

Espace.
La critique de Mach

in Lecourt, Dominique (éd.), Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences, Presses Universitaires de France, Paris, 1999, p. 374-376.

Espace.
La critique de Mach

Introduction

La pensée de l'espace développée par le physicien et philosophe Ernst Mach porte d'une part sur la genèse de cette notion à partir des sens ("l'espace physiologique") et sur sa conceptualisation par la connaissance scientifique qui lui ôte son caractère subjectif pour lui donner des propriétés universelles, les mêmes pour tous ("l'espace géométrique"), et d'autre part sur la critique de l'espace tel que le concevait la physique de son temps, c'est-à-dire celui de la mécanique newtonienne. Cette critique, exposée dans *La Mécanique* (1883), eût une influence considérable sur les conceptions ultérieures, et notamment sur la genèse de la théorie de la relativité d'Einstein. Elle est étayée sur les études physiologiques - expérimentales et théoriques - que Mach effectua dès ses premiers travaux de recherche, et qu'il exposa de manière systématique dans *L'Analyse des sensations* (1887). Mach approfondit ses conceptions épistémologiques sur la genèse et la constitution de la notion d'espace, et sur les caractères de l'espace géométrique, dans plusieurs textes publiés au tournant du siècle (voir *Space and Geometry*, 1906) et repris dans *Erkenntnis und Irrtum* (*La connaissance et l'erreur*, 1905, éditions en Allemand et en Anglais). Ses conceptions sur la constitution de l'idée d'espace à partir des sens, tout en lui étant propres, sont voisines de celles de Helmholtz, et Poincaré s'inspira des deux dans ses réflexions sur le même sujet. Les remarques de Mach sur la nature des géométries non-euclidiennes rejoignent à leur tour celles développées antérieurement par Poincaré.

1. L'espace physiologique

Si Mach a reçu de Kant l'idée que le temps et l'espace ne sont pas dans les choses mais en nous, qu'ils sont des modes de perception nécessaires pour l'observation et la connaissance du monde, ce ne sont pas pour lui des formes d'intuitions pures (a priori) selon la définition kantienne, mais des données d'origine empiriques, dues aux perceptions sensorielles. Ses premières recherches portaient sur la psycho-physiologie des sensations, où il trouva, comme von Helmholtz dans ses études sur la perception, les éléments de référence de ses conceptions épistémologiques sur l'origine des concepts scientifiques, qui marque ses effets sur la nature de ces derniers.

Dans ses Contributions à l'analyse des sensations, qui prolongent des études plus anciennes, Mach examine la manière dont les sens contribuent à former la notion d'espace : cet espace est l'espace physiologique, variété multiple de la sensation, qui comprend les espaces visuel, auditif et tactile, l'espace visuel étant, selon lui, le plus précis et le plus ample des systèmes de sensations spatiales, qui conditionnent la reconnaissance des figures. Ces sensations sont produites par l'appareil moteur de l'oeil et reliées aux autres processus moteurs du corps (muscles), par compensations réciproques des mouvements. Les sensations spatiales produites par les différents sens ont entre elles des relations, voire des analogies (p. ex., vision binoculaire et audition bi-auriculaire donnant la perception du relief), mais sans s'identifier. La diversité des espaces physiologiques permet une meilleure précision dans la localisation ; elle permet aussi de pallier, par l'éducation, au défaut de l'un des sens (le sens spatial des aveugles peut être développé).

L'espace physiologique est une représentation qualitative, non quantitative ni métrique, différente pour chaque individu, au contraire de l'espace géométrique que l'on forme à partir de lui, homogène et isotrope, métrique et le même pour tous, dont le premier est une espèce de perspective en relief. Mach rapporte l'origine des trois dimensions de l'espace (physiologique comme géométrique) aux trois directions cardinales de l'orientation des corps des animaux et de l'homme (haut-bas, avant-arrière, gauche-droite).

2. L'espace géométrique

Pour Mach, la source des concepts géométriques se trouve dans l'expérience, en ce qui concerne tant la genèse individuelle de la notion d'espace que le développement historique de la géométrie. Les sensations, qui sont à l'origine de la connaissance, demandent à être prolongées par des expériences sur les corps pour que l'entendement puisse élaborer ses théories, en l'occurrence la géométrie, qu'il

voit comme une physique de l'espace. "Les concepts géométriques résultent de l'idéalisation de l'expérience physique de l'espace", espace dont nous avons formé la notion à partir de notre organisme physiologique, et "les systèmes de géométrie ont leur origine dans la classification des matériaux conceptuels ainsi obtenus" (Space and geometry). Les propriétés de l'espace étant rapportées aux corps, il s'ensuit que toutes les relations spatiales sont relatives.

Sa conception physique de la géométrie, qu'il retrouvait d'ailleurs dans la géométrie de Riemann, développée dans la filiation de Gauss, ne l'empêchait pas d'admettre des représentations symboliques très abstraites telles que l'espace comme variété dans le sens riemanien (anticipant même sur la notion de fibré) et lié au temps, et de reconnaître toute l'importance des géométries non euclidiennes, dont la découverte lui paraissait liée au soupçon (entretenu aussi bien par Gauss, Lobachevski et Bolyai) du caractère empirique de certaines hypothèses de la géométrie. Bien que ces géométries soient plus éloignées de notre expériences, elles sont importantes pour la pensée mathématique, en ce qu'elles suppriment des barrières traditionnelles dressées contre la pensée.

3. Critique de l'espace absolu de Newton

Pour le phénoménalisme empirico-critique de Mach, toutes les propositions empiriques, qui constituent le contenu d'une science, devraient être réductibles, en dernier ressort, à des propositions sur les sensations. Cette considération guide son analyse de la mécanique de Newton, et notamment sa critique radicale des concepts d'espace et de temps absolus sur lesquels ce dernier fondait sa dynamique (La Mécanique, 1883). L'espace et le mouvement absolus ne sont pas donnés par l'expérience : ils sont une extension abstraite hors de l'expérience et que rien ne légitime, sinon le besoin de rapporter les accélérations à l'espace absolu (p. ex., la force centrifuge dans un mouvement de rotation). Mais le mouvement d'un corps se détermine uniquement en relation à d'autres corps, et l'on doit s'en tenir à cela : il est possible, selon Mach, d'expliquer parfaitement de telle forces en gardant l'idée du seul mouvement relatif.

Il le fit en considérant l'expérience mentale d'un seau tournant rempli d'eau : la force centrifuge apparente est éveillée par le mouvement relatif par rapport au centre de la Terre et aux autres corps célestes, qui nous donne approximativement le référentiel des étoiles fixes. Il en va de même pour la loi de l'inertie: "Dire qu'un corps conserve sa vitesse et sa direction dans l'espace, est simplement une manière abrégée de s'en référer à l'univers entier". La masse d'inertie des corps, elle-même, doit être définie en étant rapportée, non à l'espace

absolu, mais à l'ensemble des corps de l'univers, ce qu'Einstein dénommera “principe de Mach”.

La critique par Mach de l'espace et du temps absolus de Newton fut utile à Einstein dans la redéfinition de ces concepts qu'il proposa avec sa théorie de la relativité restreinte, et le principe de Mach l'aida dans la formulation du problème de la théorie de la relativité générale (covariance généralisée). “Pour moi, écrivait Mach dans un texte de 1910 (cf. *Die Leitgedanken*, Leipzig, 1918), la matière, le temps, et l'espace sont (...) des problèmes vers la solution desquels (...) des physiciens comme Lorentz, Einstein et Minkowski s'approchent progressivement”. Quant à Einstein, il devait écrire : “Mach, au dix-neuvième siècle, a été le seul à penser sérieusement la possibilité d'éliminer le concept d'espace, en cherchant à le remplacer par la notion d'ensemble des distances instantanées entre les points matériels. Il fit cette tentative pour parvenir à une compréhension satisfaisante de l'inertie”. (Einstein, *La relativité et le problème de l'espace*, 1954).

Bibliographie

Bradley, J. *Mach's philosophy of science*, London, Athlone Press, 1971. - Cohen, R. et Seeger, R.J. (eds.), *Ernst Mach, physicist and philosopher*, Dordrecht, Reidel, 1970. - Einstein, A., *Relativity and the problem of space*, in *Einstein, Ideas and opinions*, New York, Crown, 1954; Dell Publ., 1973; 1981. - Mach, E., *La mécanique* (1883), trad. fr. E. Bertrand, Hermann, Paris, 1904; 1923. - *Beiträge zur Analyse der Empfindungen*, Iéna, 1886; *Contributions to the the analysis of the sensations*, tr. C.M. Williams, Open Court, Chicago, 1897. - *Popular scientific lectures*, tr. T.J. McCormack, Chicago, Open Court, 1898.- *Erkenntnis und Irrtum*, Leipzig, Barth, 1905; *La connaissance et l'erreur*, Trad. fr. M. Dufour, Flammarion, Paris, 1908; 1922; *Knowledge and error*, tr. T.J. McCormack, P. Foulkes, Dordrecht, Reidel, 1976. - *Space and geometry, in the light of physiological, psychological, and physical inquiry*, Tr. T.J. McCormack, Chicago, Open Court, 1906. - *Die Leitgedanken*, Leipzig, 1918.

Michel Paty