



Philosophia Scientiæ

Travaux d'histoire et de philosophie des sciences

18-2 | 2014

Hugo Dingler et l'épistémologie pragmatiste en
Allemagne

La réception de Hugo Dingler par l'École d'Erlangen

Oliver Schlaudt



Electronic version

URL: <http://journals.openedition.org/philosophiascientiae/954>

DOI: 10.4000/philosophiascientiae.954

ISSN: 1775-4283

Publisher

Éditions Kimé

Printed version

Date of publication: 15 June 2014

Number of pages: 141-159

ISBN: 978-2-84174-672-9

ISSN: 1281-2463

Electronic reference

Oliver Schlaudt, « La réception de Hugo Dingler par l'École d'Erlangen », *Philosophia Scientiæ* [Online], 18-2 | 2014, Online since 26 September 2014, connection on 02 May 2019. URL : <http://journals.openedition.org/philosophiascientiae/954> ; DOI : 10.4000/philosophiascientiae.954

Tous droits réservés

La réception de Hugo Dingler par l'École d'Erlangen

Oliver Schlaudt

Universität Heidelberg (Allemagne)
Laboratoire d'Histoire des Sciences et de Philosophie –
Archives H.-Poincaré – Université de Lorraine – CNRS
(UMR 7117) (France)

Résumé : Nous retraçons la réception de Dingler et les transformations qu'a vues son approche dans l'École d'Erlangen autour de Paul Lorenzen où l'on a cherché à faire ressortir et à développer la partie défendable du pragmatisme de Dingler. Le programme « purifié » de ce « constructivisme méthodique » consiste à reconstruire les connaissances scientifiques à partir du savoir-faire (technique et linguistique) sur lequel repose la construction des instruments de mesure.

Abstract: We studied the reception of Dingler's ideas and their transformations within the Erlangen School based around Paul Lorenzen, where the rational core of Dingler's pragmatism was carved out and developed. According to this refined approach, scientific knowledge is to be reconstructed based on the (technical and linguistic) know-how on which rests the manufacture of measurement instruments.

Si aujourd'hui le nom de Hugo Dingler est encore connu dans la philosophie et n'a pas pu complètement échapper aux historiens de cette discipline, c'est sans doute grâce à plusieurs faits dont, avant tout, sa discussion du conventionnalisme – Philipp Frank le considérait même comme le principal représentant du conventionnalisme en Allemagne¹ – et son influence surprenante sur certains membres du Cercle de Vienne. (En effet, le jeune Rudolf Carnap demanda à Dingler de diriger sa thèse, ce que ce dernier, bien conscient de sa position précaire dans le monde universitaire, refusa [Wolters 1984, 1985].) Ces quelques indications biographiques font apparaître de temps en temps le

Philosophia Scientiæ, 18 (2), 2014, 141–159.

1. Voir les articles [Frank 1941], [Dingler 1908, 1914, 1920, 1922, 1953].

nom de Dingler dans la littérature historique. Si l'approche philosophique de Dingler a été poursuivie – certes, avec des modifications parfois importantes –, c'est cependant grâce à sa réception au sein de l'« École d'Erlangen » autour du philosophe-mathématicien Paul Lorenzen (1915-1994). On observe que la quasi-totalité des travaux récents sur Dingler se situent dans la tradition du constructivisme d'Erlangen, tandis que d'autres orientations de sa pensée ont pratiquement disparu². La lecture de Dingler par cette école mérite un court exposé, d'autant plus que cette école a su transformer le programme de Dingler en une approche fertile qui a donné lieu à une riche production littéraire (cf. p. ex. [Hövelmann 1985]). Nous estimons que cette école, en relativisant la notion d'« *a priori* », est parvenue à faire ressortir la partie défendable de la philosophie de Dingler. Nous ne nous proposons cependant pas une étude historique sur l'École d'Erlangen, mais plutôt une contextualisation historico-systématique qui est censée accompagner la traduction de Dingler présentée dans ce volume. Dans une première partie, nous esquissons la transformation de la pensée dinglerienne dans l'École d'Erlangen, alors que la deuxième partie est réservée à un exposé plus systématique de la « protophysique » issue de cette transformation.

I.

Il est difficile de déterminer précisément le début de la réception de Dingler chez Lorenzen et au sein de l'École dite d'Erlangen du « constructivisme méthodique ». Le document fondateur de l'École d'Erlangen, écrit par Lorenzen en collaboration avec Wilhelm Kamlah, *Logische Propädeutik* [Kamlah & Lorenzen 1967], évite toute référence à Dingler, en s'inscrivant plutôt dans la tradition du « tournant linguistique » de Frege, Russell et Wittgenstein. Le but de ce livre était de reconstruire les moyens linguistiques du discours scientifique, prenant comme point de départ la « *Lebenswelt* » en tant que totalité des pratiques de la vie quotidienne. Cette reconstruction comprenait en particulier la logique, la théorie de l'abstraction, l'introduction dialogique des

2. Dans l'Allemagne de l'Ouest d'après-guerre, un autre auteur s'est intensément référé à l'œuvre de Dingler, à savoir Klaus Holzkamp (1927-1995), psychologue à la *Freie Universität* de Berlin. Dans son premier livre, *Wissenschaft als Handlung. Versuch einer neuen Grundlegung der Wissenschaftslehre* [Holzkamp 1968], il reprit des idées fondamentales de Dingler et du dinglerien Eduard May (1905-1956). Sous l'influence d'une lecture de Marx, il présenta en 1973 une réinterprétation génétique et naturaliste du programme fondateur de Dingler sous le titre *Sinnliche Erkenntnis. Historischer Ursprung und gesellschaftliche Funktion der Wahrnehmung* [Holzkamp 1973]. Malgré la réédition de ces œuvres (Argument, Hamburg 2003 et 2006 au sein des œuvres complètes) Holzkamp n'est aujourd'hui connu qu'en tant que fondateur de la *Psychologie critique* en pleine méconnaissance de ses origines chez Dingler. Quant à l'Allemagne de l'Est, il va sans dire qu'une réception directe de Dingler était impossible, étant donné son comportement opportuniste vis-à-vis des nationaux-socialistes. L'École d'Erlangen y a toutefois connu une réception par le philosophe Peter Ruben, qui développa une théorie génétique des sciences assez proche de celle de Holzkamp (voir p. ex. [Ruben 1979]).

constantes logiques et l'introduction des modalités. La *Logische Propädeutik* se bornait alors aux moyens linguistiques, négligeant les moyens techniques et artisanaux. C'étaient pourtant justement ceux-ci, les moyens non-linguistiques, dont le rôle constitutif pour les sciences fut mis en relief par Dingler. Nous verrons cependant que ce défaut « linguo-centrique » ne concerne ni les autres travaux de Lorenzen ni la « protophysique » qui reprendra plus tard explicitement l'héritage de Dingler.

Dingler, bien qu'absent de la *Logische Propädeutik*, figure dans la première monographie de Lorenzen sur les fondements de la mathématique, *Einführung in die operative Logik und Mathematik* [Lorenzen 1955]. Il y est mentionné brièvement à deux reprises : en introduction, Lorenzen remarque que Dingler fut le premier à reconnaître entièrement le caractère opératoire [*operativ*] de la mathématique, entendant par « opératoire » l'idée que les mathématiques consistent, au fond, à opérer avec des signes matériels conformément à des règles [Lorenzen 1955, 4] ; ensuite, dans le chapitre consacré à l'analyse, Lorenzen signale que Dingler avait abordé le problème du traitement des séries infinies sans invoquer les nombres réels [Lorenzen 1955, 197]³. La première trace d'un engagement plus important est présente dans l'article *Formale Logik und Arithmetik in Dinglers methodischer Philosophie* [Lorenzen 1956]. Cet article a été publié dans *Dingler. Gedenkbuch zum 75. Geburtstag*, édité par Wilhelm Krampf en 1956, un hommage posthume qui réunit quatorze contributions venant de cinq pays, témoignant ainsi d'une connaissance inattendue de l'œuvre de Dingler. Dans son article, Lorenzen apprécie le côté logico-arithmétique de l'œuvre dinglerienne, tout en reconnaissant que les contributions importantes de Dingler concernent plutôt la philosophie de la nature, notamment le problème des fondements de la géométrie. C'est à ce problème que Lorenzen a consacré cinq ans plus tard l'article *Das Begründungsproblem der Geometrie als Wissenschaft der räumlichen Ordnung* [Lorenzen 1960] qui se réfère explicitement à Dingler. Lorenzen y reprend l'idée dinglerienne d'une définition opératoire des éléments de la géométrie en indiquant une procédure de réalisation. La forme géométrique la plus basique est le plan qui est réalisé par le « *Dreiplattenverfahren* », c'est-à-dire en rabotant mutuellement l'une contre l'autre deux à deux trois plaques grossièrement pré-aplanies (cf. ci-dessous p. 151). Cette procédure figure chez Dingler (cf. p. 33-56 de la traduction que nous présentons ici), mais elle est mentionnée aussi chez von Helmholtz [Helmholtz 1887, 41] et, comme le constate Heinzmann [Heinzmann 1982, 90], chez Poincaré en 1908 et chez Gonsseth en 1946. Dans son article de 1960, Lorenzen explique en particulier qu'une telle géométrie qui est fondée sur des procédures de réalisation peut être considérée comme héritière de l'idée kantienne des mathématiques synthétiques *a priori* en ce qu'elle n'est ni analytique (comme la géométrie axiomatique de Hilbert), ni empirique, c'est-à-dire

3. Lorenzen y cite les *Grundlagen der Naturphilosophie*, [Dingler 1913], et la *Philosophie der Logik und Arithmetik*, [Dingler 1931].

synthétique *a posteriori* (comme la géométrie physique d'Einstein). Lorenzen déclare désormais éviter la présentation dinglerienne qui aurait provoqué selon lui beaucoup de malentendus⁴.

Une prochaine étape importante de la réception de Dingler est marquée par l'édition posthume du *Aufbau der exakten Fundamentalwissenschaften* en 1964 par Lorenzen [Dingler 1964]. Dans la préface (datée de 1962), Lorenzen caractérise le programme dinglerien de façon générale :

L'objectif de Dingler est de refonder la thèse kantienne selon laquelle la structure spatio-temporelle en tant que « condition nécessaire de toute expérience possible » précède principalement la physique quantitative. La justification de cette apriorité de la structure spatio-temporelle comme « forme de l'intuition pure qui se trouve *a priori* dans l'esprit » chez Kant n'avait pas résisté aux attaques empiristes qu'a connues le dix-neuvième siècle. Elle échoue complètement face aux théories non-classiques de la physique moderne.

L'idée de Poincaré, selon laquelle la structure de l'espace-temps est une « convention » rendant possible la mesure, a redonné à la thèse kantienne tout son poids dans la discussion sur les fondements de la physique.

À mon avis, c'est comme poursuite critique du conventionnalisme que l'on comprend le mieux la thèse de Dingler. En s'en tenant strictement à la méthode de l'introduction des conventions spatio-temporelles *en rapport avec la production pratique des instruments de mesure* (le plan, la règle et les montres), Dingler arrive à la conclusion que les conventions qui conduisent à la géométrie euclidienne (la structure temporelle étant qualifiée comme unidimensionnelle euclidienne) se distinguent des autres conventions logiquement possibles par une « nécessité pratique ». [Dingler 1964, Préface de Lorenzen, 10–11]

Lorenzen avait raison d'indiquer la relation au conventionnalisme de Poincaré, puisque Dingler avait décrit lui-même sa propre position comme « conventionnalisme critique », en entendant par « conventionnalisme » ceci : la science (quantitative) s'appuie sur des fixations conventionnelles qui portent sur les instruments de mesure, et ces conventions procèdent d'un acte volontaire (approche volontariste)⁵. C'est ainsi que Carnap caractérisa en 1923 la position commune à Poincaré et Dingler :

4. Par la suite, Lorenzen présentera plusieurs travaux sur la géométrie, dont le livre important *Elementargeometrie. Das Fundament der analytischen Geometrie*, [Lorenzen 1984]. Son élève Peter Janich lui reprochera cependant de ne jamais avoir réussi à établir la géométrie sans introduire des démarches non-opératoires. Janich a présenté sa propre solution, qui contient notamment une procédure pour réaliser l'angle droit [Janich 1976].

5. Pour les différentes interprétations possibles du conventionnalisme, voir [Heinzmann 1995, 47].

La thèse principale du conventionnalisme [*Konventionalismus*], établie par Poincaré et continuée par Dingler, énonce que, pour la construction de la physique, on doit poser des conventions [*Festsetzungen*] qui relèvent de notre libre choix. Il s'ensuit que les constituants du contenu des propositions physiques qui proviennent de ces conventions ne peuvent être confirmés ni réfutés par l'expérience. Le choix de ces conventions ne doit pas être fait d'une manière arbitraire, mais seulement d'après des principes méthodiques définis, parmi lesquels le principe de simplicité, qui détermine en dernière instance la décision. [Carnap 1923, 90, trad. de Brenner 2004]

Il ne faut cependant pas occulter une différence importante entre Poincaré et Dingler : Poincaré considérait les conventions comme le résultat d'un choix entre plusieurs alternatives logiquement possibles. Dans la mesure où ce choix est occasionné ou guidé par l'expérience, Poincaré le jugeait libre, mais non arbitraire, comme il le souligne dans *La Science et l'Hypothèse* :

L'expérience nous laisse notre libre choix, mais elle le guide en nous aidant à discerner le chemin le plus commode. [Poincaré 1902, 11]

C'est donc la commodité qui sert de critère dans le choix des conventions convenables. Dingler, par contre, précise au début des années 1920 que le choix entre les conventions logiquement possibles doit se faire d'une manière « raisonnable ». Même s'il refuse le critère de simplicité, ce point de vue est encore assez proche de celui de Poincaré. Plus tard, il en est cependant venu à la conclusion que ce choix raisonnable était univoque, c'est-à-dire qu'il n'était pas un vrai choix libre entre plusieurs possibilités, mais consistait plutôt en l'adoption de la seule possibilité rationnellement déterminée.

Cette position, qui s'exprime aussi dans l'article dont nous présentons ici la traduction, ne peut plus être qualifiée par conséquent de conventionnalisme, bien qu'elle hérite de son côté opérationnaliste (Lorenz & Mittelstraß 1969, 13-14; voir aussi [Wolters 1984]). Cette modification du conventionnalisme justifie d'ailleurs aussi de parler d'un kantisme chez Dingler : les conventions de Poincaré, en tant que libres fixations, ne sont ni vraies ni fausses, parce qu'elles ne correspondent à aucun fait détectable. On ne peut pas les vérifier ni les réfuter, on les décrète tout simplement. Mais pour peu qu'il soit possible de distinguer certaines conventions comme univoques, on peut leur attribuer dans un certain sens une valeur de vérité. Même si les conventions selon Dingler ne sont pas non plus vérifiables, certaines pourtant se caractérisent justement par leur univocité. Les opposés « univoque – non-univoque » remplacent pour ainsi dire les opposés « vrai – faux » et adoptent leur rôle syntaxique. Or cette caractéristique ramène les conventions univoques aux jugements synthétiques *a priori* de Kant (qui ont naturellement, en tant que jugements, une valeur de vérité). Ainsi, on annule une différence importante entre Kant et Poincaré, tout

en gardant le fondement de ces conventions dans les pratiques de la *Lebenswelt*, qui remplace l'intuition kantienne.

Lorenzen avait donc raison de lier la position de Dingler à celle de Kant d'une part et à celle de Poincaré d'autre part. On peut toutefois se demander si le compte-rendu de Lorenzen présente une description juste de la philosophie de Dingler ou si Lorenzen n'a pas plutôt exposé sa propre approche. Tout dépend ici du sens qu'on attache à la notion de « nécessité pratique » attribuée aux conventions, et c'est exactement dans cet espace interprétatif que s'est inscrite l'approche de l'École d'Erlangen. La situation se clarifie si l'on consulte les travaux de Peter Janich, fondateur de la « protophysique » au sein de l'École d'Erlangen : sa critique de Dingler est plus explicite. Cette critique fait partie de l'étape suivante que nous allons aborder maintenant.

Cette étape est marquée par la contribution des élèves de Lorenzen qui tiennent surtout à rendre explicite le programme que Lorenzen avait tiré de Dingler et à le faire évoluer. Leur critique de Dingler est pour cette raison plus explicite que celle qu'on trouve chez Lorenzen. Mais c'est aussi ici que la situation devient plus compliquée : c'est en 1969, au même endroit et au même moment, qu'ont été écrits deux textes clés, qui au fond n'ont guère à voir l'un avec l'autre. Il s'agit d'un côté de l'étude *Die methodische Philosophie Hugo Dinglers* [Lorenz & Mittelstraß 1969], écrite par Kuno Lorenz et Jürgen Mittelstraß comme introduction à la réédition d'une partie du dernier livre de Dingler, *Die Ergreifung des Wirklichen*, et d'un autre côté de la thèse de Peter Janich, *Die Protophysik der Zeit*, qui marque réellement le début de la « protophysique » (terme introduit par Lorenzen au plus tard dans *Das Begründungsproblem der Geometrie* [Lorenzen 1960, 430]).

Lorenz et Mittelstraß, eux, énoncent une double critique de Dingler : premièrement, ils critiquent le fait que Dingler cherchait à justifier de manière théorique son choix de la *Lebenswelt* comme base de la fondation des sciences, ce qui le conduisait dans un cercle vicieux, la *Lebenswelt* étant la base de tout effort théorique. Au lieu de cela, il fallait construire de façon critique les éléments linguistiques nécessaires pour préparer cette base de toute reconstruction [Lorenz & Mittelstraß 1969, 54]. Ils constatent ainsi un déficit linguo-philosophique chez Dingler [Lorenz & Mittelstraß 1969, 28 ff.], idée principale de la *Logische Propädeutik* de Wilhelm Kamlah et Paul Lorenzen. C'est pour cette raison que le document fondateur de l'École d'Erlangen commence par une critique du langage en tant que condition de la possibilité de toute science⁶. La deuxième critique a été inspirée par l'approche dialogique de la logique (aujourd'hui on dirait plutôt « théorie de l'argumentation ») : Lorenz et Mittelstraß remarquent que la *Lebenswelt*, comme Dingler la comprend, est essentiellement individuelle : à chacun sa propre *Lebenswelt*. Pour établir une *Lebenswelt* commune, on doit *postuler* l'identité de ces sphères individuelles, démarche méthodiquement injustifiée et injustifiable. Lorenz et Mittelstraß

6. L'article de Lorenzen *Methodisches Denken*, [Lorenzen 1965], témoigne lui aussi de ce *tournant linguistique*.

parlent d'une « métaphysique monologique de la volonté » ou d'un « cartésianisme opératif » [Lorenz & Mittelstraß 1969, 16]. Les deux auteurs proposent par conséquent de remplacer l'approche opérative de Dingler par une approche *co-opérative* (ou dialogique) qui tienne compte de la constitution sociale de la vie humaine et qui garantisse ainsi une seule *Lebenswelt* partagée par les acteurs [Lorenz & Mittelstraß 1969, 16, 24 ff.].

On trouve une autre critique de Dingler, qui ne ressemble guère à celle de Lorenz et Mittelstraß, dans les travaux de Janich, datant de la même époque⁷. Janich ne reprend pas en particulier la critique du « monologisme » de Dingler. Il faut donc constater que le « sujet » figurant dans la protophysique n'est pas, comme celui de l'approche dialogique, le sujet empirique, mais une sorte de sujet épistémique kantien, qui est caractérisé par une ambiguïté fondamentale : il est un sujet impersonnel au-delà des sujets empiriques particuliers et tout à la fois leur prototype, plus ou moins réalisé dans ces sujets. Cette ambiguïté n'est pas résolue dans l'approche de Janich. Cette approche a par contre l'avantage de mieux faire comprendre ce qu'il y a de raisonnable dans l'apriorisme de Dingler. On peut constater chez Janich une double modification :

1° D'un côté, Janich libéralise le programme de Dingler en coupant le lien entre l'*univocité* des formes primitives et l'*unicité* de la reconstruction basée sur ces formes, un lien que Dingler a toujours implicitement supposé, mais qui cependant ne peut pas être justifié *a priori*⁸.

2° D'un autre côté, Janich radicalise le programme de Dingler en l'appliquant pour ainsi dire à lui-même. Le constructivisme de Dingler, et avec lui le jeune constructivisme de l'École d'Erlangen, avait reconnu que les sciences quantitatives doivent être comprises comme un *instrument*, c'est-à-dire comme un moyen qui sert à atteindre une certaine fin donnée. Cette caractéristique, qui justifierait de parler d'une approche pragmatiste, est essentielle pour la notion de reconstruction (qui remplace, comme nous le verrons, celle de « *Vollbegründung* ») : reconstruire consiste par conséquent à démontrer l'aptitude d'un moyen à l'égard d'une fin donnée, par exemple l'aptitude d'un instrument de mesure à déterminer un rapport quantitatif d'une manière trans-subjective et reproductible. Une fois la notion de reconstruction rapportée à la relation du moyen à la fin, le projet de réaliser une telle reconstruction *a priori* perd déjà beaucoup de l'étrangeté qui frappe souvent le lecteur de Dingler. Janich radicalise cette approche dès les années 1990 sous le titre du « culturalisme méthodique » en étendant l'idée pragmatiste à la reconstruction elle-même : elle aussi n'est, au fond, qu'un instrument qui obéit à la logique des moyens et de la fin. On doit renoncer à viser à la « *Vollbegründung der*

7. En 1969, c'est surtout la *Protophysik der Zeit* [Janich 1969a] (une deuxième édition révisée a été publiée en 1980). Le contenu méthodologique de cet ouvrage a également été repris dans l'article *Wie empirisch ist die Physik?* [Janich 1969b]. Dans ce qui suit nous nous référons surtout – explicitement ou implicitement – au recueil des principaux textes de Janich [Janich 1997].

8. Voir [Janich 1997, 19]. C'est là le seul point de convergence avec la critique de Lorenz et Mittelstraß [Lorenz & Mittelstraß 1969, 53].

Wissenschaft ». En effet, comment justifierait-on le choix des théories à reconstruire ? Ne serait-il pas circulaire de justifier la démarche d'une reconstruction par le fait qu'elle amène à la théorie en question ? Que ferait-on dans le cas où le résultat reconstruit différerait de la théorie à reconstruire ? Telles sont les questions que pose Janich à juste titre. Le constructivisme doit d'abord déterminer exactement sa fin propre. Concernant la protophysique, cette fin consiste à « justifier de manière argumentative⁹ » les prétentions à la transsubjectivité et reproductibilité qu'on attribue effectivement (et qu'on doit attribuer) aux résultats des mesures. Cette stipulation donne une définition assez juste de la protophysique.

On peut constater deux choses : premièrement, on voit que les deux modifications de Janich que nous venons de présenter ne se ramènent qu'à une seule. En effet, en radicalisant le programme constructiviste de manière réflexive, Janich a reconnu que la reconstruction elle-même n'est qu'un moyen en vue d'une fin donnée. Or la relation entre le moyen et la fin n'est pas univoque : on peut arriver à la même fin par des moyens différents, et inversement le même moyen peut servir à plusieurs fins distinctes. De ce qu'une reconstruction est apte à la fin en question il ne s'ensuit pas qu'elle soit unique. Or, c'est ce que nous avons décrit par le mot « libéralisation » et qui s'avère être une conséquence immédiate de la radicalisation. Deuxièmement, on voit que l'« *a priori* » de la protophysique s'est bien éloigné de l'idée d'une fondation absolue des sciences, et ressemble plutôt à l'« *a priori* relatif » du jeune Hans Reichenbach, c'est-à-dire à un « *a priori* » qui est constitutif sans être apodictique ou nécessaire [Reichenbach 1979, 238 ff.]. On remarquera la portée de la différence qui existe entre le programme de Dingler et celui de la protophysique dont l'apriorisme est beaucoup plus limité. Dans le texte que nous présentons ici, Dingler déclare au sujet des quatre « sciences idéales » :

Elles ont cette propriété que leurs formes peuvent être réalisées dans tous les objets réels. [Dingler 1952, ce numéro, p. 52].

Il est évident qu'une telle prétention dépasse largement l'objectif de la protophysique, qui ne concerne que l'aptitude du moyen en question, tandis qu'elle ne dit rien au sujet de son caractère réalisable. Celui-ci est toujours contingent et marque par conséquent une des bornes de l'apriorisme.

Quant à la caractérisation de la philosophie de Dingler qu'a donnée Lorenzen, tout dépend donc effectivement de la portée qu'on attribue à la « nécessité pratique » dont il parle : Implique-t-elle aussi l'unicité de la convention en question ainsi que l'existence (c'est-à-dire la réalisabilité) de l'objet correspondant ou non ? On peut se demander si le sacrifice de ces prétentions permet encore de qualifier la protophysique d'« approche dinglerienne ». En fait, l'héritage principal de Dingler consiste en autre chose, notamment dans

9. L'expression originale est « *argumentativ einlösen* ». Il ne faut pas confondre la justification (en tant que tâche théorique abordée par l'épistémologue) avec la garantie (en tant que tâche pratique) qui appartient plutôt au scientifique lui-même.

le principe de la *démarche méthodique*. Ce principe, qui régit toute reconstruction méthodique, interdit, dans le discours descriptif comme dans le discours prescriptif, de déroger à l'ordre qui conduit au but en question. Il prescrit en particulier de se borner aux moyens déjà construits et de ne se référer qu'aux résultats justifiables d'une manière constructive. Dans le cas d'une violation de ce principe on parle d'un « cercle pragmatique » (par analogie avec le cercle vicieux de la logique). Ce principe restreint la démarche engagée par toute reconstruction. En tant que tel, il constitue le point commun entre la reconstruction et la « *Vollbegründung* » dinglerienne, ce qui justifie de parler à propos de la protophysique d'une poursuite critique du projet dinglierien.

II.

Après ces considérations assez abstraites sur la modification de l'approche dinglerienne, il convient de donner brièvement une idée plus précise de la protophysique. Un tel exposé doit toujours se présenter de manière dogmatique. Nous soulignons cependant le fait que la protophysique évolua à travers de vives discussions. En particulier, nous ne cachons pas qu'il est, en vérité, simplificateur de parler de « la » protophysique, approche qui a connu dans son histoire plusieurs versions et qui a évolué selon plusieurs trajectoires parallèles.

Pour cet exposé, nous partirons du problème fondamental qu'abordait Dingler et que la protophysique s'apprête encore à résoudre, le problème des fondements des sciences quantitatives. L'aspect le plus connu de ce problème est celui du corps rigide : pour mesurer les distances, il faut un mètre. Pour que les résultats des mesures soient reproductibles, il est nécessaire que le mètre soit constant ou inaltérable. Mais comment définir et vérifier cette constance sans mesurer, c'est-à-dire sans présupposer ce qu'on veut cependant établir ? En effet, on sait que tous le soin apporté à la production des prototypes du mètre et du kilogramme, ainsi que ceux qu'on consacre à leur conservation dépendent de nos connaissances scientifiques du moment.

La protophysique et le conventionnalisme donnent deux réponses différentes à cette question : selon le conventionnalisme, on choisit, plus ou moins arbitrairement et toujours sous réserve de révision ultérieure, un corps qui servira à définir ce que veut dire « être de longueur constante », ou « être de telle ou telle longueur¹⁰ ». La convention a donc une fonction *sémantique*. Elle assure le sens des énoncés sur la longueur. La protophysique, elle, vise cependant à une solution moins radicale mais tout aussi efficace. Elle cherche à formuler des instructions pour vérifier la constance de la longueur du mètre (en débouchant ainsi sur un jugement vrai au lieu d'une convention, qui n'est ni vraie ni fausse). À partir de l'exemple du corps rigide on peut formuler

10. Poincaré a développé ces idées pour la mesure du temps dans l'article « La mesure du temps » [Poincaré 1898]. Pour une comparaison plus détaillée du conventionnalisme et de la protophysique, voir [Schlaudt 2009a, 97 ff.].

l'objectif de la protophysique de façon générale : sa tâche est d'explicitier un critère qui permette de vérifier le bon fonctionnement de l'instrument de mesure en question (p. ex., la constance du mètre) sans contrevenir au principe de la démarche méthodique, c'est-à-dire sans commettre un cercle pragmatique. Cela demande d'abord de montrer comment on peut vérifier le bon fonctionnement d'un instrument sans supposer implicitement qu'il est déjà disponible. En géométrie, il faut montrer comment on peut produire un plan sans avoir besoin d'un autre plan pour contrôler la qualité du premier ; dans la chronométrie, comment produire une montre dont les aiguilles tournent uniformément sans la comparer à une autre montre dont on suppose qu'elle satisfait déjà le critère d'uniformité. Le conventionnalisme nie la possibilité de réaliser cette tâche ; c'est pourquoi, il adopte le recours sémantique. Tout dépend donc ici du succès de la protophysique : parvient-elle à expliciter les critères nécessaires pour reconstruire méthodiquement les pratiques fondamentales des sciences quantitatives ?

La protophysique ne se borne pas cependant à des efforts systématiques vers cette fin, mais insiste sur sa nécessité en invoquant l'argument suivant : pour les sciences, s'appuyant sur des données produites en utilisant des instruments, il est essentiel de distinguer entre le fonctionnement normal et le fonctionnement défectueux de l'instrument. Or, l'instrument défectueux « ne sort pas de la nature », c'est-à-dire qu'il obéit toujours aux mêmes lois naturelles. Le dysfonctionnement ne regarde pas le côté naturel de l'instrument, mais son côté « artificiel », son fonctionnement au sein d'une pratique collective. Pour bien comprendre les sciences, qui sont au fond une pratique humaine, il est donc indispensable de se référer aux normes qui régissent le fonctionnement des instruments.

Cet argument rend manifeste l'anti-naturalisme inhérent à cette approche, en entendant par « naturalisme » la thèse selon laquelle les sciences sont à même de fournir une description complète du monde, y compris de nos actes épistémiques. Une telle description complète devrait en effet rendre compte de la vie humaine et ainsi des sciences elles-mêmes en tant que pratiques humaines. Cela nous conduit à la question : les sciences peuvent-elles fonder leurs propres connaissances en fournissant une théorie de la connaissance ? Peuvent-elles donc s'expliquer elles-mêmes ? Enfin, se réduisent-elles à un phénomène naturel ? La protophysique y répond négativement pour la raison que nous venons d'exposer : les sciences font partie de la culture, règne des normes, et en tant que telles elles sont irréductibles à la nature, « l'ensemble des phénomènes, en tant que ceux-ci, en vertu d'un principe interne de la causalité, s'enchaînent universellement » [Kant 1905, 384], l'ensemble donc des objets d'une connaissance possible. La « nature » n'étant autre chose que le contenu de nos connaissances possibles, elle dépend des normes qui régissent la connaissance

et ne peut donc pas comprendre ces normes comme phénomènes, c'est-à-dire comme objets d'une connaissance possible¹¹.

Expliciter ces normes est, comme nous venons de le dire, la tâche de la protophysique. Comme il s'agit de reconstruire les bases des sciences *quantitatives*, ces normes doivent être explicitées d'une manière purement *qualitative* ; elles décrivent des « formes » qui sont caractérisées par une « symétrie » (comme disait Dingler) ou par un « principe d'homogénéité » (comme disaient Lorenzen et Janich). Ces homogénéités permettent enfin de prouver l'univocité de la forme en question. Par univocité on entend que deux réalisations effectuées indépendamment l'une de l'autre conviennent l'une à l'autre, c'est-à-dire qu'elles confirment mutuellement leur homogénéité. Nous allons examiner les trois exemples les plus importants pour rendre cette idée plus claire.

a) *La distance (géométrie)*. La mesure la plus fondamentale est celle de la distance. Elle est à la base de la géométrie et de toutes les autres mesures. La mesure de la distance requiert un moyen pour vérifier la rigidité du mètre. Pour cela on doit être capable de réaliser un corps dont deux arêtes sont de même longueur, car la comparaison avec les arêtes d'un tel corps nous permettrait de vérifier si le corps qui a été choisi comme règle change de longueur quand il est transmis d'une arête à l'autre. La construction d'un tel corps aux arêtes égales demande par contre qu'on soit capable de réaliser comme formes primitives d'abord le plan, ensuite l'angle droit, et enfin la parallèle. La forme la plus basique est donc le plan. Le *Dreiplattenverfahren*, c'est-à-dire le rabotage mutuel de trois plaques l'une contre l'autre deux à deux, offre un moyen de le réaliser. Cette procédure est en effet utilisée par l'industrie du verre et par l'industrie sidérurgique [Katthage 1982]. L'homogénéité caractéristique du plan est l'indiscernabilité de ses points. Lorenzen la représente symboliquement comme suit :

$$P \varepsilon E \wedge P' \varepsilon E \wedge A(E, P) \Rightarrow A(E, P') \quad (6)$$

Cela signifie : si les points P et P' font partie du même plan, chaque proposition vraie de P est aussi vraie de P' . Lorenzen parle d'un « principe d'homogénéité ». Cette homogénéité se manifeste dans le fait qu'une plaque plane peut glisser librement sur l'autre, comme c'est bien sûr le cas avec le rabotage précité. Mais il y a plus : sur la base de la procédure de réalisation donnée, il est possible de prouver que deux plans réalisés indépendamment l'un de l'autre correspondent toujours au principe d'homogénéité, c'est-à-dire glissent eux aussi librement l'un sur l'autre. En écrivant $E_1 \equiv E_2$ pour la relation

11. Ce côté anti-naturaliste a été mis en relief dans les travaux plus récents de Janich qui sont réunis sous le titre programmatique du « culturalisme méthodique ». Le problème abordé a gagné beaucoup d'importance avec l'émergence de la neurophysiologie, qui met en œuvre le programme naturaliste, voir [Janich 2009]. De ce que les normes dont traite la protophysique ne sont pas réductibles à la nature, il ne s'ensuit pas qu'il faut les prendre comme des données qui s'opposent à toute explication. Une idée, développée dans [Schlaudt 2009a], est de compléter la protophysique par une théorie *génétique* des normes.

du libre glissement du plan E_1 sur E_2 (et vice versa), l'unicité du plan peut s'écrire :

$$E_1 \equiv E_2 \wedge E_3 \equiv E_4 \Rightarrow E_1 \equiv E_3 \wedge E_2 \equiv E_4. \quad (7)$$

Cette proposition peut être prouvée et posée à la base de la définition opératoire du plan. Comme nous l'avons souligné, cette preuve est purement formelle et donc *a priori*. Elle porte cependant exclusivement sur les résultats *idéaux* de la procédure de réalisation¹².

Deux remarques s'imposent :

1° Il va de soi que la réalisabilité d'une forme n'est pas impliquée par le principe d'homogénéité correspondant (comme l'idée de Dieu ne porte pas la garantie de son existence, contrairement à ce que prétend la « preuve ontologique »). Notamment, il serait oiseux de considérer une homogénéité dont on ne connaît aucun moyen de réalisation. Par contre, même dans les cas où l'on dispose d'un tel moyen, ses limitations sont toujours contingentes. Il est par exemple bien possible que la réalisation du plan soit limitée par une structure granulaire de la matière (les atomes). Cependant on devrait prendre acte de ce que l'hypothèse des atomes est basée sur les données quantitatives, qui à leur tour s'appuient sur une réalisation au moins suffisante du plan.

2° Il est important de noter que le rôle de l'expérience est transformé par les principes d'homogénéité. Si par exemple une plaque plane ne glisse pas librement sur une autre, on n'en conclut pas que le « plan en soi » n'est pas homogène, mais au contraire que les plaques données ne sont pas suffisamment planes. Le rôle de l'expérience ne consiste donc plus à réfuter une hypothèse (celle de l'homogénéité), mais à contrôler la qualité d'une réalisation, ce qui est effectivement tout autre chose. On voit que les principes d'homogénéité s'immunisent pour ainsi dire contre l'expérience en changeant le rôle (contrôle de qualité au lieu de vérification). Il n'y a pas lieu de s'en étonner, puisque ces principes-là héritent du rôle épistémologique des jugements synthétiques *a priori* (en tant que jugements ni analytiques ni empiriques). Le fait que les expériences ne « parlent » pas par elles-mêmes mais doivent et peuvent toujours être interprétées prend de l'importance au vu d'une autre question : dans la mesure où il est possible de réaliser les parallèles en tant que forme primitive,

12. Pour comprendre cette transition aux objets idéaux d'une manière constructiviste, Janich a développé la théorie de l'*idéation*, qui consiste, d'après le modèle de la théorie constructiviste de l'*abstraction*, à restreindre le discours aux propositions impliquées par le principe d'homogénéité en question ; voir [Janich 1969b], [Lorenzen 1962].

la géométrie constructiviste est nécessairement euclidienne¹³. La contradiction avec la théorie de la relativité générale n'existe cependant qu'en apparence : la théorie de la relativité générale donne une interprétation géométrique des phénomènes relativistes, tandis que la protophysique en demande une interprétation dynamique [Lorenzen 1977a,b, 1978]. Tout est donc question de bonne interprétation des données. Néanmoins, il ne faut pas nier que cette question d'interprétation présente un potentiel de conflit considérable¹⁴. Soulignons cependant que le conflit entre la protophysique et la « révolution » relativiste au sein de la physique reflète le fait que cette révolution n'a pas bouleversé la physique toute entière. Au contraire, le travail concret des scientifiques dans les laboratoires n'a point changé. Or, c'est justement là, dans la *Lebenswelt* constituée par les ateliers des techniciens, les laboratoires des expérimentateurs et aussi les bureaux des théoriciens, que la protophysique cherche les fondements des mesures et, par voie de conséquence, de la physique entière. La protophysique ne vote donc pas pour la mécanique classique et contre la mécanique relativiste, mais situe les fondements de la physique en amont et au-delà de cette alternative.

Abandonnons l'exemple de la mesure de la distance, qui nous conduit à trop de détails sans nous apprendre quelque chose de nouveau.

b) *Le temps (chronométrie)*. Comme l'admettent aussi les philosophes d'autres écoles (p. ex., Poincaré et Carnap), il n'est pas possible de fonder strictement la mesure directe du temps. La mesure directe consisterait à compter des périodes comme celles d'un pendule. Pour justifier cette procédure de mesure, on devrait garantir l'isochronie des périodes. Mais pour cela on devrait se munir justement d'une autre montre dont on suppose le bon fonctionnement, ce qui rend le cercle manifeste. C'est pour cette raison que Janich s'est tourné vers la mesure indirecte du temps en reprenant l'idée aristotélicienne de l'antériorité de la notion de mouvement par rapport à celle du temps. La forme primitive de la chronométrie est donc le mouvement uniforme, qui correspond pour ainsi dire au corps rigide dans la géométrie. La tâche est alors de trouver un critère de l'uniformité qui ne se réfère pas à la notion de temps. Janich a présenté une solution valable en 1969 [Janich 1969a]. Cette solution

13. Il y a une raison plus profonde du caractère euclidien de la géométrie constructiviste : en tant que théorie normative de la mesure spatiale, la géométrie doit être formulée de manière purement qualitative, ce qui amène à une « théorie des formes » (formes qualitatives), située entre la géométrie au sens propre (qui traite de la forme *et* de la grandeur des figures) et la topologie (qui fait abstraction des deux, grandeur et forme, pour étudier les déformations spatiales continues). Or, une théorie des formes est nécessairement euclidienne, puisque la géométrie non-euclidienne ne permet pas de parler de la forme d'une figure sans prendre en considération sa grandeur (les propriétés du triangle, p. ex., comme la somme des angles, ne sont pas indépendantes de sa grandeur, comme le savait déjà Wallis).

14. Récemment Harvey R. Brown a montré dans *Physical Relativity. Space-time structure from a dynamical perspective* [Brown 2005] que – contrairement à l'impression que donnent la plupart des manuels de physiques – ces questions interprétatives sont loin d'être résolues.

se trouve cependant déjà dans la deuxième édition du *Traité de dynamique* de Jean d'Alembert, paru en 1758¹⁵. Ce critère consiste, au fond, en une comparaison des espaces parcourus dans deux mouvements. (On voit que la mesure indirecte du temps présuppose la mesure des distances, c'est pourquoi nous l'exposons après celle-ci.) Si le rapport des espaces est constant nonobstant les commencements des deux mouvements respectifs, c'est-à-dire nonobstant un décalage de l'un par rapport à l'autre, les mouvements sont uniformes.

Comme le plan, le mouvement uniforme est caractérisé par une homogénéité. Au glissement libre correspond ici le choix arbitraire du décalage temporel entre les deux mouvements. Il implique l'indiscernabilité des instants au sein du mouvement (comme celle des points qui appartiennent au plan). Sur la prémisse de cette homogénéité, on peut démontrer que deux montres construites indépendamment l'une de l'autre satisfont au critère d'uniformité. C'est-à-dire, si les montres s_1 et s_2 du type A satisfont au critère d'uniformité et si les montres s_3 et s_4 du type B font de même, il en va de même pour s_1 et s_3 et pour s_2 et s_4 (ce qui est plus qu'une simple transitivité $s_1 = s_2 \wedge s_2 = s_3 \Rightarrow s_1 = s_3$!). Cela permet notamment d'attribuer l'uniformité à un mouvement sans le rapporter à un autre mouvement, c'est-à-dire de la considérer comme attribut absolu (par opposition aux attributs relatifs comme « x est en mouvement par rapport à y » ; voir [Janich 1985, 51–60]). Pour conclure, il convient de souligner qu'aucune contradiction avec la théorie de la relativité restreinte ne peut s'ensuivre de cette approche *a priori* de la mesure du temps, puisque tout ce qu'elle affirme *a priori* ne concerne que des montres qui sont en état de repos l'une par rapport à l'autre. La transition vers un système de référence¹⁶ qui se déplace par rapport au premier dépasse ce qu'on peut affirmer d'une manière *a priori*. La relation entre les données quantitatives qui se rapportent au même phénomène alors qu'elles procèdent de systèmes de références différents est une donnée contingente¹⁷.

c) *La masse (hylométrie)*. Après la distance et le temps, il reste à jeter un coup d'œil sur la troisième quantité fondamentale de la physique, la masse. À partir de 1964, Lorenzen a proposé d'introduire la masse au moyen du choc totalement inélastique : le rapport des masses serait donc défini implicitement par le principe de la conservation de la quantité du mouvement, et celle-ci devrait être considérée comme une définition plutôt que comme une loi de la nature. Cette définition qui ne fait pas partie de la cinématique (géométrie + chronométrie), partie « *a priori* » de la physique, serait du reste révisable.

15. Cf. [Schlaudt 2009b, 105–111] ; A. Voss a le mérite d'avoir signalé la présence de ce sujet dans la deuxième édition du *Traité* de Jean d'Alembert, voir [Voss 1901, 34–35, traduction française, 52–55]. Voss en a cependant méconnu la portée.

16. On remarque qu'il ne faut pas, à ce niveau de la reconstruction, parler d'un référentiel inertiel, ce qui est une caractérisation dynamique qui présuppose déjà la mesure du temps. C'est pour cette raison que nous nous bornons à parler d'un système de référence général.

17. Janich a corrigé le point de vue de la *Protophysik der Zeit* dans ce sens, voir [Janich 1984].

Une modification du principe de la conservation de la quantité du mouvement pour des hautes vitesses permettrait ainsi de tenir compte des phénomènes relativistes. Cette procédure pour introduire la masse pose cependant un grave problème : en considérant le choc des corps, elle se réfère implicitement aux référentiels inertiels, qui à leur tour ne peuvent être définis que sur la base de la notion de force, qui implique celle de la masse. Il est cependant possible d'introduire la masse de façon analogue à la distance et au temps, à savoir sur la base d'une homogénéité. L'homogénéité en question est celle de la densité, qui est la forme primitive de l'« hylométrie ». La pratique correspondante est la fabrication des corps (métalliques) de densité uniforme. Comme on quantifie le temps de manière indirecte par les distances parcourues dans un mouvement uniforme, on quantifie la masse par le volume d'un corps de densité homogène. Autant la première procédure hérite d'Aristote l'antériorité de la notion de mouvement par rapport à celle du temps, autant la dernière est l'héritière de l'antériorité de la notion de densité par rapport à celle de quantité de matière, idée qu'on trouve chez Newton [Janich 1979].

Voilà donc les éléments de la « protophysique », issue de l'approche pragmatiste de Dingler. Soulignons encore que les preuves qu'elle fournit ne portent que sur des objets idéaux dont la réalisation matérielle sera toujours soumise à des conditions de nature contingente.

III.

Pour conclure, retenons que le « constructivisme méthodique » de l'École d'Erlangen

- a délocalisé – conformément à la philosophie de Dingler – les fondements des sciences dans la *Lebenswelt*, c'est-à-dire dans le savoir-faire technique et linguistique ;
- qu'il a cependant sacrifié la métaphysique volontariste de Dingler tout en gardant son aspect pragmatiste et opératoire ;
- qu'il a restreint le domaine de l'« *a priori* » au « discours idéatif », c'est-à-dire aux formes homogènes abstraction faite de leurs réalisations ;
- qu'il a rompu le lien entre l'univocité et l'unicité de la reconstruction, élément non-justifiable de la théorie de Dingler ;
- qu'il a par conséquent débarrassé la notion d'« *a priori* » de son sens apodictique tout en conservant son sens constitutif.

Au gré de ces modifications importantes, le « constructivisme méthodique » est parvenu à faire ressortir la partie défendable de la philosophie de Dingler. Ces efforts ont toujours donné lieu à de vives discussions, parfois polémiques. Situés dans une époque dominée par le néo-positivisme, ils n'ont cependant jamais réussi à convaincre la majorité des philosophes.

Bibliographie

- BROWN, Harvey R. [2005], *Physical Relativity. Space-time structure from a dynamical perspective*, Oxford : Clarendon Press.
- CARNAP, Rudolf [1923], Über die Aufgabe der Physik und die Anwendung des Grundsatzes der Einfachheit, *Kant-Studien*, 28, 90–107.
- DINGLER, Hugo [1908], Über „willkürliche Festsetzungen“, *Jahresbericht der deutschen Mathematiker-Vereinigung*, 1, 267–271.
- [1913], *Die Grundlagen der Naturphilosophie*, Leipzig : Verlag Unesma, Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1967.
- [1914], Sur la théorie des sciences d'Henri Poincaré, *Revue de Métaphysique et de Morale*, extrait d'un supplément consacré au Congrès de philosophie mathématique.
- [1920], Über den Begriff der „Einfachheit“ in der Methodik der Physik und der exakten Wissenschaften, *Zeitschrift für Physik*, 3(6), 425–436.
- [1922], Die Rolle der Konvention in der Physik, *Physikalische Zeitschrift*, 23, 47–53.
- [1931], *Philosophie der Logik und Arithmetik*, München : E. Reinhardt.
- [1953], Was ist Konventionalismus? Zum 50-jährigen Jubiläum des Erscheinens der deutschen Ausgabe von Henri Poincarés *Wissenschaft und Hypothese*, dans *Actes du XI^e Congrès international de philosophie (Bruxelles 1953)*, Amsterdam ; Louvain, t. V : Logique. Analyse philosophique. Philosophie des mathématiques, 199–204.
- [1964], *Aufbau der exakten Fundamentalwissenschaft*, München : Eidos-Verlag, édité par P. Lorenzen.
- FRANK, Philipp [1941], *Between Physics and Philosophy*, Cambridge : Harvard University Press.
- HEINZMANN, Gerhard [1982], *Schematisierte Strukturen. Eine Untersuchung über den „Idonëismus“ Ferdinand Gonseths auf dem Hintergrund eines konstruktivistischen Ansatzes*, Bern : Haupt.
- [1995], *Zwischen Objektkonstruktion und Strukturanalyse : zur Philosophie der Mathematik bei Jules Henri Poincaré*, Göttingen : Vandenhoeck & Ruprecht.
- HELMHOLTZ, Hermann von [1887], Zählen und Messen. Erkenntnistheoretisch betrachtet, dans *Philosophische Aufsätze, Eduard Zeller gewidmet*, Leipzig : Fues's Verlag, 17–52.

HOLZKAMP, Klaus [1968], *Wissenschaft als Handlung. Versuch einer neuen Grundlegung der Wissenschaftslehre*, Berlin : de Gruyter.

— [1973], *Sinnliche Erkenntnis. Historischer Ursprung und gesellschaftliche Funktion der Wahrnehmung*, Frankfurt a. M. : Athenäum.

HÖVELMANN, Gerd H. [1985], Bibliographie zur Protophysik und ihrer Rezeption und Diskussion, *Philosophia Naturalis*, 22, 145–156.

JANICH, Peter [1969a], *Protophysik der Zeit*, Mannheim : Bibliographisches Institut.

— [1969b], Wie empirisch ist die Physik?, *Philosophia Naturalis*, 11, 291–303.

— [1976], Zur Protophysik des Raumes, dans *Protophysik. Für und wider eine konstruktive Wissenschaftstheorie der Physik*, édité par G. Böhme, Frankfurt a. M. : Suhrkamp, 83–130.

— [1979], Das Maß der Masse, dans *Konstruktion versus Position*, édité par K. Lorenz, Berlin : de Gruyter, t. 1, 340–350.

— [1984], H. Dingler, die Protophysik und die spezielle Relativitätstheorie, dans *Methodische Philosophie. Beiträge zum Begründungsproblem der exakten Wissenschaften in Auseinandersetzung mit Hugo Dingler*, édité par P. Janich, Mannheim : Bibliographisches Institut, 113–127.

— [1985], Hat Ernst Mach die Protophysik der Zeit kritisiert?, *Philosophia Naturalis*, 22, 51–60.

— [1997], *Das Maß der Dinge. Protophysik von Raum, Zeit und Materie*, Frankfurt a. M. : Suhrkamp.

— [2009], *Kein neues Menschenbild. Zur Sprache der Hirnforschung*, Frankfurt a. M. : Suhrkamp.

KAMLAH, Wilhelm & LORENZEN, Paul [1967], *Logische Propädeutik : Vorschule des vernünftigen Redens*, Mannheim : Bibliographisches Institut.

KANT, Emmanuel [1905], *Critique de la raison pure*, Paris : Félix Alcan, nouvelle traduction française avec notes par A. Tremesaygues et B. Pacaud.

KATTHAGE, Karl-Heinrich [1982], Zur Herstellung ebener Flächen nach dem Dreiplattenverfahren. Zur Bedeutung von Henry Maudsley und Joseph Whitworth für die Entwicklung der Technik und für die theoretische Geometrie, *Technikgeschichte*, 49, 208–222.

- LORENZ, Kuno & MITTELSTRASS, Jürgen [1969], Die methodische Philosophie Hugo Dinglers, dans *Hugo Dingler : Die Ergreifung des Wirklichen*, édité par K. Lorenz & J. Mittelstraß, Frankfurt a. M. : Suhrkamp, chap. I-IV, 7-55, mit einer Einleitung von Kuno Lorenz und Jürgen Mittelstraß.
- LORENZEN, Paul [1955], *Einführung in die operative Logik und Mathematik*, Berlin : Springer.
- [1956], Formale Logik und Arithmetik in Dinglers methodischer Philosophie, dans *Dingler. Gedenkbuch zum 75. Geburtstag*, édité par W. Krampf, München : Eidos-Verlag, 119-130.
- [1960], Das Begründungsproblem der Geometrie als Wissenschaft der räumlichen Ordnung, *Philosophia Naturalis*, 6(4), 415-431.
- [1962], Gleichheit und Abstraktion, *Ratio*, 4(1), 77-81.
- [1965], Methodisches Denken, *Ratio*, 7, 1-23.
- [1977a], Relativistische Mechanik mit klassischer Geometrie und Kinematik, *Mathematische Zeitschrift*, 155, 1-9.
- [1977b], Eine Revision der Einsteinschen Revision, *Philosophia Naturalis*, 16, 383-391.
- [1978], Die allgemeine Relativitätstheorie als eine Revision der Newtonschen Gravitationstheorie, *Philosophia Naturalis*, 17, 1-9.
- [1984], *Elementargeometrie. Das Fundament der analytischen Geometrie*, Mannheim : Bibliographisches Institut.
- POINCARÉ, Henri [1898], La mesure du temps, *Revue de Métaphysique et de Morale*, 6, 1-13.
- [1902], *La Science et l'Hypothèse*, Paris : Flammarion, 1968.
- REICHENBACH, Hans [1979], Relativitätstheorie und Erkenntnis a priori, dans *Die philosophische Bedeutung der Relativitätstheorie - Gesammelte Werke*, Braunschweig : Vieweg, t. Bd 3, 191-302.
- RUBEN, Peter [1979], *Philosophie und Mathematik*, Leipzig : Teubner.
- SCHLAUDT, Oliver [2009a], *Messung als konkrete Handlung. Untersuchungen über die Grundlagen der Bildung quantitativer Begriffe in den Naturwissenschaften*, Würzburg : Königshausen und Neumann.
- [2009b], *Die Quantifizierung der Natur. Klassische Texte der Messtheorie von 1696 bis 1999*, Paderborn : Mentis.

VOSS, Aurel [1901], Die Prinzipien der rationellen Mechanik, dans *Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften*, édité par F. Klein & C. Müller, Leipzig : Teubner, t. IV, 3–121, 1908, traduction française *Principes de mécanique rationnelle*, réédité en 2005, Paris : Éditions Gabay.

WOLTERS, Gereon [1984], Früher Konventionalismus : Der Carnap-Dingler Briefwechsel, dans *Methodische Philosophie. Beiträge zum Begründungsproblem der exakten Wissenschaften in Auseinandersetzung mit Hugo Dingler*, édité par P. Janich, Mannheim : Bibliographisches Institut, 60–76.

— [1985], 'The First Man Who Almost Wholly Understands Me' : Carnap, Dingler, and Conventionalism, dans *The Heritage of Logical Positivism*, édité par N. Rescher, Lanham : University Press of America, 93–107.