qu'un calcul non-interprété (il s'agit d'un langage abstrait, purement mathématique, n'ayant aucune connexion avec le réel). Pour que le langage L_T soit empiriquement significatif il est donc nécessaire de lui donner une interprétation dans les termes du langage L_O , qui lui, fait directement référence à des entités du monde réel :

There is no independent interpretation for L_T . The system T [l'ensemble des postulats formulés dans L_T] is in itself an uninterpreted postulate system. The terms of V_T obtain only an indirect and incomplete interpretation

⁴⁶ *Ibid*, pp. 43-44.

by the fact that some of them are connected by the rules C with observational terms, and the remaining terms of V_T are connected with the first one by the potulates of T . Thus it is clear that the rules C are essential ; without them the terms of V_T would not have any observational significance.⁴⁷

Les termes du vocabulaire théorique V_T , apparaissant dans les postulats T (qui ne sont rien d'autres que les lois de la théorie physique analysée) formulés selon les règles du langage L_T , n'acquièrent de signification empirique qu'à travers le lien que les règles de correspondance établissent avec les termes du vocabulaire observationnel V_O appartenant au langage observationnel L_O .

Les règles C de correspondance sont les descendantes directes des principes de coordination dont Reichenbach avait reconnu la nécessité. Mais fidèle au conventionnalisme schlickéen, Carnap ne voit dans ces règles qu'un ensemble de postulats, c'est-à-dire des conventions.⁴⁸ Mais sur quoi portent ces conventions ? :

As an example we may think of L_T as a language of theoretical physics, based on a space-time coordinate system. Among the rules C there will be some basic ones, concerning space-time designations. *There may specify a method for finding the coordinates of any observationally specified location, e.g., the method used by navigators for determining the position (the spatial coordinates, longitude, latitude and altitude) and time. In other words, these C -rules specify the relation R which hold between any observable location u and the coordinates x, y, z, t , where x, y, z are the spatial coordinates and t the time coordinate of u . More exactly speaking, the relation R relates to an observable space-time region u , e.g., an observable event or thing, a class u' of coordinate quadruples which may be specified by intervals around the coordinative values x, y, z, t .*⁴⁹

47 *Ibid*, p. 47.

48 À vrai dire, Carnap reconnaît que ces règles peuvent être formulées soit comme des postulats (mais alors dans quel langage?) soit comme des règles d'inférences. Il n'explore toutefois pas cette deuxième piste dans l'article. Quoi qu'il en soit, postulats ou règles d'inférence, rien n'empêche de considérer les règles de correspondance comme des conventions.

49 *Ibid*, p. 47. Nous soulignons.

III. A) CARNAP : DE LA DÉFINITION EXPLICITE À L'INTERPRÉTATION PARTIELLE DES THÉORIES

En termes, peut-être moins exacts, mais plus opérationnels, les règles de correspondance sont tout simplement des règles de mesure, comme celles qu'utilise un navigateur, dit Carnap, pour mesurer sa latitude sur le globe, avec par exemple, un sextant. Dans cet exemple précis, la relation R est celle qui relie un point réel du globe terrestre (l'emplacement du navire) au nombre (en l'occurrence un angle) obtenu par lecture sur le sextant. La méthode d'utilisation d'un sextant (viser telle étoile, viser l'horizon, corriger les perturbations de la houle, etc.) fait partie de la « spécification » de cette relation. Pour relier cet angle aux quatre coordonnées dont parle Carnap, il faut pourtant déjà de la théorie (et en l'état effectuer une transformation de coordonnées, puisqu'il faut passer de coordonnées polaires, à des coordonnées cartésiennes). Ainsi exprimé, l'exemple de Carnap est donc particulièrement simpliste, puisqu'il ne nous dit rien du statut des transformations mathématiques qu'il faut effectuer afin de formuler les relevés de mesure selon la forme canonique : font-elles partie des règles de correspondance ? Une partie de la théorie leur est-elle réservée ? Ces transformations peuvent bien évidemment figurer parmi les lois de la théorie (l'ensemble T), et c'est probablement ce que Carnap sous-entend, mais pourtant ces transformations font bien partie de la « méthode » utilisée par le navigateur pour exprimer sa position selon la forme canonique en quadruplet de nombre. Par conséquent la règle de correspondance utilisée devra contenir une longue liste d'opérations, à la fois matérielles et mathématiques, qui constitue à elle seule un sous-ensemble théorique, à savoir la science qui règle l'usage de certains instruments de mesure et l'interprétation de leur résultats.

Et ce n'est pas fini. L'emplacement du navire, que Carnap nomme un emplacement *observable*, n'est pas, ainsi que cette désignation pourrait le faire croire, une entité primitive (comme une feuille sur cette table), mais au contraire une construction extrêmement élaborée, puisqu'elle est obtenue à partir de l'observation (dans le cas de l'usage d'un sextant) d'une étoile, de la connaissance du mouvement de cette étoile dans le ciel, de la connaissance en somme de toute

une partie de l'astronomie. En réalité, la règle de correspondance ne relie pas un langage théorique à un langage observationnel, mais elle relie deux langages théoriques.

Mais il s'agit là bien sûr des règles de correspondance destinées à la mesure des grandeurs pour lesquelles il existe une mesure directe absolue. Comment faire dans le cas d'une mesure relative ? c'est-à-dire dans le cas de la mesure d'intensités, ou de capacités :

On the basis of these *C*-rules for space-time designations, other *C*-rules are given for terms of V_T , e.g., for some simple magnitudes like mass, temperature, and the like. These rules are spatiotemporally general, i. e., they hold for any space-time location. They will usually connect only very special kind of value-distribution of the theoretical magnitude in question with an observable event. For example, a rule might refer to two material bodies u and v (i. e., observable at locations u and v); they must be neither too small nor too large for an observer to see them and take them in his hands. The rule may connect the theoretical term "mass" with the observable predicate "heavier than" as follows : "If u is heavier than v , the mass of u' (i. e., the mass of the coordinate region u' corresponding to u) is greater than the mass of v' ." Another rule might connect the theoretical term "temperature" with the observable predicate "warmer than" in this way : "If u is warmer than v , then the temperature of u' is higher than that of v' ."⁵⁰

Cette conception est déjà un peu différente de celle de Reichenbach en 1920. Outre le fait que chez Carnap les mathématiques font partie du langage théorique et non de la coordination, la grosse différence est que chez Reichenbach il ne s'agit pas de relier deux langages et leur termes, mais simplement de donner un contenu empirique aux concepts de grandeurs, qui sinon sont de simples variables mathématiques dans une équation. Chez Reichenbach, l'« interprétation » d'un concept de grandeur est simplement l'ensemble des méthodes de mesure que l'on utilise pour en déterminer la valeur au sein d'un système physique.⁵¹

Tout le problème vient du fait de savoir si l'on doit mentionner un appareil de mesure

⁵⁰ *Ibid*, pp. 47-48.

⁵¹ Ce ne sont pas les seuls types de principe de coordination. Certains sont beaucoup plus généraux, voir à ce sujet l'article déjà cité de Flavia Padovani. Dans tous les cas, ils sont apparentés à des conventions.

spécifique dans l'énoncé de la règle de correspondance. Car si on le fait, on risque de tomber dans les travers de la conception opérationnaliste à la Bridgman, et multiplier sans raison les concepts théoriques et les lois empiriques les reliant. À cet égard on pourrait voir dans la riche complexité de la proposition carnapienne une manière d'éviter ce problème : il ne s'agit plus de relier des concepts et des opérations, mais des termes appartenant à des langages différents. Si cette option évite bien le problème central de l'opérationnalisme, elle tombe pourtant dans un autre problème : celui de l'interprétation des termes du langage observationnel. Car sous cette forme, la logique de la science de Carnap ne relie la physique à rien de réel, elle relie des mots à des mots, et non des mots à des événements, ou des faits, ou des objets.

Ce n'est donc pas une surprise si l'effort principal des empiristes-logiques consiste à prouver que les termes du langage observationnel sont *directement* référentiels.⁵² Mais dans l'exemple ci-dessus, des prédicats comme « heavier than » (plus lourd que) et « warmer than » (plus chaud que) sont, premièrement, qualitatifs. Or en physique il ne suffit pas de savoir que de deux objets, l'un est plus lourd, il faut aussi savoir *de combien* l'un est plus lourd que l'autre ; ce qui implique une référence à une unité, et à un appareil, ou une opération de mesure. Par ailleurs il faudrait savoir comment est déterminée la relation qualitative. Si c'est, comme le laisse penser Carnap, en prenant les objets dans la main, alors la règle de correspondance peut donner lieu à des aberrations catastrophiques pour la physique.⁵³ Il n'y a pas d'autre solution, dans ce cas là, que de faire référence à l'opération la plus fiable, et non se contenter de penser que la relation « plus chaud que » est directement observable. Plus grave encore, admettons que l'on détermine une opération simple et fiable pour ordonner certains objets selon la relation « plus chaud que » ; il est fort probable que cette opération ne sera valable que pour un nombre fort restreint d'objets, pour lesquels les

52 Russell aurait dit : que l'on peut définir ostensiblement.

53 De deux objets, il est en effet possible que l'un paraisse plus chaud que l'autre, sans pour autant qu'il y ait un écart de température entre les deux, puisque ce que nous sentons avec la main n'est pas la température de l'objet, mais l'échange de chaleur entre la main et l'objet.

températures se situeront dans un intervalle très restreint lui aussi (on ne peut pas, en effet, déterminer, *en les prenant dans la main*, lequel d'un charbon ardent ou d'une barre de métal chauffée à rouge, est le plus chaud).

La seule chose que fait Carnap est donc de relier un langage quantitatif à un langage qualitatif. Pour le dire plus simplement, Carnap nous fournit bien un critère de signification pour un terme théorique comme « plus élevé en température que » (qui appartient à Vt), mais il ne donne aucun critère de signification pour une relation comme « plus chaud que » (qui appartient à Vo). Littéralement, dans le cadre carnapien, personne ne sait ce que « plus chaud que » signifie. Le problème ici est qu'il ne semble pas possible de spécifier le sens d'un « terme observationnel », et de la propriété observable à laquelle il fait référence, sans définir une opération, c'est-à-dire, du point de vue logique, une disposition.

Indépendamment de ce problème concernant le sens des termes observationnels, ce n'est pas un hasard si la fin de l'article est consacré à une discussion critique de l'opérationnalisme. Car le problème des dispositions, et celui de l'opérationnalisme sont liés. Carnap y reconnaît le point que nous venons de souligner. En toute rigueur n'importe quel « terme observationnel », et la « propriété observable » à laquelle il fait directement référence, doit se définir par une disposition :

There is actually no sharp line between observable properties and testable dispositions. An observable property may be regarded as a simple special case of testable disposition ; for example the operation for finding out whether a thing is blue or hissing or cold, consist simply in looking or listening or touching the thing respectively. Nevertheless, in the reconstruction of the language it seems convenient to take some properties, for which the test procedure is extremely simple (as in the three examples just mentioned), as directly observable and use them as primitives in L_o .⁵⁴

54 *Ibid*, p. 65. Malgré l'affirmation de Carnap, les opérations citées ici peuvent ne pas se révéler aussi simples. Par exemple pour savoir si un objet est bleu, il ne suffit pas de le regarder, mais il faut aussi s'assurer qu'on le regarde à la lumière blanche, avoir par conséquent un moyen (une opération) pour déterminer si une lumière est blanche, et cela indépendamment de la couleur des objets qu'elle éclaire, etc. Par ailleurs remarquons que Carnap concède finalement que la propriété d'être directement observable est une simple convention établie pour des raisons de simplicité.

Nous pourrions ainsi affirmer, sans risquer d'entrer en contradiction avec Carnap, que tous les « termes observationnels » et les « propriétés observables » auxquelles ils font référence, sont des « termes dispositionnels » faisant référence à des opérations (ou dispositions). Si l'on veut utiliser ces termes il faut donc qu'ils soient définis par ces opérations. Pour chaque opération (de mesure) différente, nous aurons donc en principe un concept métrique différent. Carnap le reconnaît :

Bridgman has emphasized that, strictly speaking, for one concept no more than one test procedure must be given. If we specify, say for "electric charge", three test procedures, then thereby we have given operational definitions for three different concepts ; they should be designated by three different terms, which are not logically equivalent. *As far as disposition concepts are concerned, in distinction to theoretical terms, I would agree with Bridgman in this point.*⁵⁵

Remarquons que Carnap tente de distinguer ici les concepts théoriques et les concepts dispositionnels. Mais les concepts théoriques, en physique, ne sont rien d'autre que des concepts de grandeur. Et les grandeurs, nous l'avons affirmé dans l'introduction et dans la section I, A, se définissent (au moins partiellement) par des opérations (c'est-à-dire des dispositions). Sur quoi repose alors la différence que Carnap tente de sauver ici ? Probablement sur le fait que les concepts de grandeur sont des *agencements* de concepts dispositionnels, car le même concept général de grandeur, peut effectivement faire référence à différentes opérations de mesure. Mais nous reviendrons sur ce problème puisque Carnap y consacre l'avant dernière section de son article. Tout d'abord, quel traitement Carnap entend donner à ces «concepts dispositionnels » ? :

Let us now consider an important special kind of disposition. Let L''_o be that sublanguage of L'_o , in which the

55 *Ibid*, p. 64. Nous soulignons.

introduction of a disposition term ' D_{SR} ' is permitted only if S and R are such that the observer is able to produce the condition S at will (at least in suitable cases), and that he is able to find out by suitable experiments whether the event R does or does not occur. In this case, by specifying S and R , a test procedure for the disposition D_{SR} is given. [...]. Let us call a disposition of this kind a "testable disposition". The class of testable properties includes observable properties and testable dispositions. All predicates in L''_O designate testable properties. The manipulation by which the experimenter produces the test condition S are sometime called test operations. The introduction of D_{SR} by a specification of the test operation and the characteristic result R is therefore sometimes called an *operational definition*.⁵⁶

Voilà donc la détermination d'une définition opérationnelle. Quelle est donc le problème avec ce genre de définition ? Voilà ce qu'écrit Carnap :

The view has often been maintained, especially by empiricists, that only terms of the kind just described, may be regarded as empirically meaningful. Thus testability was taken as a criterion of significance. The *principle of operationism* says that a term is empirically meaningful only if an operational definition can be given for it. [...] The principle of operationism, which was first proposed in physics by Bridgman, and then applied also in others fields of science, including psychology, had on the whole a healthy effect on the procedures of concept formation used by scientist. The principle has contributed to the clarification of many concepts and has helped to eliminate unclear and even unscientific concepts. On the other hand we must realize today that the principle is too narrow.⁵⁷

Pourquoi le principe serait-il trop étroit ? Parce qu'il exclut, explique Carnap, certains termes qui sont empiriquement significatifs. Carnap renvoie ici aux passages de *Testabilité et Signification* déjà analysés. Il n'est cependant pas évident de voir si le défaut du principe opérationnaliste concerne la physique seule. La critique de ce principe, en effet, émane principalement de la psychologie, où son application trop rigoureuse entraîne l'impossibilité

⁵⁶ *Ibid*, pp. 64-65.

⁵⁷ *Ibid*, p. 65.

d'utiliser certains concepts pourtant pertinents d'un point de vue méthodologique. Il est difficile de voir si ce défaut se retrouve aussi en physique.

Revenons maintenant à la question de la distinction des termes théoriques et des termes dispositionnels. Cette question nous intéresse car Carnap nie que les concepts de grandeur en physique soient uniquement des concepts dispositionnels. Nous pensons au contraire que, même si l'*usage théorique* de ces concepts les range dans la classe des termes théoriques, leur *signification empirique* n'est pas moins déterminée par des termes dispositionnels, et uniquement dispositionnels. De plus, l'opinion de Carnap sur cette question dans l'article, est différente de celle présentée plus tôt dans *Testabilité et Signification*. D'abord, quelle est la différence entre un terme théorique et un terme dispositionnel ? La réponse est d'autant plus ardue que deux solutions sont possibles selon Carnap :

The same term, say "temperature", may be interpreted, as I do interpret it, in such a way that it cannot be represented in L'_O but only in L_T ; and, on the other hand, it may also be interpreted, e. g., by an operationist, in such a way that it fulfills the requirement of operationism.⁵⁸

Pour interpréter un concept de grandeur de manière conforme au principe de l'opérationnalisme, il suffit de l'interpréter comme une « pure disposition ». Un terme D_{SR} est purement dispositionnel s'il répond aux trois caractéristiques suivantes qui le distinguent d'un terme théorique :

1. The term can be reached from predicates for observable properties by one or more steps of the procedure described.
2. The specified relation between S and R constitutes the whole meaning of the term.

⁵⁸ *Ibid*, p. 66.

3. The regularity involving S and R , on which the term is based, is meant as universal, i.e., holding without exception.⁵⁹

La première caractéristique est technique et n'a pas beaucoup de conséquences pratiques. Elle permet d'éliminer certains termes dispositionnels dont les conditions de testabilité sont formulées avec des termes du langage théorique et non avec des termes du langage observationnel : « The first characteristic distinguishes a pure disposition term like ' D_{SR} ' from other disposition terms which are analogous to ' D_{SR} ' but such that the condition S and the characteristic R are formulated in L_T rather than in L_O or L'_O . (They might be called "theoretical disposition terms" ; we shall not discuss them further) ».

La deuxième caractéristique est plus intéressante car elle suffit à distinguer le terme dispositionnel de n'importe quel autre terme théorique. Puisque la relation entre S et R constitue l'intégralité de la signification, le terme est *totalemment* interprété ; cela le distingue radicalement des termes théoriques qui ne sont que *partiellement* interprétés. Et c'est sur l'explication de ce point que Carnap dévie de sa position de 1936. En 1936 en effet Carnap tentait de pallier au problème de l'incomplétude de l'interprétation par l'introduction de règles dispositionnelles sous forme de chaînes (ainsi que nous l'avons vu dans la section III, A, 2). Il pense dans cet article que l'incomplétude est mieux corrigée sans sortir du langage théorique, par l'ajout de règles de correspondance :

In [Testability and Meaning] I recognized this "open" character of scientific terms, that is, the incompleteness of their interpretation. At that time I tried to do justice to this openness by admitting the addition of further dispositional rules (in the term of reduction sentences [...]). I think now that the incompleteness is more adequately represented in L_T ; whenever additional C -rules or additional postulates are given, the interpretation

59 *Ibid.*

III. A) CARNAP : DE LA DÉFINITION EXPLICITE À L'INTERPRÉTATION PARTIELLE DES THÉORIES

of the term may be strengthened without ever being completed.⁶⁰

Avant d'en venir à la troisième caractéristique, que Carnap développe énormément, mais qui nous intéresse beaucoup moins (en effet cette troisième caractéristique élimine de nombreux concepts psychologiques, sans toucher beaucoup à la physique), appesantissons-nous sur ce changement entre 1936 et 1956. Quelle est exactement la différence entre les deux versions ? En 1936 l'incomplétude est représentée d'un point de vue expérimental (à partir du langage observationnel), et la construction du terme théorique se fait par la conjonction (jamais complète) de termes dispositionnels. En 1956 l'incomplétude est conçue d'un point de vue théorique, c'est en ajoutant des postulats (*i.e.* des lois de la physique) ou des règles de correspondance que l'on restreint l'incomplétude du terme théorique, le langage observationnel contenant le moins possible de termes dispositionnels.

À cet égard les énoncés de réduction définissant les termes dispositionnels, dans la version de 1936, jouent un peu le même rôle logique que les règles de correspondance dans la version de 1956. En ce sens la version de 1956 est aussi beaucoup plus proche de la position traditionnelle « à la Reichenbach ». La condamnation qu'exprime Carnap à la page 48 :

[...] the C-rules effect a connection only between certain sentences of a very special kind in L_T and sentence in L_O . The earlier view, that for some terms of V_T there could be [explicit] definitions in terms of V_O , called either 'correlative definitions' (Reichenbach) or 'operational definition', has been abandoned by most empiricists as an oversimplification⁶¹

ne peux pas valoir pour la position de Reichenbach *en 1920*, ainsi que nous croyons l'avoir montré.

Mais cette différence entre la version de 1936 et celle de 1956 a-t-elle alors réellement une

⁶⁰ *Ibid*, p. 67.

⁶¹ *Ibid*, p. 48.

conséquence sur le statut logique des concepts de grandeurs ? Sont-ils des « termes théoriques » dont l'interprétation (la signification empirique) n'est donnée incomplètement que par l'intermédiaire des règles de correspondance ? Ou bien sont-ils des conjonctions, que l'on peut toujours enrichir, de « termes dispositionnels » appartenant au langage observationnel ? Dans le premier cas, l'enrichissement d'un concept de grandeur augmente le nombre de postulats ou de règles de correspondance. Dans le second cas, l'enrichissement du concept entraîne l'augmentation du nombre de termes dispositionnels. Il semble qu'en 1956 Carnap préfère tenter d'éliminer les termes dispositionnels au profit de constructions théoriques, afin d'alléger le langage observationnel :

I think today that, for most of the terms in the theoretical part of science and especially in physics, it is more adequate and also more in line with the actual usage of scientists, to reconstruct them as theoretical terms in L_T rather than as disposition terms in L'_O . The choice of the form of reconstruction depends to some extent upon the interpretation which we wish to give to the term, and this interpretation is not uniquely determined by the accepted formulations in science.⁶²

Il n'y a donc pas de raison théorique de préférer une solution plutôt que l'autre. Les raisons sont purement pragmatiques, la solution par les règles de correspondances ou postulats est plus simple pour le logicien, et, affirme Carnap, plus conforme à ce que font les physiciens de leurs concepts. La différence de statut logique n'est donc pas fondamentale : le statut logique d'un concept dépend essentiellement du langage et des conventions choisies pour la reconstruction. Ce pluralisme logique est d'ailleurs une position que Carnap ne cesse de revendiquer.⁶³ Ensuite, Carnap a-t-il raison lorsqu'il affirme que sa dernière solution est plus conforme à l'usage des physiciens ? Nous pourrions répondre, qu'elle est plus conforme à l'usage des physiciens théoriciens, mais pas à

62 *Ibid*, p. 66.

63 Il est lié au principe de tolérance exposé dans *La syntaxe logique du langage*, R. Carnap, *Logical Syntax of Language*, Routledge, 2000.

l'usage des physiciens expérimentateur, desquels Bridgman fait partie.

5 – Épilogue : « vrai en vertu de » et les énoncés synthétiques p-valides

Carnap écrit :

Wittgenstein continues : « And so also it is one of the most important facts that the truth or falsehood of non-logical sentences can *not* be recognized from the sentences alone ». This statement, expressive of Wittgenstein's absolutist conception of language, which leaves out the conventional factor in language construction, is not correct. It is certainly possible to recognize from its form alone that a sentence is analytic ; but only if the syntactical rules of the language are given. If these rules are given, however, then the truth or falsity of certain synthetic sentences – namely the determinates ones – can also be recognized from their form alone. It is a matter of convention whether we formulate only L-rules, or include P-rules as well ; and the P-rules can be formulated in just as strictly formal a way as the L-rules.⁶⁴

Dans ce petit paragraphe Carnap montre clairement que les principes de coordination que Reichenbach désignait comme des principes synthétiques *a priori* (au sens de constitutif) est bel et bien conservé dans une des versions les plus élaborées de l'empirisme-logique. Il existe dans la physique quelques énoncés synthétiques (les principes), non réductibles à des lois logiques, dont la vérité et la fausseté se détermine formellement, et non pas empiriquement. Carnap parle aussi d'énoncés synthétiques P-valides, c'est-à-dire rendus valides par des P-règles, et pas seulement par des L-règles.

Faut-il y voir pour autant une restauration du synthétique *a priori* ? Remarquons à ce propos que si Carnap conserve bien l'appellation « synthétique » pour désigner les énoncés qui sont vrais

64 R. Carnap, *Logical Syntax of Language*, Routledge, 2000, § 52, p. 186.

mais pas uniquement sur la base des L-règles (c'est-à-dire les énoncés que l'on ne peut pas déduire des principes de la logique seulement), il abandonne totalement la notion d' *a priori*.⁶⁵

Remarquons aussi que sa conception de l'analyticité est totalement frégréenne : un énoncé est analytique s'il se déduit des principes de la logique seulement. Or, chez Wittgenstein, et dans certains écrits de Schlick, l'analyticité est définie comme la caractéristique d'un énoncé qui est vrai en vertu de sa forme seulement, c'est-à-dire un énoncé *tautologique*. De ce point de vue wittgensteino-schlickéen, l'affirmation citée de Carnap n'a aucun sens. Pour un wittgensteinien, en effet, dire qu'un énoncé synthétique est tautologique, revient à affirmer l'existence d'énoncés à la fois synthétiques et analytiques.

Ce n'est certainement pas ce que veut dire Carnap. Pour lui le prédicat « être vrai en vertu de la forme seulement » ou « tautologique » n'est pas pris en un sens absolu : la forme d'un énoncé dépend des axiomes (ou principes) du système. L'affirmation de Carnap est, en réalité, totalement triviale. Un énoncé synthétique peut être vrai ou faux en fonction des faits hors du langage, mais il peut aussi être « nécessairement » vrai (valide) si on peut le déduire de, ou qu'il est identique à, une P-règle. Mais une P-règle n'est rien d'autre qu'un énoncé synthétique que l'on a érigé au statut de principe. Tous les énoncés synthétiques P-valides (qui sont vrais en vertu de certains faits, mais aussi valides en ce qu'ils sont déductibles d'une P-règle) le sont donc par pure convention : la convention qui décide d'ériger une proposition synthétique au rang de principe.

Le même procédé conventionnel, chez Schlick, faisait passer des propositions synthétiques *a posteriori* au rang de propositions analytiques *a priori*. Carnap, peut-être pour tenir compte des réserves de Reichenbach, mais aussi par souci de distinction et de clarté, distingue entre les énoncés valides en vertu des lois logiques seulement, qui sont les énoncés L-valides ou analytiques, et les

65 Voir à cet égard le chapitre sur l'*a priori* dans R. Carnap, *Les Fondements Philosophiques de la Physique*, Armand Collin, 1973.

III. A) CARNAP : DE LA DÉFINITION EXPLICITE À L'INTERPRÉTATION PARTIELLE DES THÉORIES

énoncés valides en vertu des principes physiques, aussi appelés énoncés P-valides, qui ne constituent qu'un sous-ensemble des énoncés synthétiques (et plus particulièrement des énoncés synthétiques vrais en vertu des faits, car il est fortement improbable que Carnap ait envisager la possibilité d'ériger au statut de principe des énoncés synthétiques faux⁶⁶).

Chez Schlick et Wittgenstein, « valide », « analytique » et « tautologique » sont synonymes, chez Carnap ils ne le sont pas. L'amalgame de Schlick et Wittgenstein provient du fait qu'ils utilisent comme définition de l'analytique le caractère tautologique d'un énoncé. Cette définition est cohérente avec la position de Wittgenstein pour qui les principes ne sont pas conventionnels, mais elle ne l'est pas avec la position empirico-conventionnaliste de Schlick.⁶⁷ Selon ce dernier, certains principes peuvent être choisis conventionnellement, la notion de forme logique devient donc relative, alors que chez Wittgenstein elle demeure absolue. Carnap remarque à juste titre que cette conception absolutiste n'est pas adaptée à l'analyse du langage des théories scientifiques les plus développées.

La conception de Carnap demeure toutefois critiquable sur au moins trois points. Premièrement Carnap affirme souvent qu'il pense qu'une réduction de la physique sur la seule base des L-règles est possible (ce qui n'est vraiment pas envisageable, à moins de supposer par exemple que l'impossibilité d'une machine à mouvement perpétuel soit une impossibilité purement logique).

Deuxièmement, Carnap, au moins dans le passage cité, ne rapporte jamais la notion « être vrai en vertu de la forme » à la notion de tautologie. Or si Carnap peut affirmer qu'un énoncé

66 C'est d'ailleurs en partant de là que l'on pourrait reformuler le problème de l'induction chez les empiristes-logiques. Le problème traditionnel de l'induction n'en est pas un pour les empiristes, car les principes physiques n'obtiennent leur statut que par convention, et non par induction. Mais on peut très bien se demander ce qui justifie le choix d'une convention particulière ; la vérité empirique de l'énoncé semble être un critère déterminant, mais cette vérité ne peut être établie que de manière approchée : il est tout à fait possible, même si ce n'est pas du tout désirable, que nous ayons choisi conventionnellement comme principe, un énoncé qui se révélera faux par la suite. C'est pour cela que chez Reichenbach, le principe physique suprême est le principe de probabilité, le seul qui puisse donner un sens à la notion de vérité empirique.

67 Ce n'est à cet égard d'ailleurs pas un hasard que, dans sa période sous l'influence de Wittgenstein, Schlick soit revenu sur ses affirmations conventionnalistes.

synthétique est susceptible d'être vrai en vertu de sa forme, c'est seulement parce que pour lui « vrai en vertu de la forme » ne signifie pas analytique. Mais, pour Carnap, « vrai en vertu de la forme » signifie-t-il aussi, comme pour Wittgenstein et Schlick, « tautologique » ? On voit en effet difficilement comment un énoncé ayant un contenu empirique peut être tautologique ; à moins de supposer que le fait de l'ériger en principe le vide de ce contenu empirique, et le principe serait alors analytique (comme chez Schlick). C'est pourquoi il est nécessaire de supposer, pour que la position de Carnap conserve un sens, que chez lui « vrai en vertu de la forme » ne veut pas nécessairement dire « tautologique ». Il y aurait, parmi les énoncés vrais en vertu de leur forme, d'un côté les énoncés authentiquement tautologiques, identiques aux, ou déductibles des principes de la logique, et de l'autre côté les énoncés non-tautologiques mais dérivables des P-règles (les principes de la physique).

Enfin sa position sur les énoncés synthétiques vrais n'est pas claire. Carnap semble penser qu'une fois les conventions à propos des P-règles réalisées, il s'en suit nécessairement, que toutes les propositions synthétiques empiriquement vraies (vraies en vertu des faits) sont aussi P-valides (déductibles de principes physiques, ce qui n'est pas étonnant puisque les conventions sont choisies pour cela), mais aussi, que toutes les propositions P-valides sont empiriquement vraies – ce qui ne peut être accepté par un véritable empiriste qu'à la condition que les principes logiques et physiques soient révisables. Heureusement Carnap accorde ce dernier point⁶⁸, en anticipant, notons-le bien, une partie de la critique quinienne, qui perd une grande partie de sa valeur.

6 – Conclusion

Ainsi se termine notre étude de ce philosophe séminal du XX^{ème} siècle. Au fur et à mesure

68 R. Carnap, *Logical Syntax of Language*, Routledge, 2000, pp. 318-319.

III. A) CARNAP : DE LA DÉFINITION EXPLICITE À L'INTERPRÉTATION PARTIELLE DES THÉORIES

des décennies la position de Carnap s'ouvre progressivement et transite d'un projet de reconstruction des concepts de la science basé majoritairement sur la technique de définition explicite, à des reconstructions moins « logicistes », et plus en adéquation avec la nature véritable des concepts de grandeur.

Le souci de Carnap, à partir des années trente devient justement de rendre compte de la sémantique incomplète des concepts métriques. Cette sémantique particulière est en effet une des conséquences d'une vision coordinative de la physique. Si l'explicitation du sens des concepts métriques ne peut être réalisée qu'à travers la mise en rapport de la définition mathématique des variables apparaissant dans les équations de la théorie, avec les opérations de mesure disponibles à un moment donné du développement de la science, alors cette explicitation devient un processus sans fin, puisque jamais un nombre fini d'opérations de mesure ne peut venir à bout d'une définition mathématique potentiellement infinie.

Le cadre logique de la reconstruction qu'utilise Carnap importe peu pour mettre ce dernier point en évidence. Il choisi parfois d'exprimer les « principes de coordination » sous forme de lois à ajouter les unes aux autres afin de reconstituer progressivement le sens d'un concept. Il choisi d'autre fois d'exprimer ces principes sous la forme de « règles sémantiques » ou de « règles de correspondances ». Dans tous les cas c'est systématiquement une structure coordinative des théories mathématiques et physiques qui est mise en évidence (Carnap pense que ce schéma peut s'étendre à toutes les théories scientifiques, des mathématiques à la sociologie en passant par la physique, la biologie, la psychologie et l'économie).

Nous pourrions encore étudier d'autres textes, ultérieurs, où cette structure coordinative et le souci d'en rester à une définition partielle des concepts métriques est aussi manifeste⁶⁹.

69 Voir par exemple R. Carnap, « On the Use of Hilbert's ϵ -operator in Scientific Theories », in Yehoshua Bar-Hillel ed., *Essays on the Foundations of Mathematics*, Magnes Press, 1961 pp. 156--164. Ainsi que l'intervention de Hans Leitgeb aux « 9^{èmes} rencontres en Philosophie des Mathématique », à Nancy le 6 octobre 2017 qui commente en partie l'article de Carnap cité ci-dessus : H. Leitgeb, "Semantic Indeterminacy, Classical Mathematics, and the Sorites", 9th French PhilMath Workshop, Nancy (06/10/17).

Quant à la question du statut des « principes de coordination » et du conventionnalisme il est difficile d'apporter une réponse tranchée. Avec Carnap le mouvement de « dissolution de l'*a priori* » dont parle Reichenbach, atteint sa période de maturité.⁷⁰ Il va de pair, selon nous, avec une perte de vue d'un des enjeux initiaux de l'épistémologie coordinative : celui d'expliquer la possibilité des révolutions scientifiques. Il faut aussi préciser que chez Carnap, beaucoup plus que chez Reichenbach, le projet typiquement empiriste, hérité de la théorie vérificationniste de la signification occupe beaucoup de place.

Néanmoins, à la lecture de *La Syntaxe logique du langage*, il est à notre avis possible de conclure ce qui suit. Certes Carnap refuse toute forme de proposition s'apparentant de près ou de loin à une proposition synthétique *a priori*. Mais il prend toutefois la peine de distinguer, dans plusieurs de ses écrits, entre les principes (ou axiomes ou règles sémantiques) purement logiques ou mathématiques, et ceux possédant une origine ou un contenu empirique. Il en résulte la distinction que nous avons analysée entre les énoncés L-valides et les énoncés P-valides (ou, dans la version de 1939, les énoncés L-vrais et les énoncés C-vrais).

La dissociation du concept de vérité est une conséquence selon nous de l'évolution de l'épistémologie coordinative. Chez Reichenbach en 1920 elle prenait la forme d'une « relativisation » du concept d'*a priori*, les principes physiques y étaient constitutifs mais révisables empiriquement. Les principes P-valides possèdent les mêmes fonctions au sein de la théorie, ils sont constitutifs (ils donnent la forme des énoncés valides ou non au sein d'une théorie) mais ils sont révisables (ils nécessitent un recours à l'expérience pour fixer la vérité empirique des énoncés que l'on peut en déduire).

Carnap s'éloigne donc de Schlick car il reconnaît explicitement l'existence de deux types de principes – alors que pour Schlick, les principes logiques, mathématiques et physiques, les

⁷⁰ Nous mettons ici à part les thèses tout aussi « dissolvantes » de Saul Kripke dans *La logique des noms propres*, LES ÉDITIONS DE MINUIT, 1982. Ces thèses sont par ailleurs beaucoup plus tardives puisqu'elles datent des années soixante-dix.

III. A) CARNAP : DE LA DÉFINITION EXPLICITE À L'INTERPRÉTATION PARTIELLE DES THÉORIES

définitions et les hypothèses, avaient tous le statut de conventions, c'est-à-dire de propositions analytiques *a priori*.

Mais il n'est pas non plus dans la ligne du premier Reichenbach, chez qui les principes physiques constitutifs étaient tout de même issus d'un processus d'approximation successive. À cet égard la position de Carnap correspond à celle d'un conventionnalisme assez classique.

III. B) Hempel et l'autocritique de l'empirisme-logique

1 – Introduction

Dans les écrits de Hempel se retrouvent tous les éléments caractéristiques de l'épistémologie coordinative : un souci marqué pour les questions de la mesure⁷¹ accompagné de critiques de la position opérationnaliste ; un intérêt pour le problème des définitions complètes, hérité du mouvement d'axiomatisation des théories mathématiques et physiques ; et enfin nous pouvons ajouter aussi la volonté d'opérer un regard critique sur les positions du mouvement empiriste-logique, inspirées probablement par les arguments de Quine au début des années cinquante.

Les textes de Hempel constituent donc pour nous à la fois l'aboutissement et la fin de l'épistémologie coordinative.⁷² Les problèmes fondamentaux qu'avait déjà décelés Reichenbach y sont énoncés avec plus de clarté que jamais. Hempel adopte à cet égard une attitude pessimiste : selon lui les thèses centrales de l'empirisme-logique se confrontent à des problèmes insurmontables.

Le problème qui va nous intéresser particulièrement est celui de la définition complète des concepts métriques. Hempel veut en effet relever le défi suivant : il faut parvenir à donner une définition complète des concepts métriques qui puisse fournir une signification empirique (nous

71 Voir Carl G. Hempel, *Fundamentals of concepts formation in empirical science*, The University of Chicago press, 1952.

72 Nous verrons dans la dernière section que des éléments caractéristiques de cette épistémologie survivent après les années cinquante, mais toujours sous une forme remaniée ou dans un autre contexte.

aimerions dire un « équivalent » empirique) à toutes les valeurs théoriques logiquement possible des variables mathématiques représentant les grandeurs.

2 – Hempel, les définitions complètes et la critique de l'opérationnalisme

Or, le candidat le plus évident pour jouer le rôle de la définition complète est la définition opérationnelle. Mais cette définition est jugée par Hempel inadéquate car elle n'est justement pas complète, comme il l'affirme dans « Les critères empiristes de la signification cognitive : problèmes et changements », :

The simplest criterion that suggests itself might be called the *requirement of definability*. It would demand that any term with empirical significance must be explicitly definable by means of observation terms.

This criterion would seem to accord well with the maxim of operationism that all significant terms of empirical science must be introduced by operational definitions.⁷³

Comme nous l'avons déjà vu, en effet, la définition opérationnelle ne donne de signification qu'aux intervalles *effectivement* mesurables. Seule la méthode des énoncés de réduction de Carnap (déjà analysée plus haut) semble fournir un niveau de définition suffisant :

Reduction sentences provide a satisfactory interpretation of the experiential import of a large class of disposition terms and permit a more adequate formulation of so-called operational definitions, which, in general, are not complete definitions at all.⁷⁴

⁷³ Carl G. Hempel, « Empiricist criteria of cognitive significance : problems and changes », in Carl G Hempel, *Aspects of Scientific Explanation and other essays in the philosophy of science*, The Free Press, 1965, p. 109. Cet article est constitué de la reprise et de la fusion de deux articles antérieurs de 1950 et de 1951.

⁷⁴ *Ibid*, p. 110.

Mais avant d'en venir aux critiques que Hempel adresse à son aîné Carnap, détaillons les critiques formulées à l'encontre de la doctrine opérationnaliste. Tous les passages analysés par la suite sont tirés du court article de cinq pages « A logical appraisal of operationism » daté de 1954.

La critique de l'opérationnalisme faite par Hempel, se construit à partir d'un schéma d'analyse carnapien de la science (ce qui, nous l'avons vu, n'est pas le but de Bridgman).

D'une manière peut-être contestable, Hempel identifie les « opérations de mesure » de l'opérationnalisme aux « dispositions » de Carnap, pour ensuite accuser Bridgman de n'avoir pas donné une analyse logique correcte de ces « dispositions », que seul Carnap a fournies.

L'interprétation particulière de Hempel, qui lui permet de formuler sa critique en se référant au concept de terme dispositionnel, se fonde sur une compréhension préalable de la forme logique d'une « définition opérationnelle » :

Thus, an operational definition of the simplest kind – one that, roughly speaking, refers to instrumental operations only – will have to be construed more broadly as introducing a term by the stipulation that it is to apply to all and only those cases which, under specified observable condition *S*, show a characteristic observable response *R*.⁷⁵

Puis Hempel de critiquer cette manière de concevoir une définition, puisqu'elle exclut qu'un terme puisse s'appliquer dans des cas où les conditions *S* (les opérations) ne sont pas réalisées. Pour donner un exemple, la définition opérationnelle ainsi comprise, interdirait d'affirmer qu'un corps physique possède une masse avant de l'avoir mesurée : « Physical bodies, for example, are asserted to have masses, temperatures, charges, and so on, even at times when these magnitudes are not

⁷⁵ Carl G. Hempel, « A logical appraisal of operationism », *The Scientific Monthly*, Vol. 79, No. 4 (Oct., 1954), pp. 215-220. Par la suite abrégé en « LAO ».

being measured »⁷⁶.

Remarquons au passage que Hempel se laisse aller, sans s'en rendre compte, vers une position naïvement réaliste. Nous avons en effet déjà expliqué que Bridgman s'intéresse surtout aux opérations de mesure à la limite du mesurable. Dans ces cas, il n'est justement plus possible d'affirmer, sans mesure, qu'un corps possède une masse, une pression, une charge, etc ... car comme l'explique Bridgman, dans ces échelles aux confins du métrique, nous ne sommes pas certains que la compréhension (classique) que nous avons de nos concepts physiques, puisse encore avoir cours.

En réalité, il n'est pas du tout dans l'ambition de Bridgman que sa « doctrine » s'applique aux cas les plus courants, classiques, non problématiques. C'est au contraire une maxime de prudence pour le physicien expérimentateur qui s'aventure en territoire inconnu.

Mais revenons en à Hempel, qui fidèle à son interprétation, en vient à affirmer qu'une bonne définition opérationnelle ne doit pas fixer le sens d'un terme seulement si l'ensemble S des opérations est effectivement réalisé (et que les réponses observables R s'en suivent), mais que le sens doit aussi être donné dans les cas où les opérations *pouvant être réalisées*, elles *conduiraient* aux réponses observables R .

En elles-mêmes ces critiques ne sont pas pertinentes, car le but de Bridgman est avant tout de dire à l'expérimentateur de prendre garde à la théorie. Mais en réalité, l'ambition de Hempel est de renvoyer dos-à-dos les exigences opérationnalistes d'un côté, et carnapiennes de l'autre. Les exigences opérationnalistes sont, en un sens, trop faibles pour un empiriste-logique. Carnap, en effet, veut donner une signification empirique au langage *de la science en général*, même dans son usage non scientifique, alors que Bridgman ne veut donner une signification qu'au langage *du laboratoire*. De l'autre côté, les exigences de Carnap sont trop fortes car elles rendent nécessaire la mise en corrélation d'ensembles finis (les opérations de mesure) avec des ensembles infinis (les

⁷⁶ *Ibid.*

valeurs réelles des variables-grandeurs).

Voici comment est par exemple critiquée la conception carnapienne des « énoncés de réduction » :

The requirement of reducibility. Every term with empirical significance must be capable of introduction, on the basis of observation terms, through chains of reduction sentences.

This requirement is characteristic of the liberalized versions of positivism and physicalism, which, since about 1936, have superseded the older, overly narrow conception of a full definability of all terms of empirical science by means of observables, and it avoids many of the shortcomings of the latter. Yet, reduction sentences do not seem to offer an adequate means for the introduction of the central terms of advanced scientific theories, often referred to as theoretical constructs. This is indicated by the following considerations : a chain of reduction sentences provides a necessary and a sufficient condition for the applicability of the term it introduces. (When the two conditions coincide, the chain is tantamount to an explicit definition.) But now take, for example, the concept of length as used in classical physical theory. Here, the length in centimeters of the distance between two points may assume any positive real number as its value ; yet it is clearly impossible to formulate, by means of observation terms, a sufficient condition for the applicability of such expression as 'having a length of $\sqrt{2}$ cm' and 'having $\sqrt{2} + 10^{-100}$ cm' ; for such conditions would provide a possibility for discrimination, in observational terms, between two lengths which differ by only 10^{-100} cm.⁷⁷

Dans ce passage, Hempel ne fait rien d'autre que donner un exemple de coordination non-univoque : à deux valeurs théoriquement possibles de la longueur, il est impossible d'assigner un contenu empirique différent si la différence entre ces valeurs est plus petite que la longueur la plus petite expérimentalement mesurable.

Plus qu'une critique de Carnap, il s'agit d'une critique plus globale contre l'épistémologie coordinative en général. Du moins, une critique pour une version rigide de l'épistémologie de coordination. Pour un philosophe comme Reichenbach, nous avons vu qu'il était possible que la

⁷⁷ Dans l'article de Hempel repris en 1965 p. 110.

connaissance ne respecte pas l'exigence d'univocité. Reconnaître ce dernier point est très important : une coordination qui n'est pas univoque est-elle encore une coordination ? Nous comprenons en effet que Reichenbach, sans toutefois en sortir, est le premier à critiquer une épistémologie coordinative destinée à se confronter à ce problème insoluble.

Mais, ainsi que le précise une note de l'auteur ajoutée en 1964, la critique développée dans ces lignes peut être nuancée, d'abord par la note 12 de « LAO » et ensuite par la critique développée dans l'article « The theoretician's dilemma » analysé ci-après.

Voyons d'abord la note 12 de « LAO » :

To be sure, the theory of real numbers can be developed as a branch (or as an extension) of logic ; however, my argument concerns not the definability of real numbers in logical terms, but the possibility of formulating an observational equivalent for each of the infinitely many permissible real-number values of length, temperature, and so forth. And this is clearly a question concerning the descriptive vocabulary rather than merely the logical apparatus of empirical science. I quite agree [...] however, that it would be of considerable interest to explicate whatever logical differences may obtain between quantitative concepts which, intuitively speaking, exhibit different degrees of theoretical abstractness, such as length on the one hand and the psi-function on the other.⁷⁸

Hempel indique d'ailleurs la manière dont il faudrait procéder pour donner un équivalent empirique de la série infinie des nombres réels. Il se contente dans le passage suivant d'une esquisse pour reconstruire l'ensemble des entiers sur une base observationnelle :

It is worth noting, however, that if the logical constants allowed in the definiens include, in addition to truth-functional connectives, also quantifiers and the identity sign, then a finite observational vocabulary may permit the explicit definition of a denumerable infinity of further terms. For instance, if « x spatially contains y » and « y is an apple » are included in the observational vocabulary, then it is possible to define the

78 C. G. Hempel, « LAO », note 12..

expressions « x contains 0 apples », « x contains exactly one 1 apple », « x contains exactly 2 apples », and so forth, in a matter familiar from the Frege-Russell construction of arithmetic out of logic. Yet even if definitions of this type are countenanced – and no doubt they are in accord with the intent of operationist analysis – there remain serious obstacles for an operationist account of the totality of real numbers which are permitted as theoretical values of length, mass, and so forth.⁷⁹

Néanmoins la construction proposée ici est malheureusement sujette elle aussi à des critiques que Hempel juge sans issue. Ces critiques sont formulées dans l'article sur le dilemme du théoricien qui est analysé ci-dessous.

3 – Le dilemme du théoricien

Dans cet article de 1958, Hempel problématise son propos de la manière suivante : seule une définition explicite des concepts métriques semble adéquate pour réaliser l'idéal d'une reconstruction logique de la science. Or définir de manière explicite revient à montrer que le terme défini est remplaçable par sa définition – selon l'adage de Russell, « définir un terme c'est montrer comment s'en débarrasser ». Mais ne pas définir explicitement revient à admettre que la signification du concept n'est pas entièrement connue. Le dilemme du théoricien est donc le suivant : soit les concepts métriques sont définissables explicitement et ils sont inutiles, soit ils ne sont pas définissables explicitement et alors ils n'ont pas de signification empirique.

L'argumentation du philosophe va tendre vers la position suivante : si une définition explicite des concepts de la physique est possible, cette définition ne convient ni à l'usage théorique, ni à l'usage expérimental des concepts.

Néanmoins nous assistons dans cet article à un désengagement, de la part de Hempel, de
⁷⁹ *Ibid.*

l'épistémologie coordinative classique. Si le raisonnement coordinatif est en effet poussé à son apex, cela engendre une bipartition irréconciliable des concepts de la science. Une autre caractéristique du raisonnement de Hempel est que ce dernier ne tente de rendre compte de la nature des concepts métriques qu'à travers le concept de nombre (de nombre réel en l'occurrence) et pas du tout à travers la notion de grandeur. L'épistémologie coordinative se construit au départ sur le caractère à la fois mathématique et expérimental du concept de grandeur : il s'agit d'établir une correspondance (univoque) entre ces deux caractères. Dans ce texte de Hempel, la notion de grandeur est totalement laissée de côté au profit de la relation entre nombre et mesure. Nous pourrions dire que Hempel court-circuite le concept de grandeur au profit de la relation directe entre nombre et mesure empirique.

Dans le passage qui va suivre, Hempel suit une argumentation originale, qui provient, comme nous le disions, de l'évitement du concept de grandeur. Le concept de grandeur permet en effet une application intuitive de la notion de continu mathématique dans le domaine empirique. Si l'on se passe de ce concepts on aboutit au problème de définir le continu mathématique à partir du discret empirique. Car les valeurs que peuvent prendre les résultats de mesure ne sont que des valeurs rationnelles (ce sont des fractions de l'unité étalon). Or les variables théoriques sont définies sur l'ensemble des réels (cela est nécessaire afin de pouvoir y appliquer le calcul différentiel. Le problème est donc de donner un sens empirique à toutes les valeurs réelles des variables :

However, in accordance with our assumption of observability, we will suppose that each of the functors can take on only a finite number of different values; this corresponds to the fact that only a finite number of different weights, for example, can be ascertained and distinguished by direct observation.

In contrast to these functors in the observational vocabulary, the theoretical vocabulary of physics, for example, contains a large number of functors whose permissible values range over all real numbers or over all

real numbers within a certain interval.

Thus, for example, the distance between two points may theoretically have any non-negative value whatever. Now a definition of the required kind for a theoretical functor would have to specify, for each of its permissible values, a finite observational criterion of application. For example, in the case of the theoretical functor 'length', a necessary and sufficient condition, in the form of a finite observational criterion would have to be forthcoming for each of the infinitely many statements of the form 'The distance, in centimeters, between points x and y is r' or briefly, ' $l(x,y) = r$ ', where r is some real number.

Hence, we would have to specify, for each value of 'r', a corresponding finitely ascertainable configuration of observables. But this is impossible because in view of the limits of discrimination in direct observation, only a finite, though very large, number of finitely observable configurations can altogether be ascertained and distinguished.⁸⁰

Le problème semble insoluble car il met en jeu la notion d'infini. L'observation ne met à notre disposition qu'un nombre fini de valeurs « observables » ou « mesurables », avec lesquelles il faut parvenir à donner un sens à une infinité de valeurs théoriques.⁸¹ Hempel se livre tout de même à une tentative :

Can functors with rational and even irrational values be similarly defined in terms of observables? Consider, for example, the theoretical functor 'length in centimeters'. Is it possible to express, in observational terms, a necessary and sufficient condition for

$$(7.12) \quad l(x,y) = r$$

for every non-negative value of r? We might try to develop a suitable definition which would correspond to the fundamental method of measuring length by means of rigid rods. And indeed, if our observational vocabulary contains a name for the standard meter bar, and furthermore the (purely qualitative) terms required to describe

80 Carl Hempel, « The Theoretician's Dilemma » (1958), in *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Vol. II, H. Feigl, M. Scriven, and G. Maxwell (eds.), Minneapolis: University of Minnesota Press, pp. 37–98, p. 63.

81 Nous renvoyons ici au passage de P. Duhem, *La Théorie Physique ; son objet, sa structure*, Vrin, 2007, pp. 214-216.

the fundamental measuring procedure, it is possible to state, for any specified rational or irrational value of r , a necessary and sufficient condition for (7.12).⁸²

La tâche, comprenons-le, marque un infléchissement du projet de épistémologie coordinative. Malgré tout, la solution que va proposer Hempel n'est pas sans rappeler l'article de Helmholtz, « Numbering and Measuring from an epistemological standpoint »⁸³, mais comme si l'on en avait ôté toute utilisation du concept de grandeur :

First, the segment determined by points x,y will be said to have a length of 100 centimeters if it is congruent with (i.e., can be made to coincide with) the segment marked off on the standard meter bar. This definiens is even of molecular form. But consider next the observational criterion for $l(x,y) = 0.25$. It may be stated in the following form, which begins with a quantificational phrase : there are four segments, each marked off on a rigid body, such that (i) all four are congruent with each other; (ii) their sum (i.e., the segment obtained by placing them end to end along a straight line) is congruent with the segment marked off on the standard meter bar; (iii) any of the four segments is congruent with the segment determined by points x,y . Analogously, an explicit observational definiens can be formulated for any other value of n that is a rational multiple of 100, and hence, for any rational value of n .

Next, the consideration that an irrational number can be construed as the limit of a sequence of rational numbers yields the following necessary and sufficient condition for $l(x,y) = r$, where r is irrational : the segment determined by points x,y contains an infinite sequence of points $x_1, x_2, x_3 \dots$ such that (i) x_1 is between x and y , x_2 between x_1 and y , and so forth; (ii) given any segment S of rational length, there is a point, say x_D , in the sequence such that the segments determined by x_D and y , $x_D + 1$ and y , and so forth are all shorter than S , (iii) the lengths of the segments determined by x and x_1 , x and x_2 , and so forth, form a sequence of rational numbers with the limit r .

Finally, the idea underlying the preceding definition can be used to formulate an explicit definiens for the expression ' $l(x,y)$ ' in such a way that its range of values is the set of all non-negative numbers.⁸⁴

82 *Ibid*, p. 64.

83 In Hermann von Helmholtz et al., *Epistemological writings: the Paul Hertz/Moritz Schlick centenary edition of 1921 with notes and commentary by the editors*, Springer, 1977.

84 *Ibid*, p. 65.

En se servant de la méthode de construction des nombres irrationnels à partir des rationnels (un irrationnel peut être construit comme la limite d'une suite de rationnels) Hempel parvient à donner une définition explicite, en termes d'observables, des valeurs théoriques irrationnelles, donc de toutes les valeurs réelles. Cette définition explicite est-elle pour autant satisfaisante ?

Premièrement Hempel formule un scrupule nominaliste. Le type de définition explicite qu'il vient de donner suppose un cadre logique puissant et ne sera pas à même de satisfaire les plus minimalistes des nominalistes.⁸⁵ Mais cela est tout à fait satisfaisant pour une épistémologie coordinative, pour laquelle la sphère mathématique peut être définie avec toute la richesse nécessaire.

Il y a cependant une deuxième réserve formulée par Hempel, qui est beaucoup plus sérieuse puisqu'elle questionne implicitement le statut des hypothèses qui sont en réalité des hypothèses similaires aux principes de coordination de Reichenbach :

Another objection that might be raised against the definitional procedure here outlined is that it takes a schematic and oversimplified view of the fundamental measurement of length, and that it is rather liberal in construing as observational certain terms needed in the definiens, such as 'rigid body' and 'point'. This is quite true. By including the term 'point' in the observational vocabulary, for example, we construed points as directly observable physical objects; but our observational criterion for two points x, y determining a segment of irrational length required that there should be an infinite sequence of other points between x and y . *This condition is never satisfied by the observable "points" in the form of small physical objects, or marks on rigid bodies, which are used in the fundamental measurement of length. As a consequence, the actual performance of fundamental measurement as represented in the above definition will never yield an irrational value for the length of a segment. But this does not show that no meaning has been assigned to irrational lengths;* On the

85 Pour une version « extrême », voire militante, du nominalisme, voir Hartry Field, *Science without numbers*, Princeton University Press, 1980.

contrary, our outline of the definition shows that a meaning can indeed be formulated in observational terms for the assignment of any specified irrational value to the length of a physical line segment, as well as for the functor 'length in cm' in general.

However, the concept of length thus defined is not adequate for a physical theory which incorporates geometry, say in its Euclidean form. For the latter requires that certain segments which are well accessible to direct measurement – such as the diagonal of a square whose sides have a length of 100 centimeters – have an irrational length value; and statements to this effect will always turn out to be false if the criterion just discussed is made strictly definitory of length; for that procedure, as we noted, will always yield a rational value for the length of a given segment.⁸⁶

Pour que la définition explicite précédente puisse s'appliquer au monde physique, il faudrait, explique Hempel, que le « point physique » possède les mêmes propriétés que le « point mathématique ». Les problèmes de l'infini resurgissent de nouveau. Entre deux « points mathématiques » il existe une *infinité* d'autres « points mathématiques » ; cela ne peut jamais être vrai des « points physiques ».

Il s'agit à nouveau d'un problème de coordination : il faut trouver dans le monde physique un objet ou un groupe d'objets qui possède les mêmes propriétés (ou des propriétés analogues) que les points mathématiques. Mais cette correspondance ne peut être réalisée qu'approximativement : les propriétés des très petits objets se rapprochent approximativement des propriétés des points mathématiques.

Mais explique Hempel, si la coordination n'est pas certaine, la définition qui en résulte ne peut pas être explicite et complète. La seule solution possible est donc, comme le suggérait Reichenbach en 1920, d'accepter l'idée que la coordination ne peut être qu'approximative, ce qui a comme conséquence inévitable que les concepts métriques sont nécessairement partiellement définis.

⁸⁶ *Ibid*, p. 66. Nous soulignons.

The survey made in the present section has yielded no conclusive argument for or against the possibility of explicitly defining all theoretical terms of empirical science by means of a purely observational vocabulary; and in fact we have found strong reasons to doubt that any argument can settle the question once and for all. As for the theoretical terms currently in use, we are quite unable at present to formulate observational definientia for all of them, and thus to make them, in principle, unnecessary. *In effect, therefore, most theoretical terms are presently used in science on the basis of only a partial experiential interpretation; and this use, as we noted, appears to offer distinct heuristic advantages.*⁸⁷

L'incomplétude de la définition doit-elle pour autant constituer un défaut dans une reconstruction logique d'une théorie physique ? C'est au contraire à notre avis le seul moyen intéressant de rendre compte de la nature ouverte des concepts de grandeur. Non seulement de leur nature ouverte, mais aussi de leur caractéristiques historiques.⁸⁸

Il est par ailleurs possible de comprendre que le projet d'une épistémologie coordinative, qui débute au milieu du XIX^{ème} siècle, et qui avait pour ambition d'établir un pont entre les mathématiques et le réel, se voie au bout du compte, sérieusement questionné. L'approximation de la connaissance physique, en effet, rend la coordination irrémédiablement partielle. C'est la transformation la plus intéressante selon nous pour comprendre la philosophie des sciences à partir de la seconde moitié du XX^{ème} siècle.

4 – Les principes de liaison (*bridges principles*) la signification systématique (*systematic import*) et les propositions interprétatives

⁸⁷ *Ibid*, p. 70. Nous soulignons.

⁸⁸ Nous développerons ce point dans la dernière section, III, C.

Tous ces éléments critiques finissent par trouver une place dans un des derniers ouvrages de Hempel, *Philosophy of Natural Science*, publié en 1966. Les caractéristiques de l'épistémologie de coordination particulière aux empiristes, s'y retrouvent de nouveau, particulièrement dans les chapitres six et sept : distinction de deux types de principes fondamentaux, analyse des définitions, discussion de l'opérationnalisme, réflexion sur le statut des hypothèses.⁸⁹

Hempel, malgré de nombreuses révisions et un quasi abandon de la théorie vérificationniste de la signification, conserve tout de même un schéma coordinatif pour expliquer la structure des théories physiques. Sa formulation est d'ailleurs très proche de celle de Reichenbach en 1920, comme si cela indiquait un retour à des compréhensions moins radicales de l'empirisme :

Broadly speaking, then, the formulation of a theory will require the specification of two kinds of principles; let us call them internal principles and bridge principles for short. The former will characterize the basic entities and processes invoked by the theory and the laws to which they are assumed to conform. The latter will indicate how the processes envisaged by the theory are related to empirical phenomena with which we are already acquainted, and which the theory may then explain, predict, or retrodict.⁹⁰

La structure de la théorie physique est ici présentée exactement de la même manière que chez tous les auteurs précédents. Cela aura, comme l'on peut s'en douter, les mêmes conséquences. En premier lieu le statut de la définition des concepts métriques occupe une place prépondérante dans le chapitre sept. La critique de la conception opérationnaliste est répétée mais cette fois-ci pour introduire une distinction entre la « signification empirique » d'un concept et sa « signification systématique » (*empirical et systematic import*)⁹¹.

89 Carl G. Hempel, *Philosophy of natural science*, Prentice Hall, 1966.

90 *Ibid*, p. 72-73

91 Nous avons utilisé ici la traduction de B. Saint-Sernin dans Carl Hempel, *Éléments d'épistémologie*, Armand Collin, 1972, 1996, pp. 142-143. Le traducteur traduit l'expression « systematic import » par « signification systématique », ce qui ne nous semble pas parfaitement adéquat. La « signification systématique » d'un concept n'est pas

L'insistance à l'égard des thèses opérationnalistes et de leur critique constitue pour nous une marque de la conscience qu'ont les auteurs empiristes logiques des limites d'une épistémologie coordinative. Chez Bridgman, où l'épistémologie coordinative est implicite, l'impossibilité d'une coordination univoque est rejetée sur l'appareil mathématique. Nous allons voir dans les lignes qui suivent un abandon, de la part de Hempel, de l'ambition d'une définition complète des concepts métriques.

Voyons d'abord comment Hempel reconstruit la position opérationnaliste de Bridgman. Est d'abord rappelée la position connue selon laquelle un concept est synonyme de l'ensemble correspondant d'opérations.⁹² Puis vient la formulation d'une exigence supplémentaire : « [...] *l'exigence de cohérence* : toutes les fois que deux procédures différentes sont applicables [pour être considérées comme des mesures de la même grandeur], elles doivent donner le même résultat »⁹³. Néanmoins, rapporte Hempel, Bridgman ajoute une réserve :

The finding that, within the range of their common applicability, two measuring operations yield the same results has the character of an empirical generalization; hence, even if it has been borne out in careful tests, it may conceivably be false. For this reason, Bridgman holds, it would not be "safe" to regard the two operational procedures as determining one and the same concept [...]⁹⁴

Et c'est justement pour critiquer cette conclusion que Hempel introduit le concept de « signification systématique », car le raisonnement de Bridgman met selon lui « trop l'accent sur la

indépendante de sa « signification empirique », mais toutes les deux constituent ensemble, en y apportant chacune leur part, la signification globale du concept. Il faudrait traduire plus littéralement par les expressions « part empirique de la signification » et « part systématique de la signification ». Cette remarque doit rendre clair le fait que Hempel n'oppose pas deux conceptions de la signification des concepts scientifiques, mais cherche au contraire à les concilier, à les relier ; comprendre cette distinction comme une opposition empêche de saisir correctement le développement ultérieur sur les propositions interprétatives.

92 Nous avons déjà analysé cette thèse dans notre section I, A.

93 Voir les pages 143-144 de la traduction. Dans l'original : « *the requirement of consistency* : whenever two different procedures are applicable, they must yield the same results. », p. 92.

94 *Ibid*, p. 92.

nécessité de donner des termes scientifiques une interprétation empirique exempte d'ambiguïté »⁹⁵. L'empirisme-logique a donc totalement accepté l'idée que pour sauver l'épistémologie coordinative, il faut accepter que la définition des concepts métriques soit ambiguë (c'est-à-dire non univoque). En réalité cette épistémologie, et son corrélat, la théorie représentationnelle de la mesure, ne sont possibles qu'à la condition de reconnaître la nature ouverte des concepts métriques. C'est déjà ce qu'avait commencé à faire Reichenbach en 1920, sans pourtant s'éloigner d'une position empiriste.

L'exemple que prend Hempel par la suite est très instructif car il imite les raisonnements à propos du conventionnalisme géométrique. Hempel imagine que l'on respecte l'injonction opérationnaliste à la lettre et que l'on distingue entre la « longueur tactile » et la « longueur optique », dont l'une est mesurée à la règle graduée, l'autre par triangulation optique. Dans un premier temps les mesures des deux méthodes convergent, ce qui pousse les physiciens à énoncer une loi selon laquelle ces deux méthodes conduisent toujours à la même valeur dans les mêmes conditions. Cependant lors de mesures beaucoup plus minutieuses réalisées ultérieurement il est montré que les méthodes de mesures donnent des valeurs divergentes.

Dans un cadre opérationnaliste, explique Hempel, il suffirait de conserver les définitions différentes des concepts, et de rejeter la loi empirique. Mais dans un cadre non-opérationnaliste, où les méthodes de mesure seraient considérées comme des mesures de la même grandeur, alors la définition de la longueur serait modifiée.

Ainsi, argumente Hempel, les deux positions peuvent faire face à un changement, et face à ce changement la solution opérationnaliste n'est pas meilleure :

Thus, an adjustment to discordant empirical findings could be made in either case, either by abandoning a tentatively accepted law or by modifying the operational interpretation of a term.⁹⁶

95 *Ibid.* On pourrait interpréter cette affirmation comme un abandon de l'empirisme au profit d'un intuitionnisme ou d'un transcendantalisme. Mais, ainsi que nous le verrons ci-après, Hempel demeure empiriste.

96 *Ibid.*, p. 93.

Il est évident que Hempel préfère la solution où l'on modifie l'interprétation opératoire (c'est-à-dire un principe de coordination) plutôt que celle où l'on touche à une loi scientifique. Le débat sur le statut de la géométrie peut se résumer avec les mêmes termes : faut-il changer nos définitions ou nos lois ? Les empiristes préfèrent toujours changer les définitions car selon eux, elles n'ont pas de contenu empirique.

Mais une fois acceptée l'ambiguïté des concepts métriques, il n'est plus possible d'affirmer *a priori* que les définitions métriques n'ont pas de contenu empirique (c'est déjà ce qu'avait remarqué Reichenbach). Les principes de coordination ne peuvent ni être de simples propositions analytiques *a priori*, ni des généralisations empiriques synthétiques *a posteriori*. C'est sur ce point que reviendra Hempel dans la section sur les « propositions interprétatives ».

Mais finissons l'analyse de cette nouvelle notion de « signification systématique ». En voici la description la plus claire :

Scientific systematization requires the establishment of diverse connections, by laws or theoretical principles, between different aspects of the empirical world, which are characterized by scientific concepts. Thus, the concepts of science are the knots in a network of systematic interrelationships in which laws and theoretical principles form the threads.⁹⁷

Nous remarquons ici que la part systématique de la signification dont parle Hempel correspond intégralement à une description des liens *théoriques* qu'un concept entretient avec les autres concepts d'une théorie. Il ne s'agit en réalité rien d'autre que de la signification théorique du concept : une liste de toutes les lois dans lesquelles la variable mathématique qui le représente apparaît. Contrairement à ce qu'affirme Hempel dans le passage ci-dessous, Bridgman n'oublie pas,

⁹⁷ *Ibid*, p. 94. Ensuite Hempel prend l'exemple, très pertinent, des concepts de la thermométrie que nous avons déjà examinés avec Chang.

mais critique explicitement la théorie représentationnelle de la mesure sous-jacente à cette épistémologie coordinative :

Thus, empirical import as reflected in clear criteria of application, on which operationism rightly puts much emphasis, is not the only desideratum for scientific concepts : systematic import is another indispensable requirement— so much so that the empirical interpretation of theoretical concepts may be changed in the interest of enhancing the systematic power of the theoretical network. In scientific inquiry, concept formation and theory formation must go hand in hand.⁹⁸

Il est toutefois intéressant de remarquer que les parts « empiriques » et « systématiques » de la signification des concepts peuvent être hiérarchisées. L'une peut être modifiée pour augmenter la portée de l'autre. Or cela ne peut se faire que grâce à la présence, au sein de la théorie, de « propositions interprétatives ».

Une épistémologie coordinative ne peut en effet qu'entériner une conception partialiste de la définition des concepts métriques :

Thus, the operations of using a measuring rod or a thermometer provide only partial interpretations for the terms 'temperature' and 'length'; for each is applicable only within a limited range of circumstances.

While in this respect operational criteria say less than would be required of a full definition, there is another respect in which they say more— indeed too much to constitute definitions in the usual understanding.⁹⁹

Les critères opérationnalistes sont trop faibles car il ne rendent pas compte de la signification théorique systématique des concepts, et ils sont trop forts car ils restreignent la

⁹⁸ *Ibid*, p. 97.

⁹⁹ *Ibid*, p. 98.

signification aux seules opérations de mesure sans laisser la possibilité d'une ouverture sémantique. Mais d'une certaine manière les critères opérationnalistes entraînent leur propre mise en demeure : par un processus déjà expliqué par Carnap dans « Testabilité et Signification », lorsque deux opérations de mesures sont disponibles pour une même grandeur, cela entraîne des conséquences empiriques nouvelles, qui ne sont pas prises en charge par une définition opérationnaliste stricte :

If different test procedures are adopted as criteria of application for one and the same term, it follows from the statements of those criteria that in cases where more than one of the test procedures are applicable, the procedures will yield the same result ; and this implication has the character of an empirical generalization.¹⁰⁰

Les définitions opératoires entraînent des conséquences empiriques testables, elles ne peuvent donc pas être considérées comme des définitions stipulatives (des conventions arbitraires fixant le sens d'un terme), mais seulement comme des généralisations empiriques d'un niveau supérieur, et en tant que telles, elles sont révisables (c'est ce que défend en effet Bridgman).

Mais pourtant, l'usage théorique de ces concepts nécessite de considérer les définitions comme des postulats ou des définitions au sens strict, sous peine de ne pas pouvoir utiliser les lois dans lesquelles les variables qui représentent ces concepts métriques apparaissent :

In sum, then, interpretative sentences providing criteria of application for scientific terms frequently combine the stipulative function of a definition with the descriptive function of an empirical generalization.¹⁰¹

Les « propositions interprétatives » jouent donc à la fois le rôle de définitions conventionnelles et de généralisations empiriques, attributs qui ne sont pas compatibles au sein d'une conception rigide de l'empirisme. Pour Schlick en effet, les conventions-définitions sont des

¹⁰⁰*Ibid.*

¹⁰¹*Ibid.*, pp. 98-99.

propositions analytiques *a priori*, et les généralisations empiriques des propositions synthétiques *a posteriori*. Hempel se garde bien d'utiliser ces termes classiques, que les empiristes ont appris à ne plus employer, à cause probablement de l'ambiguïté foncière qui désormais leur semble caractériser ces termes dans le débat contemporain. Mais on ne peut s'empêcher de voir dans cette phrase une concession faite à la théorie de Reichenbach formulée en 1920 : les « propositions interprétatives » sont synthétiques car elles possèdent des conséquences empiriques testables, et elles sont *a priori* car elles jouent un rôle constitutif dans le système théorique.

Plutôt que de ressusciter un vocabulaire kantien que l'empirisme veut maintenir enterré, Hempel déploie un nouveau concept, celui de « définition contextuelle » auquel les « propositions interprétatives » ont un rapport analogique :

Statements that fully specify the meaning of a particular context containing a given term are called contextual definitions, in contradistinction to so-called explicit definitions, such as: 'Acid' is to have the same meaning as 'electrolyte that furnishes hydrogen ions'. *Analogously, we may say, then, that interpretative sentences for a scientific theory usually provide contextual interpretations for theoretical terms.*¹⁰²

L'idée de Hempel est de remplacer les définitions explicites (qui font trop de place aux critères opératoires), par des « interprétations contextuelles » ; non seulement la signification des concepts métriques ne peut pas être donnée par des définitions au sens strict mais seulement par des

¹⁰²*Ibid*, p. 99. Nous soulignons. Voici l'exemple analysé dans la suite du passage cité : « The various ways of measuring length, for example, do not interpret the term 'length' by itself, but only such phrases as 'the length of the distance between points A and B' and 'the length of line l' ; criteria for the measurement of time do not explicate the concept of time in general; and so forth. In the case of some theoretical concepts, only very special, and rather restricted, contexts may permit of an interpretation that affords a basis for experimental test. Take such terms as 'atom', 'electron', 'photon'. It is indeed possible to give a theoretical definition of the term 'electron', i.e., one that makes use of other theoretical terms ('electron' means 'elementary particle of rest mass 9.107×10^{-28} g, charge 4.802×10^{-10} statcoulomb, and a spin of one-half unit') ; but what could an operational definition of the term be like? Surely, we cannot expect to be given operational rules for determining whether the word 'electron' applies to a given object— i.e., whether that object is an electron. What can be formulated, however, are contextual interpretations for certain kinds of statement containing the term 'electron', such as these: 'there are electrons on the surface of that insulated metal sphere'; 'electrons are escaping from this electrode'; 'this condensation track in the cloud chamber marks the path of an electron', and the like. ».

interprétations partielles (ainsi que l'avait déjà remarqué Carnap), mais de plus ces interprétations ne s'appliquent pas seulement à des concepts isolément mais à des concepts pris dans leur contexte d'usage. Ainsi une proposition interprétative n'indique pas la signification d'un concept indépendamment des contextes dans lesquels il pourrait apparaître, mais seulement dans le cadre de ces contextes.

Cela signifie que l'objectif de la définition univoque est définitivement rejeté de la part des empiristes, qui renouent finalement avec la ligne ouverte par Reichenbach en 1920 :

It should now be clear that the terms of a scientific theory *cannot properly be thought of as having, each, a finite number of specific operational criteria*, or more generally, of interpretative statements attached to them.¹⁰³

Il en résulte donc une position empiriste assez libérale, prônant ouvertement la non-univocité des définitions, acceptant l'ouverture sémantique des concepts, et délaissant en fin de compte la théorie vérificationniste de la signification au profit d'une sémantique, certes un peu vague, mais adaptée à la nature des concepts métriques :

Now the various ways in which (or test implications by which) sentences containing the terms of a scientific theory can be tested will be determined by the bridge principles of the theory. These principles, as we noted in Chapter 6, connect the characteristic entities and processes assumed by the theory with phenomena that can be described in pretheoretical terms; and thus they link the theoretical terms to antecedently understood ones. *But those principles do not assign to a theoretical term some finite number of criteria of application.* Consider once more the term 'electron'. We noted that not every sentence containing this term will have definite test implications assigned to it. Yet the sentences containing the term which do yield test implications are of unlimited diversity, and the corresponding diversity of tests cannot without arbitrariness be considered as conforming to just two, or seven, or twenty different criteria of application for the term 'electron'. Here, then,

103 *Ibid*, p. 100. Nous soulignons.

the conception of the terms of a theory being individually interpreted by a finite number of operational criteria has to be abandoned in favor of *the idea of a set of bridge principles that do not interpret the theoretical terms individually, but provide an indefinite variety of criteria of application by determining an equally indefinite variety of test implications for statements containing one or more of the theoretical terms.*¹⁰⁴

5 – La métaphore de la construction du pont

Que reste-t-il donc de l'épistémologie coordinative (et de son corollaire, la théorie représentationnelle de la mesure) après ce remaniement ? Nous avons vu que Reichenbach était parmi les premiers à critiquer la forme de l'épistémologie de coordination dans le cas des théories physiques, mais sa critique, quoique percutante, ne sortait pas du cadre de cette épistémologie. Reichenbach cherchait au contraire un moyen de concilier cette épistémologie coordinative (si pratique pour expliquer la théorie de la relativité et évacuer la philosophie kantienne et les philosophies portées sur la métaphysique) avec sa critique sur le caractère ambivalent des principes de coordination (qui définissaient en même temps qu'ils coordonnaient).

Dans la formule finale de l'empirisme-logique – le texte étudié précédemment date de 1966 et constitue donc une des dernières publications du mouvement – les conclusions de Reichenbach sont globalement réutilisées. Certes elles sont transformées par les outils syntaxiques et sémantiques apportés par Carnap, mais les idées principales sont reprises : non-univocité de la coordination, caractère à la fois empirique et constitutif des principes de coordination, et surtout, possibilité d'une correction ou révision des principes sur la base des principes eux-mêmes. Pour illustrer ce dernier point Hempel fait usage d'une comparaison :

¹⁰⁴*Ibid.* Nous soulignons.

III. B) HEMPEL ET L'AUTOCRITIQUE DE L'EMPIRISME-LOGIQUE

But how can laws or theories show the inaccuracy of the operational criteria for the very terms in which they are formulated— criteria that must be presupposed and used in testing the laws or theories in question? The process might be compared to building a bridge across a river by putting it first on pontoons or on temporary supports sunk into the river bottom, then using the bridge as a platform for improving and perhaps even shifting the foundations, and then again adjusting and expanding the superstructure, in order to develop an increasingly well-grounded and structurally sound total system. Scientific laws and theories may be based on data obtained by means of initially adopted operational criteria, but they will not fit those data exactly; as we have seen, other considerations, including that of systematic simplicity, play an important role in the adoption of scientific hypotheses. And since the laws or theoretical principles thus accepted are then, at least tentatively, taken to express correctly the relations among the concepts that figure in them, it is not to be wondered at that the initial operational criteria come to be regarded as affording only approximate characterizations of those concepts.¹⁰⁵

À nouveau la possibilité pour une théorie de s'auto-corriger est mise en avant. Comme l'avait expliqué Chang cela suppose une conception cohérentiste, et non pas fondationnaliste, des théories scientifiques. La caricature de l'empirisme comme une philosophie fondationnaliste ne tient donc que pour les résumés les plus succincts de ce courant pourtant richement nuancé.

Mais ce n'est pas tout. Même la distinction entre les « termes théoriques » d'un côté et les « termes observationnels » de l'autre, pourtant si chère aux positivistes, est, dès le début des années cinquantes, rendue plus graduelle, plus progressive. La théorie esquissée par Hempel (et qui sera d'ailleurs reprise par Ulysses Moulines¹⁰⁶) est de rompre le schéma dichotomique de l'épistémologie coordinative pour lui substituer une représentation « graduelle » des liens entre la théorie et l'expérience :

Thus, experiential significance presents itself as capable of degrees, and any attempt to set up a dichotomy allowing only experientially meaningful and experientially meaningless concept systems appear as to crude to

¹⁰⁵*Ibid*, p. 96.

¹⁰⁶Voir notre section III, C.

be adequate for a logical analysis of scientific concepts and theories.¹⁰⁷

Mais cette conclusion est inévitable dès lors qu'est rejeté le critère d'univocité de la coordination. La sortie hors des positions les plus problématiques de l'empirisme-logique était donc déjà disponible avant même ses débuts officiels (le manifeste du Cercle de Vienne date de 1928), et n'a été retardée qu'en raison de l'influence de la philosophie de Wittgenstein, en accord avec les positions extrêmes de Moritz Schlick.

107C. G. Hempel, « LAO ».

Ni le principe de contradiction, ni la loi de l'économie de la pensée ne nous permettent de prouver de manière irréfutable qu'une théorie doit être logiquement coordonnée ; d'où tirerons-nous donc argument en faveur de cette opinion ?

Cette opinion est légitime parce qu'elle résulte en nous d'un sentiment inné, qu'il n'est pas possible de justifier par de raisons de pure logique, mais qu'il n'est pas possible, non plus, d'étouffer complètement.

Pierre Duhem, *La théorie physique ; son objet, sa structure*, Vrin, 2007, p. 150.

III. C) Un empirisme historique ?

À la suite de la remise en question initiée par Hempel, l'épistémologie de coordination devient l'objet de vives critiques de la part des philosophes. Mais cette critique ne peut fonctionner qu'avec une partie seulement des écrits empiristes-logiques. S'il est tenu compte de la richesse des tentatives, à partir des années suivant immédiatement la publication par Einstein de l'article sur la théorie de la relativité générale, le terme caricatural de « received view » se révèle inadéquat.¹⁰⁸

Comme nous pensons par ailleurs l'avoir montré, la théorie coordinative de la connaissance n'est pas particulièrement spécifique aux néo-empiristes du XX^{ème} siècle. Elle trouve son origine dans une réflexion, qui naît au XIX^{ème} siècle, sur le statut de la géométrie et du pluralisme mathématique dans l'expression des théories physiques. Elle se développe sous diverses formes, dont l'empirisme-logique n'est qu'une des versions. Au sein même du courant empiriste d'ailleurs, les positions peuvent parfois être totalement divergentes.

Or, en mettant à part les problèmes suscités par le développement de la physique quantique,

¹⁰⁸Cette expression de « received view of scientific theories » pour désigner les thèses empiristes-logiques sur la structure de la science vient de H. Putnam, « What Theories are Not », *Studies in Logic and the Foundations of Mathematics*, Volume 44, 1966, Pages 240-251

le pluralisme mathématique – le fait qu’il existe plusieurs formalismes mathématiquement différents qui décrivent et prédisent les mêmes phénomènes¹⁰⁹ – existe tout aussi bien pour la théorie de la relativité que pour la mécanique classique. Pourquoi donc la théorie coordinative de la connaissance commence-t-elle à être systématiquement rejetée, puis quasiment abandonnée à partir des années soixante ?

L’histoire de ce changement dans la philosophie des sciences a déjà été faite en grande partie. C’est en grande partie la théorie des révolutions scientifiques de Kuhn, qui, en focalisant l’attention des épistémologues sur l’histoire, signe en quelque sorte la fin de la théorie coordinative de la connaissance.¹¹⁰

Mais il s’agit là, pour ainsi dire, d’une critique externe : la théorie coordinative n’est pas critiquée pour ses défauts mais plutôt concurrencée sur son propre terrain – rappelons qu’une des applications majeures de l’épistémologie de coordination, nous ne pouvons trop insister sur ce point, est d’expliquer comment la révolution relativiste est possible.

Or, mis-à-part celle de Hempel, des critiques internes existent de la part des tenants de la conception dite « sémantique » ainsi que de la part d’un des membres du « programme structuraliste en philosophie des sciences ». Ce sont ces critiques que nous allons maintenant examiner.

1 – La fin de la théorie coordinative de la connaissance ?

Dans les trois articles qui vont soutenir notre réflexion au long la présente section, une idée revient systématiquement : tout n’est pas à revoir dans la théorie de la connaissance que nous avons

¹⁰⁹Voir cependant, pour une critique de cette idée, Marion Vorms, *Qu’est-ce qu’une théorie scientifique*, Vuibert, 2011.

¹¹⁰Que l’on se reporte par exemple à l’article de Kuhn sur la mesure : T. S. Kuhn, « La fonction de la mesure dans la physique moderne », in *La tension essentielle: tradition et changement dans les sciences*, Gallimard, 1990.

caractérisée sous l'appellation de « coordinative ».

La distinction entre les principes internes et les principes de liaison est par exemple toujours sauvegardée.

La signification théorique antérieure

Dans un article de 1969¹¹¹, Schaffner entreprend une analyse assez détaillée du concept de « règle de correspondance » chez les empiristes logiques. Sa thèse est simple, les seules règles de correspondance qui permettent une analyse correcte des théories scientifiques sont celles qui connectent les termes théoriques avec une « signification théorique antérieure », c'est-à-dire avec un terme théorique d'une théorie antérieure à celle qui est examinée.

Afin de clarifier son propos l'auteur commence par comparer la version dite syntaxique des théories (qui correspond à peu de choses près à ce que nous avons nommé une théorie coordinative de la connaissance) à la version sémantique, c'est-à-dire celle utilisant la notion de modèle :

It is still current practice on the part of philosophers of science' to construe a scientific theory (in part) as a set of uninterpreted sentences fabricated out of "meaningless" symbols. These symbols can be given an interpretation by (a) providing a model, or (b) providing correspondence rules - sometimes called *bridge principles* or *semantical rules* - for at least some of the symbols appearing in the set of sentence forms. In the case of (a), the meaningless symbols are said to refer to entities that bear an analogy with entities characterized by another "theory." In the case of (b), some type of linkage is provided which confers empirical content upon the theory by making it falsifiable or confirmable.¹¹²

111 Kenneth F. Schaffner, « Correspondence Rules », *Philosophy of Science*, Vol. 36, No. 3 (Sep., 1969), pp. 280-290.
Parfois abrégé en « CR ».

112 *Ibid*, p. 280.

La structure bipartite de la théorie est, dans les deux versions, la même : d'un côté une partie constituée des symboles non-interprétés, et de l'autre côté les propositions fournissant une interprétation. C'est la nature de l'interprétation qui change dans les deux cas, dans le premier cas l'interprétation est donnée à travers l'analogie avec un modèle de la théorie, dans le deuxième cas (celui qui nous intéresse) l'interprétation est linguistique.

Pour Schaffner, cette interprétation linguistique a été mal comprise par les empiristes-logiques : elle ne doit pas conférer une signification empirique à des symboles qui en sont dénués, mais plutôt relier les termes théoriques de la théorie à ceux d'une théorie « antérieurement significative » :

Rather, correspondence rules normally function to allow an antecedently meaningful theory to provide an explanation of a set of diverse accepted phenomena, and to permit the further testing of this antecedently understood theory.¹¹³

La thèse de Schaffner est qu'il existe différentes espèces de règles de correspondance : « there are different types of C-rules »¹¹⁴. Ces distinctions permettent d'ailleurs une clarification vis-à-vis des thèses opérationnalistes :

It is somewhat of an oversimplification to equate C-rule with operational definitions, however, for Campbell's "dictionary" and Hempel's "interpretative systems," for example, are clearly notions which are more general than what is usually referred to by the term "operational definition."¹¹⁵

Là où, en effet, Carnap avait tendance à assimiler les règles de correspondance avec des définitions opérationnelles, Schaffner prend bien garde à les distinguer. De plus, les règles de

113 *Ibid.*

114 *Ibid.*, p. 282.

115 *Ibid.*, p. 281.

correspondance ne s'identifient pas non plus aux « règles sémantiques » des méthodes logistiques :

Given the emphasis on formal logic and metalogic in twentieth century philosophy of science, it is easy to see how tempting it might be to identify the C-rules discussed above with the semantical rules employed by the logistic method. But I think such a straightforward identification would be seriously misleading, and though it will be helpful to utilize some of the metalogical terminology, a number of distinctions must be introduced which have no application in formal logic and metalogic.¹¹⁶

Cela entraîne donc l'existence de trois types de règles de correspondance. En s'inspirant d'un passage de l'ouvrage de Lorentz sur la théorie des électrons, Schaffner reconnaît l'existence d'un premier genre de règles de correspondance, qui a pour fonction de relier des concepts nouveaux (comme celui d'électrons) à des concepts théoriques déjà bien définis (comme la masse, la température, la densité, etc.). Ce sont les règles de type I. Nous pourrions les faire correspondre aux « axiomes de connexion » de Reichenbach. Elles ne seraient dans ce cas tout simplement rien d'autre que les lois fondamentales de la théorie.

Les règles de type II sont les définitions de coordination de Reichenbach :

For the second possibility, I have in mind the more fundamental types of analyses which Reichenbach termed "coordinative definitions" [20] and Bridgeman "operational definitions" [1]. For in these cases we must refer to, in the simplest of such examples, *physical objects* such as a given meter bar. Such cases probe the foundations of measurement [...]¹¹⁷

Elles ont pour fonction de faire une référence directe à des objets, comme l'unité de longueur, ou, le cas échéant, de donner la règle selon laquelle on peut retrouver l'unité d'une grandeur (dans le cas de la définition actuelle du mètre, il n'est fait aucune référence à un objet,

¹¹⁶*Ibid*, p. 282.

¹¹⁷*Ibid*, p. 283.

mais plutôt à une opération de mesure utilisant la vitesse de la lumière – dont la valeur est fixée par convention – et la définition de la seconde). Elles sont au fondement des processus de mesure.

Mais Schaffner ajoute les règles de type III qui selon lui doivent relier des concepts nouveaux, ou des concepts employés dans des contextes nouveaux, avec une « signification théorique antécédente » (*antecedent theoretical meaning*). Dans son analyse du texte de Lorentz l'auteur met en évidence une manière originale d'introduire un nouveau terme en construisant sa signification à partir de notions précédemment comprises et en les arrangeant de manière totalement nouvelle¹¹⁸.

Cette manière de procéder est intéressante car elle autorise une plasticité sémantique du concept théorique, un peu similaire à celle que décrit par exemple Bachelard, dans la *Philosophie du non*, à propos du « profil épistémologique » du concept de masse, ou de celui d'énergie.¹¹⁹ Notre conception de l'électron peut changer, et cette manière de construire sa signification permet de rendre compte de cette évolution conceptuelle, en évitant la rigidité d'une reconstruction rationnelle axiomatique.¹²⁰

Cela ne revient à rien d'autre qu'à admettre la place du développement historique dans l'analyse logique d'un concept. Un des défauts de la reconstruction axiomatique de Carnap et de Hempel (mais à notre avis, pas de celle de Reichenbach) est qu'elle semble avoir comme conséquence que les versions dépassées des théories physiques se retrouvent dénuées de signification empirique. Si au contraire il est laissée une place – ainsi que le suggère Schaffner – à la signification antérieure (c'est-à-dire à la signification historique) d'un concept, alors les principes de « conservation » de la signification, que nous avons mis en évidence avec Chang et Reichenbach, peuvent recevoir une analyse logique adéquate. Cela entraîne aussi une autre conséquence : les

118Ibid : « [Lorentz] is *creating the meaning* of the term "electron" by *drawing on antecedently understood notions, and putting them together in a radically new way* ».

119Gaston Bachelard, *La philosophie du non*, PUF, 1940, pp. 43-45.

120K. F. Schaffner, « CR » : « Lorentz is willing to admit that our conception of the electron might change and at various places in *The Theory of Electrons* he speculates about different types of electrons with different properties, e.g. Abraham's electron, Langevin's electron ([16], pp. 213-220). »

versions historiques d'une théorie ne deviennent pas dénuées de signification empirique sitôt que s'impose la nouvelle théorie, mais conservent, ainsi que l'explique Schaffner la valeur d'une « fiction scientifique ».

Scientific theories on this account are meaningful per se, but what makes them "scientific" rather than science fiction or fantasy is that even in their initial stages of formulation, they have some connection with sense or laboratory experience. But this latter experiential content does not exhaust the "meaning" of the theory, nor does the interconnection established by the theory's postulates plus the connections with experience fully exhaust the antecedent theoretical meaning. A theory is like an historical novel with a cast of characters some of whom are known to have existed, some of whom are quite different from any known historical personage, but who, if they existed, would explain history. The scientist proposes such an historical novel in the hope that it will turn out to be accurate history. But if it turns out to be false or nonconfirmable or non-falsifiable it may be read as fiction; it is not a "meaningless" story.¹²¹

La comparaison avec un « roman historique » est pertinente selon nous. D'un côté il est vrai qu'une théorie se construit à la fois à partir des données de l'expérience et des principes ou hypothèses mathématiques, comme le défendent les empiristes. Mais il est indéniable que la recherche des données empiriques se développe d'un autre côté, de manière historique à travers les siècles, et que les hypothèses et principes mathématiques progressent au cours de l'histoire. Un bon empirisme doit donc prendre en compte le développement historique de la science, et la manière de procéder est de montrer comment les concepts d'une théorie présente sont reliés, par des « règles de correspondance » aux théories historiquement antérieures.

¹²¹*Ibid*, p. 284.

Les principes de liaisons sont des principes inter-théoriques

Un développement de cette idée se trouve dans un article de Ulises Moulines, un représentant du programme structuraliste en philosophie des sciences¹²². Dans son article de 1985, il reprend, pour les critiquer, les thèses de Hempel sur la structure des théories. Son idée est que les « principes de liaison » (*bridge principles*) ne sont pas des règles sémantiques interprétatives mais des ponts inter-théoriques : un terme théorique dans une théorie n'acquiert pas sa signification empirique par une interprétation (partielle) qui le relie à un vocabulaire observationnel, mais par des liens avec les concepts de théories antérieurs. À nouveau le caractère historique de la signification des concepts métriques, dans un cadre qui demeure celui de l'empirisme philosophique, est ici développé.

L'intention de Moulines est de sauver Hempel de ses propres autocritiques, formulées par ce dernier notamment dans son article de 1973.¹²³ Les raisons pour lesquelles Hempel rejette finalement toutes les tentatives empiristes logiques sont lucidement résumées par Moulines de la sorte :

And the reason why Hempel thinks that the idea of a linguistic determination of theoretical terms through interpretative sentences is fundamentally wrong is that it would make *empirical* theories true by convention – which is a *reductio ad absurdum* for him. He thinks that this idea comes from a misled and untenable extrapolation of metamathematical theory analysis of the Hilbert type to the philosophy of empirical science.¹²⁴

122Il fait partie de ce mouvement que nous avons déjà évoqué, voir Wolfgang Balzer, C. Ulises Moulines, Joseph D. Sneed, *An Architectonic for Science, The Structuralist Program*, D. Reidel Publishing Company, 1987. L'article auquel nous nous référons est le suivant : U. Moulines, « Theoretical Terms and Bridge Principles: A Critique of Hempel's (Self-)Criticism », *Erkenntnis* (1975-), Vol. 22, No. 1/3, Epistemology, Methodology, and Philosophy of Science (Jan., 1985), pp. 97-117.

123L'article de Hempel que commente Moulines est le suivant : C. G. Hempel, « The meaning of theoretical terms : A critic of the standard empiricist construal », in *Logic, Methodology and Philosophy of Science IV*, eds. P. Suppes, L. Henkin, A. Joja et Gr. G. Moisil, Elsevier, 1973.

124Voir U. Moulines, *op. cit.* p. 100.

Il nous semble qu'est ici résumé en réalité le débat qui se déroula entre Schlick et Reichenbach. C'est en effet Schlick qui importa la méthode axiomatique d'Hilbert – initialement prévue pour la géométrie et les mathématiques – pour en faire une application radicale dans les sciences empiriques, contrairement à l'esprit originel de l'analyse hilbertienne. L'analyse à la base de définitions implicites rendait nécessaire l'introduction de convention afin de sauvegarder l'univocité de la coordination. Pour Reichenbach, ce tour de passe-passe conventionnaliste est inacceptable car il revient à admettre qu'une théorie empirique est vraie (c'est-à-dire qu'elle est coordonnée au réel de manière univoque) seulement par convention. C'est pourquoi Reichenbach cherche désespérément, dans son livre de 1920, mais aussi, nous pensons l'avoir montré, dans son livre de 1928, à minimiser autant que possible la part conventionnelle de la coordination.

Dans ses écrits tardifs, Hempel se range à l'avis du premier Reichenbach : il est absurde selon eux, qu'une théorie empirique voit sa vérité garantie par convention. Or, selon Hempel, les propositions interprétatives ne sont finalement que de simples conventions. Elles ne sont donc pas aptes à rendre compte de la structure des théories, encore moins à donner leur signification empirique aux termes abstraits de la théorie. Cela conduit Hempel à rejeter tout simplement la conception coordinative des théories.

Moulines cependant prétend qu'en concevant les « principe de liaison » non plus comme des propositions interprétatives, mais comme des liens inter-théoriques, alors les difficultés accumulées par les empiristes-logiques disparaissent. Non seulement la bipartition de Reichenbach est conservée : « To sum up. When formally reconstructing a scientific theory *T* two kinds of principles are needed (for « practical » if not for « theoretical » reasons) : *internal principles or axioms* to fix the class of models of *T*, which in turn identifies *T*, and *bridge principles* to fix the links *T* has to other theories »¹²⁵. Mais de plus cette distinction n'entraîne pas le problème du conventionnalisme si dévastateur pour la position empiriste. La distinction en effet « [...] does not in any way imply

¹²⁵*Ibid*, p. 110. Nous soulignons.

that either the tools themselves or the theory they serve are « true by convention », if this means that they will never be abandoned in the face of experience. These tools are definitely not « analytic interpretative sentences ». They may be abandoned if the dynamics of scientific experience so requires »¹²⁶.

Moulines prend d'ailleurs bien garde à ne pas caractériser plus avant ces principes de liaison. La caractérisation selon la double distinction kantienne (analytique / synthétique ; *a priori* / *a posteriori*) importe moins que de souligner le caractère historique de ces propositions qui « peuvent être abandonnées si la dynamique de l'expérience scientifique le requiert ».

Mais à quoi ressemble donc une reconstruction axiomatique selon le modèle de Moulines ?

For what the so-called « physical interpretation » really amounts to is the formulation of some links (considered essential) to other theories. For example, when considering the « classic » set-theoretic axiomatization of Newtonian particle mechanics, people find that the potential models of this theory are structures of the form $\langle P, T, s, m, f \rangle$ such that the only structural axiom about, say, the term s just says that « s is a twice differentiable vector function » but does not say that s is the *position* function. To « interpret » s as the position function is not, however, the business of any structural axiom for the models of mechanics ; it is rather the statement of a link of this theory to some underlying theory, like physical geometry or geometrical optics. The bridge principle that, for example, links mechanics to geometry through the s -function implicitly entails the structural axiom about s just quoted but not conversely.¹²⁷

Dans une théorie axiomatique formelle interprétée par des modèles s'exprimant dans la théorie des ensembles, les théories physiques sont des structures ensemblistes ; ici Mouline s'inspire directement de la reconstruction de Sneed dans *The logical structure of mathematical physics*.¹²⁸ P est un ensemble non vide appelé à contenir les objets tombant sous le concept de « particule de la

¹²⁶*Ibid*, p. 111.

¹²⁷*Ibid*, p. 110.

¹²⁸Joseph D. Sneed, *The logical structure of mathematical physics*, D. Reidel Publishing Company, 1971, 1979.

cinématique newtonienne », T est un intervalle de nombres réels, et s est une fonction associant l'ensemble $P \times T$ à un ensemble ordonné de triplets de nombres réels.¹²⁹

Comme l'explique Moulines la seule propriété de la fonction s qui concerne les axiomes internes de la théorie est celle d'être deux fois différentiable (afin d'obtenir la définition de la vitesse et de l'accélération d'une particule). Mais le fait d'interpréter cette fonction comme la fonction *position* relève de la compétence des axiomes de coordination, qui font le lien avec une autre (ou des autres) théorie, où la position trouve une définition indépendante de la mécanique newtonienne.

Ainsi la conception coordinative inter-théorique de Moulines contourne les démons du néo-empirisme en faisant jouer le rôle de l'interprétation des « termes théoriques » (partant des concepts métriques) par des liens avec des théories antérieures. Ainsi le concept de position, pour Moulines, n'est, au sein de la mécanique newtonienne, pas un terme *théorique* car il trouve sa définition théorique en géométrie physique ou en géométrie optique :

The non-theoreticity of the position function in Newtonian particle mechanics is essentially associated to the fact that position is linked to the length and angle functions of physical geometry and there are geometric methods of determination of length and angle that don't presuppose the laws of Newtonian mechanics ; the non-theoretical mole numbers of equilibrium thermodynamics are linked to methods of determining molecular weights in stoichiometry ; volume in any thermodynamic or hydrodynamic theory is non-theoretical because it is linked to length in physical geometry.¹³⁰

Cela, pourtant, n'est pas sans poser quelques problèmes. Le premier est celui de la définition d'un concept au sein d'une théorie où il est fondamental, comme la position en géométrie physique. Au sein de cette dernière théorie la position est probablement définie relativement à un système de

¹²⁹Et m est la fonction qui à chaque particule associe un nombre réel positif (une masse) et f une fonction construite à partir de s et de m pour définir la force.

¹³⁰*Ibid*, p. 114.

coordonnées *via* le théorème de Pythagore. Mais cela n'indique toujours pas comment mesurer une longueur le long d'un des axes du système de coordonnées.

Plus difficile encore, il existe des méthodes de mesure de la position qui dépendent de manière irréductible de la mécanique newtonienne, et dans des ordres de grandeur où les méthodes de mesure reposant sur la géométrie physique ne sont pas applicables – pensons à la position d'objets célestes si on la détermine en utilisant la loi de la gravitation par exemple. Dans ce cas les problèmes de circularité identifiés avec Bridgman et Chang ne trouvent pas de solution dans le formalisme structuraliste. Les prédictions ne sont en effet vérifiables que grâce à des méthodes de mesures qui ne possèdent de sens qu'au sein de la théorie à tester.

Nous revenons donc ici au problème qu'avait identifié Hempel dans son article sur l'opérationnalisme, celui de relier le nombre infini des valeurs réelles d'une variable physico-mathématique, avec un nombre fini d'opérations de mesures ne donnant des résultats que sur l'intervalle des rationnels.

2 – Le problème de la mesure fondamentale

Ce problème trouve une solution dans le livre en trois volumes de Patrick Suppes, David H. Krantz, R. Duncan Luce et Amos Tversky, *Foundations of Measurement*.¹³¹ Mais ces élaborations peuvent, à notre avis, être nuancées à l'aune des critiques de, par exemple, Vadim Batitsky dans « Empiricism and the myth of fundamental measurement »¹³².

En s'appuyant sur des analyses et des exemples montrant que la distinction entre mesure

¹³¹David H. Krantz, R. Duncan Luce, Patrick Suppes, Amos Tversky, *Foundations of Measurement*, Academic Press, 1971, 1989, 1990, respectivement pour les trois volumes.

¹³²Vadim Batitsky, « Empiricism and the myth of fundamental measurement », *Synthese*, Vol. 116, No. 1, 1998, pp. 51-73.

fondamentale et mesure dérivée ne tient pas, Batitsky développe un argument selon lequel il n'est pas possible pour un empiriste de reconstituer les outils quantitatifs de la mesure à partir de relations qualitatives empiriques. Sa conclusion est qu'il faut reconnaître un postulat réaliste au fondement de notre compréhension de la nature :

In the concluding section, I will argue that the epistemological and methodological rôle of measurement in linking quantitative theories to the world requires an adequate interpretation of theory-world relations to begin with a realist commitment : Namely, the commitment to *a systematic correspondence between certain mathematical relations/operations on numbers representing basic physical attributes and certain physical (though not necessarily qualitative) relations and operations on objects having these attributes.*¹³³

La critique de l'empirisme et l'engagement dans une ontologie réaliste n'écarte pourtant pas l'auteur d'une théorie coordinative de la connaissance. Sans nous engager nous mêmes dans cette voie réaliste, et en restant les deux pieds dans ce monde « pas si platonicien », comme le dit Moulines, nous pouvons tout de même reprendre certaines des idées de Batitsky.

Comme l'affirmait Reichenbach, il n'y a aucun moyen de prouver qu'une coordination univoque sera toujours possible, mais cela ne semblait pas pour lui signifier, en cas de non-univocité, la faillite de la connaissance. Batitsky, au contraire, semble penser que le seul moyen de garantir la connaissance physique est de poser un principe ontologique de coordination.¹³⁴

Il est à notre avis possible de résumer le problème en une question : le monde empirique est-il tel qu'il nous sera toujours possible d'y identifier, au moins approximativement, un ensemble d'objets (ou de propriétés) tels que leur mise en ordre mime directement les propriétés mathématiques (identité, additivité, etc.) d'une grandeur mathématique ? Ou, autrement dit, le

¹³³Op. cit. p. 52. Nous soulignons.

¹³⁴Il ne s'agit pas ici des « principes ontologiques » de Chang, qui sont révisables.

monde empirique est-il tel qu'il nous sera toujours possible d'y réaliser, par l'intermédiaire d'au moins une méthode, une mesure absolue ?

La réponse à cette question semble avoir déjà été apportée, par Helmholtz notamment, dans son article sur les opérations de dénombrement et de mesure.¹³⁵ Mais si Helmholtz nous explique bien quelles propriétés doit posséder un ensemble d'objets pour pouvoir être représenté par une grandeur, il ne prouve pas que cette représentation est, dans ce monde, nécessairement réalisée.

Ici, le philosophe se heurte à une impasse : il n'est pas possible de prouver *a priori* que la connaissance, sous la forme que nous connaissons, sera toujours possible (*i.e.* compatible avec les expériences et les observations).

Ce que nous apprennent donc les articles analysés précédemment, est que l'épistémologie coordinative peut tout à fait survivre à ses critiques, pourvu que la coordination ne soit plus comprise comme un lien établi entre la partie abstraite et mathématique de la théorie d'un côté, et la partie observationnelle et empirique de l'autre, mais qu'elle soit plutôt conçue comme un rapport réalisé entre une théorie nouvelle et les théories antérieures d'un point de vue historique (et non pas logique).

Les concepts métriques des théories nouvelles, auxquelles ne correspondent pas nécessairement des méthodes de mesures directes et fondamentales, ne doivent donc pas être définis à partir de relations à des méthodes de mesures fondamentales : il suffit qu'il soient reliés à des concepts préalablement compris au sein de théories antérieures.

Et, comme l'expliquait Chang, il n'y a pas besoin d'un fondement ultime, les principes métriques pouvant tout à fait reposer les uns sur les autres au sein d'une épistémologie cohérentiste.

Cela a comme conséquence que certains principes de la théorie (les principes « historiques »

135H. von Helmholtz, « Numbering and measuring from an epistemological standpoint », in Hermann von Helmholtz, *Epistemological writings: the Paul Hertz/Moritz Schlick centenary edition of 1921 with notes and commentary by the editors*, Springer, 1977.

de coordination) possèdent un statut vraiment très particulier. Ils ne peuvent pas être des principes analytiques car ils ne sont pas purement logiques, ils contiennent en effet un élément historique irréductible, qui relève de l'ordre contingent des découvertes empiriques et mathématiques.

Ce ne sont pas non plus des principes *a posteriori* car ils ne sont pas « confirmés » par l'expérience : ils ne sont pas empiriques au sens par exemple, des lois empiriques. Ils sont en effet généralement au fondement même des processus de mesure. Ils sont de plus, ainsi que le soutiennent à la fois Reichenbach et Chang, « révisables » sur la base de l'expérience. C'est-à-dire que l'expérience ne peut pas directement les réfuter (en raison notamment des arguments holistes), mais qu'elle peut suggérer leur remplacement. Autrement dit : on ne peut pas prouver que ces principes soient empiriquement faux, mais on peut montrer, ainsi que le fait Reichenbach, qu'un ensemble de principes et d'hypothèses, dont ils font partie, est incompatible avec l'expérience.

Dans ses ouvrages plus tardifs, Reichenbach, en raison de cette dernière constatation, n'hésite plus à les caractériser, de propositions *a posteriori*. Mais il n'oublie pas leur rôle fonctionnel de proposition *a priori* au sein des reconstructions axiomatiques des théories.

Il nous semble donc ici que la distinction entre les propositions *a priori* et *a posteriori* doit être abandonnée. Nous pourrions utiliser le concept de Carnap, celui de propositions *P-valides*. Mais la validité de ces propositions, chez Carnap, n'est obtenue que d'après une convention. Or cela représente mal le caractère obligatoire de ces principes : ce sont souvent, à un moment donné de la science, les seuls principes disponibles pour élaborer des raisonnements, il n'est donc pas possible de s'en passer. *Ils sont fonctionnellement nécessaires, bien qu'historiquement contingents.*

Ce n'est pas fini. Si ces principes sont fonctionnellement *a priori*, mais empiriquement révisables, il reste encore la question de leur contenu. Les assimilant à des définitions, Schlick les identifiait à des principes analytiques. Reichenbach, en remarquant leur contenu indéniablement empirique, les tient pour des propositions synthétiques. C'est ici la question du statut conventionnel

de ces principes qui se joue. Il s'agit aussi d'un problème concernant le sens du concept « proposition analytique ».

L'intrication des ces deux questions peut à notre avis être évitée si l'on prend en compte pour de bon le caractère historique de ces principes : ces principes ne sont ni analytiques au sens où ils seraient dénués de signification ou identiques à de simples tautologies, ni synthétiques au sens où ils posséderaient un contenu empirique littéral (comme le dirait Kant, ils ont plutôt à voir avec la *forme possible* des phénomènes empiriques qu'avec les phénomènes particuliers eux-mêmes, si l'on n'oublie pas que cette *forme* ne doit pas être comprise comme un absolu indépassable).

Affirmons, en suivant les suggestions de Schaffner, Moulines et Chang, que ces principes possèdent un contenu *historique*. Ils ne concernent ni seulement la logique, ni uniquement le réel empirique, mais avant tout l'évolution interne des concepts et des théories de la science. Ils expliquent comment les théories, et partant les concepts métriques qu'elles utilisent, sont historiquement connectées. À la rigueur pourrions-nous utiliser le terme de « propositions synthétiques » si l'on prenait cette expression au sens de la *synthèse historique* des concepts.

Pour finir, ces principes sont contingents car ils dépendent de l'évolution historique contingente de la science, mais ils sont fondamentaux car ils déterminent la forme des théories scientifiques et la structure des raisonnements qu'elles mettent en avant.

3 – Qu'est-ce qu'une grandeur ?

Des conclusions précédentes il résulte que la définition du concept de grandeur ne semble pas pouvoir se passer d'une dimension irréductiblement historique.

Nous pourrions par exemple nous poser la question suivante : « Qu'est-ce qu'une

grandeur ? ». À cela deux réponses au moins sont possibles, celle du théoricien et celle de l'expérimentateur.

Le théoricien répond : « Une grandeur est représentée par une variable mathématique au sein d'une théorie dont les principes sont des fonctions (dérivables et intégrables) »

L'expérimentateur répond : « Une grandeur est ce dont on peut déterminer la valeur au moyen d'instruments de mesure au sein d'un système physique ».

Ces deux réponses sont-elles équivalentes ? Ce sont deux définitions différentes du même concept de grandeur. Il suffit donc de remplacer dans chaque définition, le *definiendum* par le *definiens* de l'autre définition. Cela donne deux propositions, qui semblent substituables l'une à l'autre :

1° « Ce qui est représenté par une variable mathématique au sein d'une théorie dont les principes sont des fonctions, peut voir sa valeur déterminée au moyen d'instruments de mesure au sein d'un système physique d'objets » ;

2° « Ce dont on peut déterminer la valeur au moyen d'instruments de mesure au sein d'un système physique d'objets est représentée par une variable mathématique au sein d'une théorie dont les principes sont des fonctions (dérivables et intégrables) ».

En réalité (c'est que suggèrent en partie les articles de Helmholtz, Hempel et Moulines) seule la deuxième phrase est valide, car il peut y avoir des valeurs théoriques de variables pour lesquelles il n'existe aucune détermination empirique possible. Mais cette deuxième phrase, repose tout de même sur un principe « métaphysique » selon lequel il est en principe possible de toujours identifier empiriquement au moins une grandeur extensive. Ce principe, notons-le, n'est jamais

rigoureusement réalisé ; il n'est l'est que grâce à des idéalizations et des approximations.¹³⁶

Il n'y a donc pas une équivalence entre les deux définitions possibles, mais une simple implication :

Il est vrai que : « Si on peut en déterminer la valeur au moyen d'instruments de mesure alors on peut la représenter par une variable mathématique », étant données certaines idéalizations et approximations.

Mais il est faux que : « Si on peut la représenter par une variable mathématique alors on peut la mesurer ».

On pourrait penser de cela que toute valeur qu'on ne peut pas déterminer par la mesure n'entre pas dans la définition d'une grandeur, et que « être empiriquement mesurable » est une condition nécessaire pour être la valeur d'une grandeur physique. Mais en est-il réellement ainsi ? C'est ce qu'affirmerait en tout cas un opérationnaliste. Cela reviendrait à restreindre l'extension du prédicat « être physiquement significatif » à ce qui est, à l'heure actuelle, physiquement mesurable. Le prédicat « être physiquement significatif » devient donc *relatif* au progrès de la mesure physique, ce qui n'est pas sans pertinence vis-à-vis de l'histoire de la discipline, mais qui pourrait éventuellement poser problème à certains réalistes. Si la physique décrit et explique ce qui est et ce qui est vrai, comment accepter l'idée qu'une proposition puisse n'avoir pas de sens à une époque du développement de la physique, en avoir plus tard, et probablement le reperdre par la suite ?

Si, au contraire, on refuse cette conclusion aux allures anti-réalistes, alors il nous faut donner un sens *absolu* au prédicat « être physiquement significatif ». En quoi un tel sens absolu pourrait-il consister ? Cela serait tomber dans le travers que la physique peut tendre, avec une

¹³⁶C'est ce dernier point qui permet à Reichenbach, par exemple, d'affirmer que le principe de probabilité est le plus fondamental des principes.

précision tendant vers l'infini, à la description et l'explication correcte du monde. Cela présuppose un engagement réaliste selon lequel le monde est réellement constitué de telle manière que la connaissance peut s'approcher toujours de, voire atteindre, cette constitution ultime. À l'inverse, un empiriste anti-réaliste pense qu'un tel postulat réaliste, en raison de la perte de signification des concepts de grandeurs dans les échelles extrêmes, est illusoire.

Et pourtant la solution anti-réaliste n'est pas satisfaisante car elle exclut l'idée que des prédictions théoriques non encore mesurables puissent avoir un sens physique¹³⁷. Pourtant de telles prédictions sont indispensables au progrès de la science, et il serait pour le moins saugrenu de prétendre qu'elles n'acquiescent un sens physique qu'une fois vérifiées, alors que l'on s'est efforcé de les soumettre à des tests. Car vérifier c'est bien établir la vérité ou la fausseté d'une proposition, non pas déterminer si elle a du sens ou non. Et il serait absurde de vouloir soumettre au test une proposition que l'on estime dénuée de sens. (Pour Reichenbach de telles prédictions ont un sens si elles rentrent dans un schéma d'approximations successives).

Voilà donc le dilemme auquel nous sommes confrontés : si d'un côté le prédicat « être physiquement significatif » est défini au sens absolu alors il faut accepter l'idée que la physique peut parvenir à l'ultime perfection et que la physique actuelle est probablement totalement dénuée de sens. Mais si d'un autre côté le prédicat « être physiquement significatif » est défini au sens relatif alors il faut accepter l'idée que les prédictions non encore mesurables sont dénuées de sens. Pour nous, aucune des solutions n'est réellement satisfaisante.

¹³⁷Et on pourrait encore distinguer plusieurs sens de « non-mesurable ». Cela peut être relativement à la précision, ou bien relativement aux bornes des intervalles de l'échelle de la grandeur en question.

4 – Signification empirique et possibilité physique

Si l'on comprend qu'une proposition pourvue de signification physique est une proposition qui décrit un phénomène physique possible, alors une solution serait de distinguer les trois catégories suivantes :

- Ce qui est logiquement possible (ce qui est compatible avec le principe de non-contradiction)
- Ce qui est physiquement possible (ce qui est compatible avec les principes fondamentaux de la théorie physique, par exemple le principe de conservation de l'énergie).
- Ce qui est empiriquement possible (ce qui est compatible avec les résultats de mesure actuels).

Prenons des exemples. La machine à mouvement perpétuel n'est pas logiquement contradictoire (elle est donc logiquement possible), mais elle est impossible d'un point de vue physico-théorique. Ce qui est « physiquement » possible est relatif aux principes fondamentaux de la *théorie* physique, d'où notre usage de l'expression « possible d'un point de vue physico-théorique ». En l'occurrence le mouvement perpétuel est incompatible avec le principe de conservation de l'énergie. Le principe de conservation de l'énergie, notons-le au passage, est compatible avec les résultats de mesure actuels.

Pour qu'une machine à mouvement perpétuel soit « empiriquement » impossible (et non plus seulement impossible d'un point de vue physico-théorique) il faut donc que le principe de conservation de l'énergie soit compatible avec l'expérience, *et aussi* que la négation de ce principe soit incompatible avec l'expérience. Le degré d'impossibilité (impossibilité logique, impossibilité physique, impossibilité empirique) de cette machine dépend du statut du principe de conservation de l'énergie. Il ne serait en effet pas logiquement impossible que l'expérience soit incompatible

avec le principe de conservation de l'énergie (par exemple si une expérience montrait une apparition ou une disparition d'énergie). Ce serait ce que Kuhn nomme une *anomalie*.

Chang avait analysé un exemple similaire à propos du principe de la valeur unique. Ce principe est logiquement possible, mais, selon Chang sa négation l'est aussi, bien que le principe et sa négation ne puissent pas être vrais en même temps. Comme par ailleurs ce principe permet de définir ce qu'est une bonne mesure, il est en même temps constitutif du concept « empiriquement possible ». Chang en venait donc à se demander comment l'expérience pourrait jamais inciter à le rejeter. Or un tel rejet est tout à fait envisageable. Car constater un cas d'incompatibilité entre le principe et la mesure expérimentale ne permet pas de savoir en faveur duquel ou de laquelle trancher. Le théoricien peut décider de rejeter l'expérience au nom d'une hypothèse *ad hoc*.¹³⁸ Mais l'expérimentateur peut choisir de rejeter le principe au nom de la solidité de son expérience.

Par ailleurs il y a aussi des phénomènes possibles d'un point de vue physico-théorique, qui ne sont pas actuellement mesurables, c'est-à-dire dont on ne sait pas s'ils sont empiriquement possibles ou autrement dit, compatibles avec l'expérience, puisque aucune expérience à leur sujet ne peut être réalisée. Lorsqu'une théorie prévoit par exemple qu'un objet doit avoir des dimensions bien inférieures aux plus petites longueurs mesurables.

Alors que l'on pourrait penser que les trois catégories sont organisées selon des rapports d'inclusion – l'empiriquement effectif étant compris dans le possible d'un point de vue physico-théorique, lui même compris dans le logiquement possible – il faut au contraire prendre conscience du fait que, bien que tous deux inclus dans le logiquement possible, l'empiriquement possible d'un côté, et le possible d'un point de vue physico-théorique d'un autre, ne font que se recouper et possèdent des parties qui s'excluent. Il y a donc trois ensembles étranges de phénomènes :

¹³⁸Voir par exemple toutes les ressources qu'utilise Hobbes, dans son débat contre Boyle, pour tenter de défendre l'hypothèse de l'impossibilité du vide. Voir Steven Schapin, Simon Schaeffer, *Leviathan and the Air-Pump*, Princeton University Press, 1985.

1) L'ensemble des phénomènes possibles d'un point de vue physico-théorique mais incompatibles avec l'expérience possible. Ce sont soit des phénomènes envisageables mais inconnus, soit le plus souvent des phénomènes idéalisés, qui sont utiles lors des expériences de pensée.

2) L'ensemble des phénomènes empiriquement possibles, mais incompatibles avec les principes fondamentaux de la théorie. Ceux qui sont connus sont les « anomalies ».

3) Enfin, il y a les phénomènes logiquement possibles, mais incompatibles à la fois avec les principes théoriques admis et avec l'expérience. Ce sont ceux qui donnent lieu, en suivant l'expression de Schaffner provenant de la représentation populaire, à la science-fiction.

Nous admettons qu'il n'y a pas de phénomènes théoriquement ou empiriquement possibles qui soient logiquement contradictoires. Ce serait la ruine de la raison. Mais nous reconnaissons qu'affirmer cela revient à accepter un principe métaphysique. Nous y reviendrons en conclusion.

Mais alors que le logiquement et le possible d'un point de vue physico-théorique appartiennent à la sphère de la raison, et dépendent des principes qui sont admis, l'empiriquement possible appartient à la seule sphère de l'expérience. Il possède deux caractéristiques particulières :

a) On ne connaît jamais dans son intégralité ce qui est empiriquement possible. Il faudrait pour cela avoir tout mesuré. Le possible empirique peut donc parfois dépasser le théoriquement possible.

b) Ce qui est empiriquement possible contient ce qui est effectivement et actuellement mesurable. Mais les mesures n'ont de sens que si l'on accepte certains principes théoriques (par exemple celui de la valeur unique ou celui de la relativité restreinte).

Cela donne donc le sentiment que ce qui est théoriquement possible détermine ce qui est

empiriquement mesurable, et en retour que ce qui est empiriquement mesurable peut dépasser ce qui est théoriquement possible.

C'est cela que veut dire Reichenbach en 1920 lorsqu'il affirme que les principes de coordination sont constitutifs des objets physiques, mais que l'expérience peut toutefois suggérer leur remplacement si une incohérence est constatée.

Chez Kant, il y a une tentative de réduire ce qui est empiriquement possible à ce qui est possible d'un point de vue physico-théorique. À l'inverse, l'ambition des empiristes-logiques était de réduire le physiquement possible à l'empiriquement significatif. C'est chez Schlick que l'ambition est la plus radicale. Elle est plus nuancée chez ses successeurs (Carnap, Hempel).

L'apport de Reichenbach, qui renvoie en 1920 ces deux courants dos-à-dos, et qui dérive de sa compréhension de la théorie de la relativité comme épisode révolutionnaire et discontinu, est le suivant. Chez Kant le physiquement possible, qui est prescrit par des propositions synthétiques *a priori*, n'est pas susceptible d'évolution. Il est, en quelque sorte absolu. Si le divers du phénomène ne s'y conformait pas, la connaissance serait impossible, de même qu'une connaissance contradictoire n'est pas une connaissance du tout.¹³⁹ Chez Reichenbach il existe un mouvement, que nous hésitons à qualifier de dialectique, mais qui est pour le moins bi-directionnel : ce qui est possible d'un point de vue physico-théorique détermine ce qui est effectivement mesurable, mais il arrive que ce qui est effectivement mesurable incite à opérer des changements dans ce qui est possible d'un point de vue physico-théorique.¹⁴⁰ Autrement dit : les principes admis conditionnent les expériences réalisable, mais les expériences réalisés peuvent entrer en conflit avec ces mêmes principes.

139Se reporter aux sections de la *Critique de la Raison Pure* intitulées « Du principe suprême de tous les jugements analytiques » et « Du principe suprême de tous les jugements synthétiques ».

140Nous préférons ne pas employer la circonlocution « ce qui est *tenu comme* physiquement possible à un état *t* de la science », car cela signifierait que les principes qui ont été remplacés sont des propositions empiriquement fausses. Or la valeur de vérité des principes fondamentaux ne peut pas être déterminée individuellement, mais seulement en système. Par ailleurs, nous ne pensons pas qu'il existe un seul principe physique-théorique à propos duquel on puisse dire (contrairement à ce que font Kant et Reichenbach) que si le réel ne s'y conformait pas, alors la connaissance serait impossible.

Mais comment des expériences trouvant leur fondement dans un ensemble de principes peuvent-elles conduire à rejeter ces mêmes principes ?

5 – Corriger les principes constitutifs par l'expérience : où Reichenbach réfute Kant

Reichenbach apporte une réponse intéressante à cette question dans un ouvrage intitulé *The aims and methods of physical knowledge*, dans le chapitre intitulé « The problem of the *a priori* ». ¹⁴¹ Il y explique que Kant rejetait la possibilité que le divers des phénomènes puisse contredire les principes mêmes qui nous permettent de structurer ce divers :

Kant's proof of this conception can be roughly formulated as follows: the presuppositions in question are used in the construction of propositions from perceptions; therefore no proposition can ever contradict them, for any such proposition must itself have come into being with the help of these presuppositions. Thus the truth of these principles is completely certain; furthermore, they apply to the external world, for they are contained in every proposition about the external world. They are the 'constitutive' principles of the external world. ¹⁴²

Mais Reichenbach n'est pas d'accord avec cette prétendue preuve. Si jamais l'expérience venait à nous présenter des mesures incompatibles avec ces principes, Kant serait amené, selon son raisonnement, à rejeter les mesures, ou dans le pire des cas, à déclarer la connaissance du monde impossible. Mais, explique Reichenbach, l'incompatibilité ne s'établit pas entre des mesures expérimentales et des principes constitutifs, mais entre des mesures prédites (par l'intermédiaire des principes) et des mesures réellement effectuées. L'incompatibilité concerne seulement

¹⁴¹Hans Reichenbach, *Selected Writings*, vol II, pp. 169-172.

¹⁴²*Op. cit.* p. 170.

des valeurs calculées d'un côté, et des valeurs mesurées de l'autre, et pour établir leur incompatibilité (c'est-à-dire leur différence mathématique) il n'y a pas besoin d'autres principes que ceux de l'arithmétique.¹⁴³ Ainsi des mesures expérimentales ou des observations peuvent conduire à rejeter des principes constitutifs par réduction à l'absurde : les principes constitutifs nous conduisent à formuler des prédictions concernant certaines mesures et certaines observations ; or les mesures et les observations effectuées sont incompatibles avec les valeurs prédites ; donc il est tout aussi légitime de rejeter les principes que les résultats des mesures et des observations.¹⁴⁴ Ou, comme le formule Reichenbach :

Kant assumes [*fingiert*] the following logical sequence: a series of propositions a_i , all containing the presupposition A , is given; it is concluded from them that A is false. Kant then pronounces this to be a false proof; we cannot, he says, infer not- A , since the a_i presuppose A . But he is wrong, for the proof is valid. It shows that the presupposition A leads to contradiction and thereby proves that A is false. This is the *deductio ad absurdum* of the ancient logicians, but, it is, at the same time, a mode of inference very familiar in physics. A series of phenomena is explained by a theory, which is then seen to lead to contradictions; instead of concluding that the method of confirmation is false, the scientist concludes that the proposed theory is false.¹⁴⁵

Mais l'explication de Reichenbach n'a de sens que si l'on abandonne l'idée (ce que Kant n'est pas du tout prêt à faire) que les principes de la physique sont fondées dans l'intuition. Chang remarquait déjà, en développant la notion de minimalisme et en citant Grünbaum :

What is certain is that there is no guarantee that observations enabled by a particular theory will always validate that theory. That is a point that was noted at least as early as 1960 by Adolf Grünbaum (1960, 75, 82).

Discussing the case of physical geometry in the context of his argument against "Duhem's thesis that the

143Aux principes mathématiques nécessaires pour effectuer ce raisonnement, Reichenbach ajoute le principe de probabilité. Chang ajoutera le principe de la valeur unique.

144Il ne s'agit ici de rien d'autre que d'un raisonnement holiste dans le style de Duhem.

145Ibid, pp. 170-171.

falsifiability of an isolated empirical hypothesis H as an explanans is unavoidably inconclusive,” Grünbaum noted: “The initial stipulational affirmation of the Euclidean geometry G_0 in the physical laws P_0 used to compute the corrections [for distortions in measuring rods] in no way assures that the geometry obtained by the corrected rods will be Euclidean.” [...] In fact it is not always so easy to obtain confirmations. And when a theory is falsified despite being tested by observations made on its basis, it will be very difficult to evade the falsification. The circularity here is a form of the minimalism that renders a negative test result more assuredly damning, as discussed earlier.¹⁴⁶

Néanmoins Reichenbach s'éloigne de son idée originale qu'il n'y a pas de concept plus général car il reconnaît la nécessité d'utiliser le principe de probabilité dans la mise en évidence de la contradiction. Puisqu'il s'agit de mesures physiques, l'incompatibilité des prédictions avec les mesures effectives ne peut être affirmée que de manière approchée, et la comparaison nécessite d'accepter le principe de probabilité.

We consider the contradiction to be proven only if the variations contravene the laws of probability. That is, the laws of probability are not drawn into the establishment of the contradiction, but they must always be included in the construction of theories if accord with experience is to be attained at all. This is the reason for their special position.¹⁴⁷

Pour cette raison, le philosophe tient le principe de probabilité pour le plus fondamental de tous les principes, celui que l'on conservera en priorité sur tous les autres : « Of all the principles used in the construction of theories, the probability principle is the one that we will maintain to the very last »¹⁴⁸. Cela signifie-t-il pour autant que Reichenbach considère (comme le ferai Kant dans la même situation) ce principe comme irréfutable ? Non, il admet tout à fait la possibilité que

146H. Chang, *Inventing Temperature, measurement and scientific progress*, Oxford University Press, 2004, p. 95. Ce petit développement est typique du cohérentisme de Cha

147Ibid, p. 171.ng.

148Ibid.

l'expérience vienne à mettre en évidence des phénomènes entrant en contradiction avec les prédictions dérivées de ce principe, mais en tire une conclusion bien pessimiste :

Must we then regard the laws of probability themselves as irrefutable? This would claim too much, even though they are the ultimate presuppositions. All we can say is that without the laws of probability we would certainly run into contradictions; but we may not assert that contradictions can invariably be avoided *with* them. We will invariably maintain the laws of probability for as long as possible, for all other principles must fall with them ; yet it is in principle possible for a theory presupposing only the laws of probability to lead to contradictions. *In this case, we would have to state that knowledge of nature is impossible.*¹⁴⁹

Mais l'argument anti-kantien de Reichenbach est-il suffisant ? Il faudrait selon nous aller plus loin encore dans la réfutation de Kant. Pour ce dernier en effet, les principes constitutifs ne sont pas constitutifs de la théorie uniquement, mais de la perception elle-même. Si ces principes n'étaient pas nécessaires, il nous serait impossible d'avoir des perceptions et des représentations cohérentes, nous ne pourrions même pas comparer des nombres écrits sur un papier, nous ne pourrions même pas comparer deux représentations mentales entre elles.

6 – La coévolution des méthodes de mesure et la définition du concept de grandeur

Dans un passage de la *Critique*¹⁵⁰, Kant affirme que toutes nos intuitions des phénomènes sont des grandeurs extensives : « les phénomènes sont tous globalement des grandeurs, et plus précisément des *grandeurs extensives*, parce que, comme intuitions dans l'espace ou dans le temps, il leur faut être représentés au moyen de la même synthèse que celle par laquelle sont déterminés

¹⁴⁹*Ibid*, p. 172.

¹⁵⁰Voir Emmanuel Kant, *Critique de la raison pure*, trad. Alain Renaut, Garnier-Flammarion, 2006, pp. 239-240, (AK, III, 148-149).

l'espace et le temps en général ». Partant les grandeurs extensives seraient le fondement ultime de notre connaissance, et sans elles, la connaissance serait impossible : si notre intuition ne nous donnait pas accès à des grandeurs extensives, la connaissance ne serait pas possible.

La réfutation de Reichenbach doit donc s'accompagner de l'affirmation qu'une connaissance sans intuition est possible. Or il s'agit là d'une des thèses principales de Schlick dans la *Théorie Générale de la Connaissance*. Il est évident que Reichenbach, qui préfère parler de « représentation » plutôt que d'intuition, adhère à cette thèse. Il s'agit même, nous l'avons expliqué, d'une des thèses fondamentales de l'épistémologie coordinative sous sa forme empiriste. Chez Schlick, d'ailleurs, la raison qui motive le développement d'une telle épistémologie est probablement le projet d'éliminer le concept de l'intuition de la théorie de la connaissance.

Cependant Reichenbach est conduit, par sa théorie coordinative et empiriste de la connaissance, à une affirmation d'esprit kantien. Certes il ne reconnaît finalement, après 1920, aucun principe *a priori*, mais il admet que le principe de probabilité (qui permet de donner un sens à l'incertitude ou à l'erreur de mesure) est un principe constitutif nécessaire à la connaissance. Son empirisme le conduit à envisager que l'expérience puisse entrer en contradiction avec le principe (on se demande pourquoi Reichenbach ne donne pas d'exemples précis), ce qui aurait pour conséquence, non de rejeter l'expérience, mais de déclarer la connaissance de la nature impossible.

Or, le principe de probabilité existe sous différentes formes. Que l'on pense par exemple aux approches probabilistes ou aux approches bayésiennes.

De plus, le raisonnement de Reichenbach repose sur une supposition implicite, tout à fait empiriste : celle selon laquelle toute connaissance empirique est nécessairement approchée. Or il est tout à fait envisageable (il est logiquement possible) que la mesure parvienne à un degré de précision tel que l'incertitude soit éliminée, ce qui nécessiterait, entre autre que la connaissance soit

parvenue à l'identification des composantes ultimes du réel empirique (les résultats de mesure seraient, par exemple dans ce cas, des valeurs discrètes, comme lorsque l'on compte le nombre d'objets dans un ensemble).

Sa conclusion absolutiste suppose donc tout de même que la connaissance possède une forme indépassable. Nous ne pouvons rejoindre Reichenbach sur ce terrain, qui est d'ailleurs en opposition avec son affirmation dans son livre de 1920 selon laquelle « il n'y a pas de concept le plus général ». En restant fidèle à cette déclaration, nous pouvons tout à fait reconstituer une thèse empiriste qui évite le piège du scepticisme.

Le point commun de Kant, et des néo-empiristes, est de considérer que la connaissance doit se construire à partir d'un concept déterminé de grandeur physique. Pour Kant ce socle était celui de la grandeur extensive, véhiculant un contenu intuitif clair. Pour Schlick et Reichenbach, il s'agit de coordonner des objets du monde à des variables mathématiques abstraites. Pour Carnap et Hempel cela se transforme dans le projet de coordonner l'ensemble des nombres réels à celui des rationnels de manière univoque. Grandeur géométrique extensive, variable de l'analyse, termes définis sur des ensembles de nombres, voilà la succession des socles épistémologiques qui déterminent l'évolution de la théorie coordinative de la connaissance.

Cette théorie pourrait être dépassée lorsque serait reconnu qu'aucune structure mathématique n'est privilégiée pour représenter les phénomènes de la nature. Nous avons vu en effet que quelque soit la structure mathématique choisie pour effectuer la coordination au réel, la garantie d'univocité était en général irréalisable. La raison d'être de la théorie coordinative de la connaissance est donc largement battue en brèche.

Cela doit nous permettre de mettre en avant une caractéristique majeure des concepts métriques. Les propriétés physiques qu'ils sont censés représenter ne sont pas intrinsèquement

mathématiques. La célèbre phrase de Galilée, si souvent citée, selon laquelle le livre de la nature serait écrit en langage mathématique, ignore la nécessité d'opérer une coordination entre les concepts mathématiques et les propriétés (ou objets) physiques. Les « grandeurs » ne sont pas des choses de la nature, mais des concepts qui remplissent plus ou moins bien leur rôle.

Le concept de grandeur voit son évolution portée tant par les innovations expérimentales, qui conduisent à modifier la structure mathématique qui lui est sous-jacente, que par les découvertes mathématiques qui permettent à l'expérimentation de faire des pas en avant. Nous aimerions, pour décrire ce progrès si particulier, utiliser l'expression de coévolution. Elle nous est inspirée par la description originale du progrès mathématique présentée par Imre Lakatos dans *Preuves et réfutations*. Il y explique comment les démonstrations des théorèmes de la géométrie des solides coévoluent avec la définition des solides géométriques.

Un concept de grandeur est soumis au même genre d'évolution. Sa définition, pourvu que le progrès mathématique d'un côté, et le progrès instrumental de l'autre, ne trouvent pas de terme, ne peut donc jamais parvenir à une forme définitive. L'impossibilité (au moins en pratique) d'une coordination univoque est une preuve en faveur de cette idée. Cela ne doit pas être interprété, ainsi que l'aurait fait Schlick, comme un échec dans la formulation d'une connaissance vraie. Au contraire, ce caractère coévolutif des concepts de grandeur est ce qui autorise le progrès dans les sciences physiques.

Cela nous autorise, pour terminer, un dernier retour critique sur les positions des différents auteurs que nous avons étudiés

La volonté de Schlick de garantir l'univocité de la coordination (pour la préserver de l'existence de descriptions du monde empiriquement équivalentes) à grand coup de conventions est par conséquent, inutile.

Le problème de Carnap, et ensuite celui de Hempel, trouve aussi une solution, déjà esquissée avec les thèses de Moulines, mais qui peut se compléter. L'idée que nous aimerions ajouter est qu'une grandeur dérivée n'est pas nécessairement un terme théorique ni une grandeur fondamentale un terme observationnel. La signification empirique d'un concept n'est pas nécessairement construite en reliant ce dernier à des opérations de mesures fondamentales. Il peut au contraire exister tout un réseau de principes, d'hypothèses, de méthodes différentes, qui de manière non-univoque, déterminent partiellement la signification empirique de ce concept. Ce fait ne correspond pas à une ruine du néo-empirisme, si ce courant est prêt à accepter le caractère coévolutif des concepts métriques.

Reichenbach enfin, celui parmi les empiristes-logiques qui est le plus proche de la position ouverte à laquelle nous appelons, restreint trop le champ des concepts métriques. Il n'y a pas de raisons *a priori* de penser que ces concepts seront nécessairement, dans les développements ultérieurs de la physique, enrégimentés dans la forme prescrite par le principe de probabilité. Nous pouvons donc affirmer avec lui, fidèle au mouvement le plus discontinuiste de sa pensée : il n'y a pas de concept le plus général.

Conclusion et perspectives de la recherche.

The physicist who is looking for new discoveries must not be too critical ; in the initial stages he is dependent on guessing, and he will find his way only if he is carried along by a certain faith which serves as a directive for his guesses. [...] the critical attitude may make a man incapable of discovery ; and, as long as he is successful, the creative physicist may very well prefer his creed to the logic of the analytic philosopher.

Hans Reichenbach, « The philosophical significance of the theory of relativity », in *Albert Einstein, Philosopher Scientist*, Paul A. Schilpp ed., MJF Books, 1970, p. 292.

Conclusion

L'ambition de cette étude a été de montrer que certains principes, considérés comme nécessaires et indispensables pour la pratique expérimentale et théorique de la science, sont en réalité tout à fait révisables. Les généraliser, ou les invalider, sur la base de l'expérience, semble possible, alors même que toute expérimentation n'acquiert de signification qu'après leur acceptation. L'identification et la formulation de ces principes, à la frontière entre les mathématiques et la mesure, devient, à partir des révolutions du XIX^{ème} et du XX^{ème} siècle, un enjeu crucial. Mais cet enjeu ne doit pas faire perdre de vue que leur formulation claire et distincte n'équivaut pas à une intronisation. Ces principes, soit dans le cas d'un progrès théorique, soit dans le cas d'un progrès expérimental, ne sont pas éternels, comme le montrent respectivement Reichenbach et Chang.

Pour cette raison, la signification des concepts métriques, qui dépend avant tout de ces principes – puisque ces derniers rendent possible la représentation des objets ou propriétés physiques en termes de grandeurs mathématiques – ne peut d'aucune manière être stable : la signification des concepts métriques évolue conjointement à l'évolution des principes.

Pour expliquer ce dernier point revenons d'abord sur l'embarras de Bridgman, qui donne le prélude à notre étude. Cet embarras, en effet, est révélateur des limites de l'épistémologie coordinative. Cette dernière rend totalement problématique la définition même des concepts de grandeur physique, car elle occulte, à travers la distinction entre la partie formelle et la partie empirique d'une théorie, la dimension irréductiblement historique de la définition des concepts métriques.

L'embarras de Bridgman indique l'impasse d'une telle conception : d'un côté il faut que les concepts métriques reçoivent la définition la plus rigoureuse et la plus stricte possible (ce qui n'est possible selon Bridgman qu'à l'aide des définitions opérationnelles) ; mais d'un autre côté la définition rigoureuse à l'aide des énoncés opérationnels est inadaptée pour rendre compte de la « signification potentielle » des concepts métriques.

Le problème disparaît en partie s'il est tenu compte, ainsi que nous avons voulu le montrer en troisième partie, de la dimension historique, souvent implicite, des concepts de grandeur. Cette dimension historique trouve selon nous son expression dans certains principes fondamentaux, les principes de coordination, qui imposent, entre autres, les conditions mathématiques que doivent respecter les concepts métriques. Ces conditions mathématiques, tout en déterminant ce qui doit être tenu comme physiquement possible, n'ont pourtant aucun caractère logiquement nécessaire.

Nous aimerions proposer ici une comparaison avec l'analyse que propose Lévy-Leblond de l'évolution historique des constantes fondamentales. Dans l'article déjà cité, le physicien explique que certaines constantes fondamentales finissent par disparaître totalement dans l'expression des lois et des principes des théories, car leur caractère fondamental a été absorbé par le formalisme – à travers une redéfinition adéquate du système d'unités par exemple. Il en est de même des principes de coordination. Des principes comme celui de la valeur unique, pointé par Chang, ou le principe

dit d'Archimède, analysé par Hilbert, gisent aux fondements même des concepts de grandeurs physiques. Ils sont littéralement constitutifs de ces concepts.

Pourtant, ils ne surgissent pas d'une quelconque nécessité logique – leur négation n'est pas incompatible avec les principes logiques communément admis. Ainsi que le reconnaissent plusieurs auteurs (Hilbert, Reichenbach, Chang) ces principes sont *révisables*. Les empiristes, comme Reichenbach, vont même jusqu'à affirmer qu'ils sont révisables sur la base de l'expérience.

Néanmoins ces principes ne sont pas directement *testables* par l'expérience. Sans eux, en effet, aucune expérimentation ne peut recevoir une quelconque interprétation théorique. Reichenbach explique certes comment des principes constitutifs peuvent entrer en contradiction avec l'expérience. Mais cela n'est possible que si l'on prend la théorie comme un tout, que l'on confronte de manière holiste à l'expérience. La charge de la contradiction repose alors, comme l'explique Duhem, sur toute la théorie, et pas simplement sur certains de ses principes. En rejetant certains principes, plutôt que d'autres, Reichenbach effectue un choix. Ce choix – éliminer toutes les hypothèses supposant une « force universelle » – est, selon nous, conditionné par des conceptions philosophiques empiristes et anti-conventionnalistes.

Mais, sans s'attarder plus sur la spécificité de la position de Reichenbach, remarquons que le statut des principes de coordination ne se laisse pas aisément classer au sein de la distinction fondamentale de l'épistémologie coordinative. Ni purement formels, ni simplement empiriques, ce n'est pas un hasard si les principes de coordinations sont tenus par Reichenbach en 1920 comme des principes synthétiques *a priori*.

La meilleure caractérisation de ces principes est peut-être la suivante : ils ne sont pas logiquement nécessaires et ils sont pourtant indispensables à l'élaboration d'un raisonnement à l'intérieur du système d'une théorie physique. Leur caractère indispensable provient du fait que les théories physiques nouvelles ne se constituent pas à partir de rien, mais s'édifient sur les bases de

théories antérieures, dont elles conservent certaines structures.

Pour faire mieux comprendre ce caractère indispensable, prenons un exemple simple. Celui d'un casse-tête, c'est-à-dire d'un jeu matérialisé sous la forme d'un objet physique (en bois, en ficelle, en métal) où le but est d'assembler ou de désassembler des pièces qui ne semblent pas pouvoir se plier aux mouvements nécessaires à la réalisation de l'assemblage ou du désassemblage. Lors de la résolution du casse-tête, qui n'est pas seulement, comme on le dit parfois, un jeu logique, il faut respecter certaines règles authentiquement physiques : il ne faut pas couper ou scier les pièces, par exemple, afin de les désassembler. Tricher de la sorte n'est pas impossible, mais est interdit par la règle du jeu.

Une théorie physique fonctionne de manière analogue à la résolution d'un casse-tête. La solution de problèmes dans une théorie de la dynamique des corps solides, par exemple, s'appuie sur le principe d'impénétrabilité des corps : des corps solides ne peuvent pas se traverser l'un l'autre. Ce principe est indispensable si l'on veut expliquer le mouvement des corps solides. Or ce principe d'impénétrabilité n'est pas nécessairement vrai : il se peut que l'expérimentation mette en évidence des systèmes physiques dont le comportement, si l'on souhaite parvenir à une explication simple du phénomène, implique l'abandon du principe. Dans la question de l'abandon possible de ce principe se joue aussi la question de la définition des concepts comme celui de corps ou de solide.

Ici se concentre le problème du conventionnalisme. Il semble toujours possible de sauvegarder un principe quelconque, pourvu de le compléter par des hypothèses *ad hoc* adéquates. Ainsi il est possible de conserver le sens classique des concepts de corps et de solide si l'on admet par ailleurs un ensemble d'hypothèses *ad hoc*, qui en retour modulent la signification des concepts en question. Par contre, le rejet du principe conduirait à une redéfinition radicale des concepts

fondamentaux afin de prendre en compte les nouveaux phénomènes.

Il se passe donc exactement ce que décrit Reichenbach dans son livre de 1920 : le remplacement des principes de coordination conduit à la redéfinition des objets fondamentaux de la théorie. Nous pouvons nous inspirer de cette remarque pour proposer une manière de trancher entre le conventionnalisme et la position empiriste concurrente que propose Reichenbach. D'une certaine manière le conventionnalisme – tel que le défend Schlick – ne rend pas justice au caractère révolutionnaire de la théorie nouvelle (en l'occurrence la théorie de la relativité).

Le caractère révolutionnaire ne s'exprime qu'à travers une hiérarchisation des principes : par exemple Einstein, en formulant la théorie de la relativité restreinte, choisit le principe d'invariance relativement aux transformations de Lorentz, contre une physique où les transformations de Lorentz n'interviennent que comme hypothèses *ad hoc*. De même Reichenbach formule à plusieurs reprises l'idée que le principe de probabilité est le plus fondamental de tous, que ce sera le dernier à être abandonné.

Cette hiérarchisation est habituellement analysée comme fondée sur une croyance ou une foi, que le physicien s'engage à suivre.¹ Une croyance ou une foi qui le guide dans la découverte de la théorie nouvelle. Le caractère révolutionnaire d'une théorie provient d'ailleurs peut-être de ce que la fidélité quasiment aveugle en un principe pousse les « révolutionnaires » à rejeter tous les principes qui ne sont pas compatibles avec ce premier. Mais il est tout à fait envisageable de considérer la hiérarchisation des principes comme motivée par des soubassements historiques internes à la théorie.

Prenons l'exemple de la théorie ptoléméenne du mouvement des astres. Cette théorie repose sur un principe – une contrainte mathématique – selon lequel il faut expliquer le mouvement des planètes par des cercles. Ce principe repose à son tour sur une conviction métaphysique selon laquelle la nature même des astres leur impose un mouvement circulaire. Mais le principe

1 Voir le passage en exergue de la conclusion.

mathématique et le principe métaphysique ne sont pas équivalents : le principe métaphysique implique le principe mathématique, mais l'inverse n'est pas vrai. Or il se peut que le principe mathématique soit intégré profondément dans le développement d'une théorie, et que le principe métaphysique qui l'a suscité soit peu à peu oublié.

Ainsi en est-il aussi des principes au fondement de la définition des concepts de grandeur. Le principe de la valeur unique, et le principe dit d'Archimède, sont historiquement intégrés dans le concept de grandeur lui-même. Rien, pourtant ne garantit leur nécessité. Leur rester fidèle ne garantit pas de faire toujours de la bonne science. Mais les avoir respectés jusqu'à maintenant a toujours permis de proposer des explications adéquates des phénomènes physiques. Il faut s'attendre à ce qu'il n'en soit pas toujours ainsi.

Livrons-nous pour finir à une reconstruction *a posteriori* de l'épistémologie coordinative. Jusqu'à Kant, deux principes indéracinables conduisent la réflexion en physique mathématique. D'un côté le principe de non-contradiction (paradigme « parménidien »), de l'autre le principe selon lequel la géométrie euclidienne est la géométrie de l'espace physique (paradigme « euclidien »).

Au début du XIX^{ème} siècle, le deuxième de ces principes est battu en brèche. Cela constitue l'acte de naissance de l'épistémologie coordinative : les théories mathématiques ne sont pas des théories à propos du réel physique.

L'épistémologie coordinative est pour ainsi dire une épistémologie de transition. Elle perdure dans l'intervalle historique constitué premièrement par l'abandon progressif du paradigme euclidien et deuxièmement par la conservation du paradigme « parménidien », et elle dure aussi longtemps que ce dernier principe n'est pas remis en cause (pour des raisons appartenant à la physique mathématique).

L'épistémologie coordinative est la philosophie des sciences caractéristique de la période de la physique-mathématique pendant laquelle le paradigme euclidien est progressivement puis définitivement abandonné, alors que le paradigme « parménidien » reste totalement intègre. Cette épistémologie résulte de la nécessité de relier l'ensemble cohérent des mathématiques (enrégimentées dans le principe de non-contradiction) avec l'ensemble indéfini du réel physique (qui n'est pas nécessairement euclidien).

L'épistémologie coordinative connaît son apogée avec la formulation de la théorie de la relativité générale, grâce à laquelle il est « prouvé », selon Reichenbach, que la géométrie euclidienne ne peut pas être une description adéquate de l'espace physique. Mais elle est progressivement intégrée dans l'épistémologie implicite que les savants développent par le simple usage des théories physiques, au point de devenir, soit une trivialité, soit une vision caricaturale de la science.

Ce travail ouvre plusieurs perspectives. Premièrement il serait intéressant d'étudier le remplacement progressif de l'épistémologie de coordination par une théorie de la connaissance physique centrée sur la notion de modèle. L'article de Schaffner que nous avons analysé dans la dernière section se situe dans la période de transition entre ces deux philosophies des sciences : souvent les critiques adressées à l'encontre de l'épistémologie de coordination le sont depuis une épistémologie centrée sur les modèles. Il serait pourtant intéressant d'étudier si les problèmes rencontrés par l'épistémologie de coordination sont véritablement résolus dans une épistémologie des modèles.

Deuxièmement il serait pertinent de prolonger l'analyse de la théorie coordinative de la connaissance en la mettant en lien avec le développement de la physique quantique. Nous nous sommes volontairement restreint ici au lien de cette épistémologie avec la théorie de la relativité,

mais il ne fait aucun doute que la formulation progressive de la théorie quantique a eu des effets importants sur le schéma coordinatif, ne serait-ce qu'en raison du problème central de la mesure en physique quantique. Hans Reichenbach est parmi les premiers philosophes à s'intéresser également à cette théorie : sans l'étude des liens entre la physique quantique et la théorie coordinative, le bilan des positions de ce philosophe ne peut être complètement dressé.

Enfin, il faudrait vérifier si les théories de la connaissance centrées sur les modèles d'un côté, et la philosophie de la physique quantique de l'autre, permettent de revisiter l'analyse et la définition du concept même de grandeur physique.

Bibliographie

- Gaston Bachelard, *La valeur inductive de la relativité*, Vrin, 2014 (1929).
- Gaston Bachelard, *Le nouvel esprit scientifique*, PUF, 1934.
- Gaston Bachelard, *La philosophie du non*, PUF, 1940.
- Samet Bagce, « Reichenbach on the relative a priori and the context of discovery/justification distinction », *Synthese*, vol. 181, no. 1, juillet 2011, pp. 79-93.
- Davis Baird, R. I. G. Hughes, et Alfred Nordmann, dir., *Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher*, vol. 198 / , Dordrecht, Springer Netherlands, *Boston Studies in the Philosophy of Science*, 1998.
- Wolfgang Balzer, C. Ulises Moulines, Joseph D. Sneed, *An Architectonic for Science, The Structuralist Program*, D. Reidel Publishing Company, 1987.
- Vadim Batitsky, « Empiricism and the myth of fundamental measurement », *Synthese*, Vol. 116, No. 1, 1998, pp. 51-73.
- Henri Bergson, *Durée et Simultanéité*, PUF, 1968.
- Jacques Bouveresse et Pierre Wagner, dir., *Mathématiques et expérience, L'empirisme logique à l'épreuve (1918-1940)*, Odile Jacob, 2008.
- Percy W. Bridgman, *The logic of modern physics*, New York, Etats-Unis d'Amérique, The Macmillan company, 1948.
- Percy W. Bridgman, *Dimensional analysis*, Yale University Press, (1922).
- E. Buckingham, « On physically similar systems; illustrations of the use of dimensional

- equations », *Physical Review*, vol. 4, no. 4, 1914, pp. 345–376.
- Norman Robert Campbell, *Physics : The Elements*, Cambridge University Press, 1920.
 - Norman Robert Campbell, *An account of the principles of measurement and calculation*, Longmans, Green and co., 1928.
 - Rudolph Carnap, *La construction logique du monde*, Vrin, 2002.
 - R. Carnap, *Testabilité et signification*, trad. Pierre Wagner, Vrin, 2015.
 - R. Carnap, *Logical Syntax of Language*, Routledge, 2000.
 - R. Carnap, *L'espace, Une contribution à la théorie de la science*, trad. Pierre Wagner, Gallimard, 2017.
 - R. Carnap, « The Methodological Character of Theoretical Concepts », *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol. 1, no. 1, 1956, pp. 38–76. Repris dans R. Carnap, « The methodological Character of Theoretical Concepts », in H. Feigl et M. Scriven eds., *The Foundations of Science and the Concepts of Psychology and Psychoanalysis*, University of Minnesota Press, 1956, pp. 38–76.
 - R. Carnap, *Les Fondements Philosophiques de la Physique*, Armand Collin, 1973.
 - R. Carnap, *Foundations of logic and Mathematics*, The University of Chicago press, 1939.
 - R. Carnap, « On the Use of Hilbert's ε -operator in Scientific Theories », in Yehoshua Bar-Hillel ed., *Essays on the Foundations of Mathematics*, Magnes Press, 1961 pp. 156-164.
 - Nancy Cartwright et Hasok Chang, « Measurement », *Routledge Companion to the Philosophy of Science*, Stas Psillos and Martin Curd (eds.), pp 702-718.*
 - Hasok Chang, *Inventing temperature, measurement and scientific progress*, Oxford University Press, 2004.
 - Hasok Chang, « Contingent transcendental arguments for metaphysical principles », *Royal*

- Institute of Philosophy Supplement*, 63, 2008, pp. 113-133.
- Chang, Hasok, « Operationalism », in Zalta, Edward N., dir., *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, 2009.
 - J. A. Coffa, *The semantic tradition from Kant to Carnap: To the Vienna station*, Cambridge University Press, 1991.
 - Leo Corry, « David Hilbert and the Axiomatization of Physics (1894-1905) », *Archive for History of Exact Sciences*, 51.2 (1997), 83–198.
 - Leo Corry, « On the Origins of Hilbert's Sixth Problem : Physics and the Empiricist Approach to Axiomatization », in *Proceedings Of the International Congress of Mathematicians : Madrid, August 22-30, 2006 : Invited Lectures*, 2006, pp. 1697–1718.
 - Pierre Duhem, *La Théorie Physique, son objet, sa structure*, Vrin, 2007.
 - Brian Ellis, *Basic Concepts of Measurement*, Cambridge University Press, 1968.
 - Hartry Field, *Science without numbers*, Princeton University Press, 1980.
 - Bas C. van Fraassen, *The Empirical Stance*, Yale University Press, 2002.
 - Bas C. van Fraassen, *Scientific Representation : Paradoxes of Perspectives*, Oxford University Press, 2008.
 - Philipp Frank, ed. *The Validation of Scientific Theories*, Boston : Beacon Press, 1956.
 - Gottlob Frege, *Écrits logiques et philosophiques*, Seuil, 1971.
 - Anil Gupta, "Definitions", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2015 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = [<https://plato.stanford.edu/archives/sum2015/entries/definitions/>](https://plato.stanford.edu/archives/sum2015/entries/definitions/).
 - Hermann von Helmholtz et al., *Epistemological writings: the Paul Hertz/Moritz Schlick centenary edition of 1921 with notes and commentary by the editors*, Springer, 1977.

- Carl G. Hempel, *Fundamentals of concepts formation in empirical science*, The University of Chicago press, 1952.
- Carl G. Hempel, « A logical appraisal of operationism », *The Scientific Monthly*, Vol. 79, No. 4 (Oct., 1954), pp. 215-220.
- Carl G. Hempel, « The Theoretician's Dilemma » (1958), in *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Vol. II, H. Feigl, M. Scriven, and G. Maxwell (eds.), Minneapolis: University of Minnesota Press, pp. 37–98.
- Carl G. Hempel, « Empiricist criteria of cognitive significance : problems and changes », in Carl G Hempel, *Aspects of Scientific Explanation and other essays in the philosophy of science*, The Free Press, 1965.
- Carl G. Hempel, *Philosophy of natural science*, Prentice Hall, 1966. Trad. Par Bertrand Saint-Sernin sous le titre : Carl G. Hempel, *Éléments d'épistémologie*, Armand Collin, 1972, 1996.
- Carl G. Hempel, « The meaning of theoretical terms : A critic of the standard empiricist construal », in *Logic, Methodology and Philosophy of Science IV*, eds. P. Suppes, L. Henkin, A. Joja et Gr. G. Moisil, Elsevier, 1973.
- Heinrich Hertz, *The principles of mechanics presented in a new form*, Courier Corporation, 2003.
- David Hilbert, « Mathematical Problems », *Bulletin of the American Mathematical Society*, 8.10 (1902), 437–479.
- David Hilbert, « Axiomatic Thinking », *Philosophia Mathematica*, 1.1-2 (1970), 1–12.
- Andreas Kamlah, « Hans Reichenbach's relativity of geometry », *Synthese*, vol. 34, no. 3, 1977, pp. 249–263.

- Emmanuel Kant, *Premiers principes métaphysiques d'une science de la nature*, trad. J. Gibelin, Vrin, 1971.
- Emmanuel Kant, *Critique de la raison pure*, trad. Alain Renaut, Garnier-Flammarion, 2006.
- Philip Kitcher, « Hilbert's epistemology », *Philosophy of Science*, 1976, pp. 99–115.
- David H. Krantz, R. Duncan Luce, Patrick Suppes, Amos Tversky, *Foundations of Measurement*, Academic Press, vol. I à III, 1971, 1989, 1990.
- Saul Kripke, *La logique des noms propres*, LES ÉDITIONS DE MINUIT, 1982.
- Thomas S. Kuhn, *La structure des révolutions scientifiques*, Champs-Flammarion, 1983.
- Thomas S. Kuhn, « La fonction de la mesure dans la physique moderne », in *La tension essentielle: tradition et changement dans les sciences*, Gallimard, 1990.
- Imre Lakatos, *Preuve et Réfutations : essai sur la logique des découvertes mathématiques*, Hermann, 1984.
- Albert Lautman, *Les mathématiques les idées et le réel physique*, Vrin, 2006.
- Jean-Marc Lévy-Leblond, « On the conceptual nature of the physical constants », *La Rivista del Nuovo Cimento (1971-1977)* 7, n^o. 2 (1977): 187–214
- Jean-Marc Lévy-Leblond, Françoise Balibar, *Quantique*, Dunod, 2006.
- Ernst Mach, *Principles of the Theory of Heat—Historically and Critically Elucidated*, Trad. T. J. McCormack, Dordrecht : D. Reidel, 1986.
- Ulrich Majer, « The “Axiomatic Method” and Its Constitutive Role in Physics », *Perspectives on Science*, vol. 22, no. 1, mai 2014, pp. 56-79.
- Jacques Merleau-Ponty et Françoise Balibar ed., *Albert Einstein, Oeuvres choisies*, vol. 5.
- Ulises Moulines, « Theoretical Terms and Bridge Principles : A Critique of Hempel's (Self-)Criticisms », *Erkenntnis* (1975-), Vol. 22, No. 1/3, Epistemology, Methodology, and

Philosophy of Science (Jan., 1985), pp. 97-117.

- Thomas Oberdan, "Moritz Schlick", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2013 Edition), Edward N. Zalta (ed.), <<http://plato.stanford.edu/archives/sum2013/entries/schlick/>>.
- Erik Olsson, "Coherentist Theories of Epistemic Justification", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2017 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/justep-coherence/>>.
- Flavia Padovani, « Relativizing the relativized a priori: Reichenbach's axioms of coordination divided », *Synthese*, vol. 181, no. 1, juillet 2011, pp. 41-62.
- Andrew Peterson, « The Relevance of Scientific Practice to The Problem of Coordination », *Spontaneous Generations: A Journal for the History and Philosophy of Science*, vol. 5, no. 1, septembre 2011.
- Henri Poincaré, *La science et l'hypothèse*, Flammarion, 1968.
- Hilary Putnam, « What Theories are Not », *Studies in Logic and the Foundations of Mathematics*, Volume 44, 1966, pp. 240-251.
- Hans Reichenbach, *The theory of relativity and a priori knowledge*, trad. by Maria Reichenbach, University of California Press, Berkeley, Etats-Unis, 1965,
- Hans Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time*, Dover Publications, 1958.
- Hans Reichenbach, *Axiomatization of the theory of relativity*, Berkeley California, Etats-Unis, 1969.
- Hans Reichenbach, *Selected Writings*, Vol. II, D. Reidel Publishing Company, 1978.
- John J. Roche, *The mathematics of measurement: a critical history*, Springer, 1998.
- E. Runggaldier, « Carnap's Early conventionalism », *International Philosophical Quarterly* 19 (1), pp. 73-84, 1979.

- Thomas A. Ryckman, « *Conditio sine qua non? Zuordnung in the early epistemologies of Cassirer and Schlick* », *Synthese*, vol. 88, no. 1, 1991, pp. 57–95.
- Thomas A. Ryckman, *The Reign of Relativity : Philosophy in Physics 1915-1925*, Oxford University Press, 2005.
- Wesley C. Salmon, « *The philosophy of Hans Reichenbach* », in *Hans Reichenbach: Logical empiricist*, Springer, 1979, pp. 1–84.
- Kenneth F. Schaffner, « *Correspondence Rules* », *Philosophy of Science*, Vol. 36, No. 3 (Sep., 1969), pp. 280-290.*
- Steven Schapin, Simon Schaeffer, *Leviathan and the Air-Pump*, Princeton University Press, 1985.
- Moritz Schlick, *Théorie Générale de la Connaissance*, trad. Christian Bonnet, Gallimard, 2009.
- Moritz Schlick, *Philosophical Papers*, Vol. I [1909-1922], D. Reidel Publishing Company, 1979.
- Moritz Schlick, *Forme et Contenu : introduction à la pensée philosophique*, trad. Delphine Chapuis-Smitz, Agone, 2003.
- Wilfried Sieg, « *The Ways of Hilbert's Axiomatics: Structural and Formal* », *Perspectives on Science*, vol. 22, no. 1, mai 2014, pp. 133-157.
- Joseph D. Sneed, *The logical structure of mathematical physics*, D. Reidel Publishing Company, 1971, 1979.
- Antonia Soulez dir., *Manifeste du Cercle de Vienne et autres écrits*, PUF, 1985.
- M. M. Toepell, *Über die Entstehung von David Hilberts "Grundlagen der Geometrie"*, Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht, 1986.

- Marion Vorms, *Qu'est-ce qu'une théorie scientifique*, Vuibert, 2011.
- John A. Winnie, « The implicit definition of theoretical terms », *British Journal for the Philosophy of Science*, 1967, pp. 223–229.
- Park, Woosuk, « Friedman on Implicit Definition: In Search of the Hilbertian Heritage in Philosophy of Science », *Erkenntnis*, vol. 76, no. 3, mai 2012, pp. 427-442.

Index

INDEX NOMINUM

BACHELARD GASTON.....	336, 377
BRIDGMAN PERCY W.....	43 sv, 46, 48 sv, 90 sv, 95 sv, 119, 263, 291, 293 sv, 299, 309 sv
CARNAP RUDOLPH. .	17, 32, 44, 55, 126, 129 sv, 183, 210, 212, 214, 218, 232, 247, 253 sv, 270 sv, 275 sv, 284 sv, 308 sv, 325, 327 sv, 334, 336, 345, 353, 359, 361, 378 sv, 382
CHANG HASOK.....	24 sv, 67 sv, 83 sv, 379
DUHEM PIERRE.....	17, 55, 67, 115, 125 sv, 128, 132, 141, 157, 214, 230, 331, 355, 379
EINSTEIN ALBERT.	19, 22, 90, 126 sv, 140, 143 sv, 147, 161, 163 sv, 170, 186, 206, 220, 225, 232, 236 sv, 242, 253, 273, 277, 331, 365, 381
FRAASSEN BAS C. VAN.....	17 sv, 379
HELMHOLTZ HERMANN VON.....	27, 100, 121, 126, 135 sv, 149, 238, 316, 344, 347, 379
HEMPEL CARL	17, 32, 44, 49, 126, 214, 253 sv, 281, 307 sv, 320 sv, 326, 328 sv, 331 sv, 334, 336, 338 sv, 342, 347, 353, 359, 361, 380 sv
HERTZ HEINRICH.....	100, 102, 112, 126, 141, 377, 379 sv
HILBERT DAVID.....	29, 37, 99 sv, 111, 113 sv, 126, 150 sv, 176, 258 sv, 338 sv, 378 sv, 383
KANT EMMANUEL....	31, 87 sv, 131 sv, 135 sv, 139, 142 sv, 147 sv, 161, 163 sv, 175, 185, 200 sv, 208, 218, 220 sv, 223, 227, 232, 236, 240 sv, 277, 346, 353 sv, 359, 379, 381
KUHN THOMAS.....	24, 332, 351, 381
LÉVY-LEBLOND JEAN-MARC.....	199, 366, 381
MACH ERNST.....	17, 100, 102, 125 sv, 147, 155, 381
MOULINES ULYSSES.....	329, 338 sv, 343, 346 sv, 361, 377, 381
PADOVANI FLAVIA.....	171, 173, 199 sv, 217, 243, 382

POINCARÉ HENRI 76, 88, 114, 121, 125, 128, 132, 159, 204, 219, 222 sv, 229, 232 sv, 238 sv, 242, 245, 261, 275, 382

QUINE W. V. O.....209, 255 sv, 307

REICHENBACH HANS 17 sv, 21 sv, 29 sv, 44, 55, 69, 89, 97 sv, 114, 119, 123, 126, 129 sv, 132, 135, 145 sv, 153, 158, 160 sv, 182 sv, 185 sv, 196 sv, 234 sv, 237 sv, 241 sv, 245 sv, 254, 256, 259, 261, 264, 271, 273, 275 sv, 288, 290, 297, 299 sv, 304 sv, 307, 311 sv, 317 sv, 320, 322 sv, 326 sv, 335, 339, 343, 345, 349, 353 sv, 361, 365, 377, 380, 382 sv

RUSSELL BERTRAND.....45, 147 sv, 178, 183, 257 sv, 264, 313

RYCKMAN THOMAS.....138 sv, 148 sv, 151, 158 sv, 383

SCHAFFNER KENNETH.....333 sv, 346, 352, 371, 383

SCHLICK MORITZ....17, 22, 30 sv, 42, 44, 55, 97, 100, 106, 126 sv, 132, 135 sv, 139 sv, 142 sv, 173 sv, 185 sv, 193, 200 sv, 203 sv, 210, 214 sv, 217 sv, 221 sv, 224 sv, 232 sv, 245, 253 sv, 256 sv, 261, 275, 277, 300 sv, 304, 325, 330, 339, 345, 353, 358 sv, 379, 382 sv

INDEX RERUM

AXIOMATISATION.....	99 sv, 105 sv, 108, 110 sv, 119, 121, 165, 177, 258, 307
EMPIRISME. .17, 20 sv, 30, 32, 61, 65, 77, 100, 113, 125 sv, 128 sv, 135, 142, 148, 158 sv, 173 sv, 178, 188 sv, 200, 208 sv, 219, 230, 245 sv, 254, 257, 299, 307, 320, 322, 325 sv, 328 sv, 337 sv, 341, 343, 358, 361, 377	
MESURE...1, 3, 20, 24 sv, 29 sv, 37, 39 sv, 43 sv, 56 sv, 59 sv, 65, 67, 70 sv, 74 sv, 80, 82 sv, 92 sv, 96 sv, 113, 116 sv, 121, 127 sv, 131, 140, 142, 146, 154, 156, 158, 161, 173, 179, 183, 189, 192, 195 sv, 212, 217, 226, 242, 254, 257, 261 sv, 264 sv, 272, 276, 280 sv, 284, 289 sv, 293, 302 sv, 307, 309 sv, 314, 322, 324 sv, 328, 336, 342 sv, 347 sv, 350 sv, 357 sv, 365, 372, 381	
PRINCIPE DE COORDINATION.....	17, 47, 55, 68, 97, 163, 253 sv, 264, 323
RELATIVITÉ. 19 sv, 22, 28, 31, 75, 90, 97, 126, 128 sv, 135, 137, 140, 142 sv, 145 sv, 161, 163 sv, 167, 170, 207, 209, 215, 229, 231 sv, 234 sv, 245, 253, 261, 328, 331 sv, 352 sv, 369, 371, 377	
STRUCTURALISTE.....	332, 338, 342
THÉORIE COORDINATIVE.....1, 3, 18 sv, 28, 32, 35, 37, 52, 64, 119 sv, 123, 125 sv, 135, 146, 157 sv, 214, 232, 247, 251, 260, 262, 272 sv, 275, 279, 284, 288, 303 sv, 307, 311 sv, 314, 316 sv, 319, 321 sv, 324, 328 sv, 331 sv, 335, 339, 341, 343 sv, 358 sv, 366 sv, 370 sv	
ZUORDNUNG.....	28, 138 sv, 149, 158, 160, 383

Table des matières de fin

Table des matières

Table des matières.....	7
Introduction.....	15
Partie I – Les problèmes de définitions des concepts métriques et les fondements de l'épistémologie coordinative.....	35
Le concept de grandeur et la coordination.....	37
I. A) Les problèmes de définition des concepts métriques.....	39
1 – L'exemple de la distance.....	39
2 – Les différents types possibles de définition des concepts métriques. .	42
3 – Qu'est-ce qu'une définition complète, ou exhaustive ?.....	44
4 – L'opérationnalisme (Bridgman).....	48
Par delà les critiques.....	48
L'épistémologie coordinative sous-jacente.....	52
L'imprécision conceptuelle des mathématiques.....	56
Un empirisme prudent.....	65
I. B) Hasok Chang et les problèmes de la mesure empirique.....	67
Introduction : de la mesure de la température aux « principes ontologiques ».....	67
1 – Les paradoxes liés au progrès de la mesure.....	70
2 – Le principe de respect et le progrès métrologique.....	73
3 – Le minimalisme de Regnault et la surdétermination.....	76
4 – Le principe de la valeur unique.....	81
5 – Le problème de l'élargissement des échelles.....	89

Conclusion : Les principes nécessaires à la mesure physique.....	97
I. C) Hilbert et le sixième problème.....	99
Introduction.....	99
1 – Le sixième problème de Hilbert.....	100
2 – Géométrie et Mécanique.....	105
3 – La méthode axiomatique et les sciences empiriques.....	109
4 – Le principe de continuité et l'axiome d'Archimède.....	115
L'axiomatisation comme socle de la théorie coordinative.....	119
Conclusion : Progrès de l'instrumentation et axiomatisation.....	121

Partie II – L'épistémologie coordinative post-relativiste et sa critique par Reichenbach.....123

Introduction à la partie II.....	125
L'épistémologie coordinative et l'empirisme logique.....	125
L'empirisme-logique contre l'empirisme « classique ».....	128
L'empirisme comme philosophie de la révolution scientifique.....	131
II. A) Schlick : Les articles sur la relativité et les origines de l'épistémologie coordinative.....	135
1 - L'article sur la relativité.....	135
2 - La <i>Théorie Générale de la Connaissance</i> de Schlick.....	147
L'esprit anti-kantien.....	147
La connaissance comme coordination.....	148
La définition concrète et la définition implicite.....	150
Les conventions.....	153
La vérité comme univocité de la coordination.....	156
3 – Un empirisme conventionnaliste.....	159
II. B) Reichenbach, La relativité et la connaissance <i>a priori</i>	161
1 - Introduction.....	161
2 - <i>La théorie de la relativité et la connaissance a priori</i>	163

3 - La contradiction entre la théorie de la relativité et l'épistémologie kantienne.....	167
4 - La distinction entre axiomes de coordination et axiomes de connexion	169
5 - Les principes mathématiques sont-ils des principes de coordinations ?	172
6 - Un kantisme ouvert.....	174
7 - La pseudo-critique de la notion de coordination et la définition de la réalité.....	176
8 – Le statut des perceptions.....	183
9 – Une coordination circulaire ?.....	184
10 - Reichenbach et la signification des constantes de la physique.....	193
11 - Reichenbach et la philosophie de la mesure.....	198
12 - La méthode des approximations successives : empirisme, développement historique et anti-conventionnalisme.....	200
13 - Qu'est-ce qui limite formellement la connaissance ?.....	202
14 - Les principes de coordination comme des principes de la connaissance	207
15 - L'analyse logique d'une théorie selon Reichenbach.....	211
16 - Conclusion.....	214
II. C) La correspondance entre Schlick et Reichenbach.....	217
1 – Présentation de la correspondance.....	217
2 – Principes synthétiques <i>a priori</i> ou conventionnels ?.....	221
3 – L'univocité de la coordination comme critère de la vérité est-elle un principe synthétique ou analytique ?.....	225
4 – Examen critique des arguments.....	227
5 – Les ouvrages ultérieurs.....	231
The Philosophy of space and time (1928).....	231
L'article de 1949 : « The philosophical Significance of the Theory of Relativity ».....	232
La position d'Einstein.....	238

Conclusion de la partie II.....245

Partie III – La transformation de l'épistémologie coordinative, son abandon, et sa postérité.....251

Introduction : De la survivance du synthétique *a priori* chez les empiristes-logiques.....253

III. A) Carnap : de la définition explicite à l'interprétation partielle des théories.....257

1 – L'influence de Russell, le conventionnalisme et la théorie de la mesure257

2 – 1936 : *Testabilité et signification*, les termes dispositionnels et les chaînes introductives.....262

3 – 1939 : *Foundations of Logic and Mathematics* et l'interprétation partielle des théories.....267

Les calculs formels et leur interprétation.....268

L'épistémologie coordinative et la théorie de la mesure.....272

Le statut de la géométrie.....273

La critique de la doctrine kantienne de l'espace.....277

Les théories physiques comme des calculs interprétés.....278

La vérité des « théorèmes physiques ».....282

4 – 1956 : « The Methodological Character of Theoretical Concepts » et la critique de l'opérationnalisme.....284

5 – Épilogue : « vrai en vertu de » et les énoncés synthétiques P-valides299

6 – Conclusion.....302

III. B) Hempel et l'autocritique de l'empirisme-logique.....307

1 – Introduction.....307

2 – Hempel, les définitions complètes et la critique de l'opérationnalisme308

3 – Le dilemme du théoricien.....313

4 – Les principes de liaison (*bridges principles*) la signification systématique (*systematic import*) et les propositions interprétatives.....319

5 – La métaphore de la construction du pont.....	328
III. C) Un empirisme historique ?.....	331
1 – La fin de la théorie coordinative de la connaissance ?.....	332
La signification théorique antérieure.....	333
Les principes de liaisons sont des principes inter-théoriques.....	338
2 – Le problème de la mesure fondamentale.....	342
3 – Qu’est-ce qu’une grandeur ?.....	346
4 – Signification empirique et possibilité physique.....	350
5 – Corriger les principes constitutifs par l’expérience : où Reichenbach réfute Kant.....	354
6 – La <i>coévolution</i> des méthodes de mesure et la définition du concept de grandeur.....	357
 Conclusion et perspectives de la recherche.....	 363
 Bibliographie.....	 375
 Index.....	 385
 Table des matières de fin.....	 391

Université Aix-Marseille
Centre Gilles-Gaston Granger

Thèse de doctorat en philosophie
et en épistémologie

Présentée et soutenue par
Gabriel Giovannetti

La théorie coordinative de la connaissance et son lien avec les problèmes épistémologiques de la mesure dans les écrits empiristes-logiques de la première moitié du XX^{ème} siècle.

Résumé :

Ce travail fait l'analyse du concept de « principe de coordination » tel qu'il se développe au sein de la théorie coordinative de la connaissance, et plus particulièrement au sein du mouvement empiriste-logique, à partir de la deuxième décennie du XX^{ème} siècle. Ce concept est primordial lorsqu'il s'agit de comprendre la manière dont la définition des concepts de grandeur en physique se construit comme la mise en rapport, la coordination, des variables mathématiques de la théorie avec les opérations de mesure dans le laboratoire.

L'enjeu est de montrer qu'un des concepts centraux de l'empirisme au XX^{ème} siècle est utilisé initialement, par Schlick et Reichenbach, pour analyser la théorie de la relativité, mais qu'il devient rapidement l'outil d'un programme plus spécifique, entrepris par Carnap et Hempel, de reconstruction logique des théories physiques.

Pourtant ce concept, pris au sein de l'épistémologie coordinative, permet un empirisme qui laisse une place au développement historique des concepts de grandeur. Analysé et compris correctement il peut permettre de poser les fondements d'un empirisme historique, au sein duquel les concepts théoriques ne seraient plus reconstruits seulement à partir des mesures empiriques, mais aussi à partir des concepts hérités de théories historiquement antérieures.

The coordinative theory of knowledge and its relation to the epistemological problems of measurement in the logical-empiricist writings of the first half of the twentieth century.

Abstract :

This work analyzes the concept of "principle of coordination" as it develops within the coordinative theory of knowledge, and more particularly within the empiricist-logical movement, from the second decade of the twentieth century. This concept is essential to understand the way in which the definition of the concepts of magnitude in physics is constructed as the linking, the coordination, of the mathematical variables of the theory with the measurement operations in the laboratory.

The challenge is to show that one of the central concepts of empiricism in the twentieth century is used initially, by Schlick and Reichenbach, to analyze the theory of relativity, but that it quickly becomes the tool of a more specific program, undertaken by Carnap and Hempel, of logical reconstruction of physical theories.

Yet this concept, along with other concepts from coordinative epistemology, allows an empiricism that leaves room for the historical development of the concepts of magnitude. Analyzed and understood correctly, it can lay the foundations of a historical empiricism, in which theoretical concepts would no longer be reconstructed only from empirical measurements, but also from concepts inherited from historically antecedent theories.

Sous la direction de :

Gabriella Crocco (CGGG – directrice)
Thierry Masson (CPT – co-directeur)
Igor Ly (CGGG – co-encadrant)