

# Ernst Mach et la psychophysologie du temps

*Claude Debru*  
ENS Paris

**Résumé :** Cet article décrit les recherches de Mach sur le sens du temps, le contexte dans lequel elles prennent place au début des années 1860, les discussions qui ont lieu sur les problèmes de la psychophysologie, principalement autour de Fechner, ainsi que les prolongements philosophiques des recherches de Mach sur les relations entre temps physique et temps psychologique, aboutissant à des idées particulières sur la nature du temps.

Les travaux physiologiques effectués par le physicien Ernst Mach, et tout particulièrement ceux qu'il a réalisés au début de sa carrière, à partir de 1860, sont d'un grand intérêt en raison de la subtilité de la démarche expérimentale qu'il met en œuvre et de sa différenciation croissante par rapport à d'autres recherches, approches et théories dans le domaine des sensations comme la psychophysique de Gustav Theodor Fechner, les recherches psychophysiologiques de Wilhelm Wundt, celles de Hermann von Helmholtz et d'autres. En particulier, la contribution de Mach au problème de la perception du temps se signale par son originalité et son importance dans un domaine alors à peine exploré. Elle est présentée dans un article publié en 1865 dans les Comptes rendus de l'Académie de Vienne [Mach 1865a], article qui expose les résultats de recherches entreprises dès 1860 à la suite de la publication des *Eléments de psychophysique* de Fechner. Cette contribution n'a pas été commentée jusqu'à présent du point de vue de l'histoire des sciences, bien qu'elle soit connue des physiologistes pour être fondamentale. Son intérêt dépasse le domaine particulier de la psychophysiologie, car cette contribution se lie à des hypothèses sur la nature du temps qui doivent être inscrites dans l'histoire de la philosophie. Nous présenterons successivement le contexte scientifique et philosophique des débuts de Mach, les conférences de Mach sur la psychophysique (1863), les recherches de ces prédécesseurs et successeurs immédiats sur le sens du temps, ses recherches propres sur le sens du temps dans l'audition (1865), sa critique de Herbart, les notions plus générales qu'il développe à cette occasion sur la nature du temps, enfin nous évoquerons le devenir de la psychophysiologie du temps dans son œuvre ultérieure.

## Le contexte de la recherche

Dès ses premiers travaux, le physicien Ernst Mach porte un intérêt d'un type très particulier aux phénomènes du mouvement, qu'il envisage non seulement du point de vue des relations que les corps physiques entretiennent entre eux, mais aussi du point de vue des interactions que les corps physiques et les organismes entretiennent, par exemple par les sens, ainsi que de la motricité propre des organismes dans leurs différentes parties. Parmi les premiers articles de Mach, on trouve à partir de 1860 des recherches portant sur des sujets comme les modifications du son et de la couleur par le mouvement, la vision des positions et des angles par les mouvements des yeux, l'effet Doppler, le pouls et la mesure de la tension artérielle. Physique et physiologie ont partie liée dans ces premiers travaux. La nature de la liaison recherchée par Mach

entre ces disciplines est intéressante dans sa singularité, qui se révèle par la comparaison avec d'autres physiiciens physiologistes comme Fechner ou Helmholtz. En vue de mieux apprécier cette singularité, il convient de décrire le contexte scientifique et philosophique dans lequel s'inscrivent les premiers travaux de Mach.

Le rapprochement entre physique, physiologie et psychologie observé à cette époque est caractérisé par une réelle diversité de conceptions. L'œuvre de Johann Friedrich Herbart, fondateur de la psychologie mathématique, est discutée et reste influente. La psychophysique de Fechner expose la loi de transformation des quantités physiques en quantités psychiques, dans le cadre d'une philosophie de l'animisme universel. Rudolf Hermann Lotze développe la psychologie dans un esprit métaphysique, l'âme y étant conçue comme un processus intensif. Wilhelm Wundt cherche à établir la psychologie physiologique sur une base expérimentale.<sup>1</sup> La philosophie est marquée par l'influence persistante et bientôt renaissante de l'idéalisme transcendantal kantien dont la pièce maîtresse est l'idéalité de l'espace et du temps. Les physiologistes vont donner une traduction ou un fondement physiologique à ces représentations a priori. L'épistémologie mécaniste est adoptée par les élèves de Johannes Müller, Hermann von Helmholtz, Emile DuBois-Reymond, Carl Ludwig, Ernst Brücke contre le vitalisme de leur maître. L'atomisme est professé par les physiiciens qui développent les modèles cinétiques de la thermodynamique. Soucieux d'étudier les phénomènes de la nature sans métaphysique préconçue et d'allier l'observation et l'expérimentation en psychologie, Mach prend ses distances par rapport au mécanisme et à l'atomisme. Ainsi que l'a suggéré Erwin Hiebert, qui a particulièrement étudié la théorie de la chaleur de Mach et a rédigé sur Mach la notice du *Dictionary of Scientific Biography*, et comme l'a établi Wolfram Swoboda [Swoboda 1974], c'est peut-être dès les débuts qu'il faut saisir le tournant positiviste et phénoménaliste de Mach.

Mach étudie la physique à l'université de Vienne entre 1855 et 1860 et soutient en 1860 sa thèse sur la décharge et l'induction électrique. Par un enchaînement de circonstances où le physiologiste Ernst Brücke a joué un rôle, Mach est invité à donner des cours de physique aux étudiants de la faculté de médecine de l'université de Vienne, et pour cela suit des enseignements de médecine, de physiologie et de disciplines annexes. A cette époque, la faculté de médecine de Vienne en pleine

---

1. « J'ai pris le problème de la perception comme étant psychologique, ai recherché les processus psychiques élémentaires en analysant les événements perceptifs dont ils sont issus, mais je ne les ai pas étudiés à l'aide de spéculations métaphysiques, mais avec la méthode expérimentale du physiologiste » [Wundt 1862, IV-V].

expansion cherche, sous l'influence d'Ernst Brücke et de Carl Ludwig, alors à Vienne, à donner à la médecine une orientation plus marquée vers la physique. Cela est en particulier le cas pour la physiologie [Swoboda 1988, 362]. Après avoir obgenu sa *Venia Legendi*, Mach commence son enseignement de physique aux médecins à l'été 1861. Le contenu en sera publié sous le titre *Kompendium der Physik für Mediziner* à Vienne en 1863, la même année qu'il publie dans l'*Österreichische Zeitschrift für praktische Heilkunde* ses *Vorträge über Psychophysik*, leçons sur la psychophysique données également à la faculté de médecine.

Le *Kompendium* a un intérêt du point de vue des idées du jeune Mach sur la connaissance. Les interprètes qui l'ont commenté, comme Swoboda, y ont trouvé des germes du positivisme et du phénoménalisme ultérieurs de Mach, ainsi que de nombreuses notations sur les rapports entre physique, physiologie et psychologie [Swoboda 1988, 371-372]. Pour Mach, la science dans sa constitution interne est faite de deux types de lois, les lois phénoménales et les lois fondamentales. Toutes deux sont dérivées des données sensorielles, qui sont les seuls éléments fiables de la connaissance. Les lois fondamentales sont dérivées des lois phénoménales par un processus de « réduction », qui consiste à ne retenir que les paramètres communs aux divers types de lois phénoménales. L'économie relative des lois phénoménales et des lois fondamentales vaut d'être notée. La science doit découvrir un nombre aussi grand que possible de lois de corrélations entre les phénomènes. Elle doit réduire ces lois phénoménales à un nombre aussi petit que possible de lois fondamentales. Cette réduction a été considérée par les commentateurs comme une première formulation de l'économie de pensée [Swoboda 1988, 376]. Mach cherche à appliquer les conceptions de la physique à la médecine, à laquelle il donne pour but explicite de « ramener (*zurückführen*) tous les phénomènes de l'organisme animal et végétal à des lois physiques, à savoir faire de la physiologie une division de la physique appliquée » [Swoboda 1988, 382]. L'atomisme (encore admis par Mach à cette époque), les forces moléculaires sont au fondement de cette réduction. Il est assez instructif de relever la ressemblance de ces idées avec la théorie de la réduction du physiologique au physicochimique développée par Claude Bernard à la même époque.

Mach est revenu ultérieurement sur le *Kompendium* et sur les idées qu'il y a élaborées. On trouve au chapitre V de l'*Analyse des sensations* qui porte le titre « Physique et Biologie, Causalité et Téléologie », un rappel des idées du *Kompendium* sur le rapprochement nécessaire de la physique et de la psychologie. Il y écrit, dans une sorte de quasi-citation, et en rappelant le contexte encore fechnérien de ses idées : « Dans la

physiologie des sens, l'observation psychologique et l'observation physique peuvent peut-être avancer jusqu'à entrer en contact réciproque, et ainsi produire de nouveaux faits à la connaissance » [Mach 1906, 83]<sup>2</sup>. Selon Erwin Hiebert, l'évolution des recherches de Mach de la physique vers la psychophysique au début des années soixante témoigne d'une évolution philosophique, qui le fait passer du mécanisme et de l'atomisme à une vision moins métaphysique, plus heuristique et hypothétique de la science [Hiebert, 596]. Hiebert considère que Mach prend déjà ses distances par rapport à l'atomisme, lorsqu'il écrit, en conclusion des *Vorträge über Psychophysik* en 1863, que « la valeur d'une hypothèse consiste principalement dans le fait que par une sorte de *regula falsi* elle conduit toujours plus près de la vérité » [Mach 1863, 366]<sup>3</sup>. Aux yeux de Hiebert, l'hypothèse atomique était déjà devenue, pour Mach, une *regula falsi* en 1863. Cela n'était pas le cas dans ses travaux et son enseignement précédents de physique [Swoboda 1988, 377].

Fechner publie en 1860 ses *Éléments de Psychophysique*. Il y expose les principes de la mesure de la sensation et les applique à divers domaines, la couleur, le son, les sensations du toucher, qui font partie de ce qu'il appelle la psychophysique externe, à quoi il ajoute la psychophysique interne, qui concerne le sommeil, l'éveil et le rêve, l'attention, les images consécutives et les images mnésiques, les hallucinations et illusions. Inséparable d'une philosophie de l'animisme universel, la psychophysique fechnerienne est alors très en vogue. Mach écrira beaucoup plus tard, dans *L'analyse des sensations* : « La psychophysique de Fechner, qui a eu une incidence si importante, m'a moi aussi fortement stimulé jadis. Enthousiasmé par ce livre, j'ai fait sur le sujet de médiocres conférences, qui ont perdu d'autant plus de leur intérêt que je reconnus bientôt pour une erreur l'idée de la formule de Fechner » [Mach 2000, 321-322]. Mach entretient à cette époque une correspondance avec Fechner (la première lettre de Fechner date de janvier 1861) et pense lui dédicacer l'un de ses travaux [Swoboda 1988, 399]. La correspondance a été éditée par Joachim Thiele [Thiele 1978]. Les lettres de Mach ont été perdues. Pendant le semestre d'hiver 1863-1864, Mach donne à l'université de Vienne la série de conférences dont il vient d'être question sur la psychophysique et sur l'acoustique physiologique, à quoi s'ajoute, dans le semestre d'été 1864, une conférence sur le rapport entre les questions fondamentales en physique et psychologie [Swoboda 1988, 398-399]. Ces exposés ont été

---

2. La traduction est la nôtre. Voir aussi la traduction française récente : [Mach 1996, 92-93].

3. Il n'échappera à personne que Mach prend ainsi place parmi les prédécesseurs de Popper.

publiés dans la *Österreichische Zeitschrift für praktische Heilkunde* sous le titre *Vorträge über Psychophysik* [Mach 1863, 146sq.]. Ces conférences ont un réel intérêt du point de vue de l'histoire des sciences pour saisir le point de départ de Mach en la matière, sa connaissance des recherches contemporaines et ses jugements sur différents auteurs. Leur lecture, sur laquelle nous allons revenir, n'est point non plus si décevante d'un point de vue théorique. Mach ne reprend pas purement et simplement à son compte les hypothèses fechnériennes. En particulier l'hypothèse d'une additivité de sensations élémentaires suscitées sur des terminaisons nerveuses et qui s'additionnent dans une sensation agrégée ne lui convient pas. Le modèle fechnérien de psychophysique quantitative, différentielle, et fondamentalement additive ne le satisfait pas [Swoboda 1988, 400-401].

Un autre élément important, plus ancien mais rémanent, du contexte intellectuel dans lequel se déroulent les débuts scientifiques de Mach est constitué par la psychologie de Johann Friedrich Herbart, qui trouve à l'époque à Vienne des propagandistes vigoureux [Swoboda 1988, 385-386]. Contre les interdits kantien, Herbart a posé le programme d'une mathématisation des phénomènes psychiques. Son ouvrage principal *Lehrbuch zur Psychologie* (1816) a connu plusieurs éditions au cours du XIXe siècle [Herbart 1887]. Mach commente d'autres œuvres ou mémoires de Herbart, *Psychologie als Wissenschaft, neu gegründet auf Erfahrung, Metaphysik und Mathematik* (1824-1825), et *Über die ursprüngliche Auffassung eines Zeitmaasses* (1839), mémoire dans lequel Herbart donne une estimation de l'unité de temps psychologique immédiatement perçue (ou perçue comme un ensemble), à partir de ses hypothèses sur la mécanique des représentations [Herbart 1851, 290]. Dans ses *Vorträge über Psychophysik*, Mach, convaincu de la légalité des phénomènes qu'ils soient physiques, psychiques, ou sociaux, discute les analogies mécaniques qu'utilise Herbart dans sa psychologie. Il discute aussi la statistique sociale de Quételet également discutée par Wundt à l'époque dans son ouvrage *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung* (1862) et qui semble donc beaucoup discutée [Wundt 1862]. Mais la pensée et la pratique expérimentales de Mach vont se développer dans des directions qui sont en réalité bien éloignées des modèles spéculatifs de la psychologie à la manière de Herbart ou de la psychophysique théorique à la manière de Fechner, ou encore du physicalisme à la manière de Helmholtz, extension-transposition de la physique mathématique au domaine physiologique, marquée tant par le souci de la précision des mesures que par celui de fondements rationnels.<sup>4</sup> Mach va innover, dans le domaine de la phy-

---

4. Sur la physiologie de Helmholtz, voir [Meulders 2001]. Sur la psychophysologie

siologie des sens, en instituant des expériences subtiles, en étudiant des problèmes non conventionnels, et en découvrant ainsi des phénomènes nouveaux, dont le phénomène des bandes de Mach pour les sensations visuelles, publié en 1865 [Mach 1865b, 303sq.].<sup>5</sup> Les physiologistes de la vision ont par la suite étudié cet important phénomène rétinien [Ratcliff 1965].<sup>6</sup>

### *Les Vorträge über Psychophysik (1863)*

Les conférences sur la psychophysique sont riches de réflexions que l'on retrouve ultérieurement dans les écrits de Mach. Leur objet est de promouvoir la psychophysique, mais aussi de présenter les orientations et les recherches dans des domaines plus larges, de la psychologie à la physiologie. C'est ainsi que Mach commente la psychologie mathématique de Herbart, sorte de mécanique de l'esprit comportant statique et dynamique des représentations, en la défendant avec pertinence contre les critiques, qui consistaient pour l'essentiel à faire remarquer que ce qui ne peut se mesurer, à savoir prétendument la sensation, ne peut être l'objet d'un calcul — ce qui est, remarque Mach, faux puisque, par exemple, la loi de la chute des corps peut être obtenue sans aucune mesure de la constante de la gravité [Mach 1863, 169]. Mach déclare ainsi que les recherches physiologiques de Fechner, Helmholtz, Wundt s'arrêtent où la psychologie de Herbart commence. Il déclare aussi que la psychophysique, qui mesure les sensations, ôte beaucoup de poids aux critiques à l'égard de Herbart [Mach 1863, 204].

Mach expose ensuite, d'une manière à la fois fondamentale et détaillée, les principes de base et certaines expériences de la psychophysique, tout comme il l'a fait pour les fondements de la psychologie de Herbart. Au cours cet exposé, Mach présente d'intéressants aperçus sur les relations entre le temps physique et le temps psychophysiologique : est-ce que l'un et l'autre peuvent s'éclairer mutuellement ? Une première remarque dans ce sens est faite par Mach à propos du problème de la mesure. On peut mesurer le stimulus, qui est une quantité physique. Comment mesurer la sensation ? Les mêmes difficultés, remarque Mach [Mach 1863, 226], ont été surmontées dans la physique, et par exemple dans la mesure du temps. Nous ne mesurons pas le temps par l'application d'un étalon temporel de même espèce, mais par les oscillations du

---

du temps chez Helmholtz, voir [Debru 2001].

5. Cf aussi [Swoboda 1988, 399n].

6. Nous avons bénéficié à Strasbourg d'une démonstration du phénomène par Charles Marx auquel je souhaite rendre ici hommage.

pendule, par des mouvements qui se produisent dans le temps, dépendent du temps. Cette remarque est le noyau de développements ultérieurs de Mach sur la nature du temps, conçu comme irréprésentable par lui-même, mais représentable et mesurable par des phénomènes qui dépendent de lui [Mach 1863, 225]. Il en va de même de la sensation. Pour la mesurer, il convient d'abord de déterminer une chose qui lui soit exactement corrélée : cette chose est l'excitation. Est-il possible de trouver la relation entre excitation et sensation sans les mesurer l'une et l'autre ? Mais pour mesurer la sensation, il est nécessaire de connaître sa relation à l'excitation. Le chercheur se trouve donc dans un cercle, cercle dénoué par l'invention de la méthode des différences juste perceptibles, invention de base de la psychophysique qui consiste à faire croître l'excitation jusqu'à ce que la sensation soit ressentie comme modifiée. « Fechner est d'abord parvenu à la pensée géniale d'utiliser cette circonstance pour établir la corrélation réglée entre stimulus et sensation, sans se laisser préalablement conduire par des hypothèses sur les processus qui pourraient se trouver entre le stimulus et la sensation » [Mach 1863, 226]. Notons que cette discussion porte aussi bien sur la sensation que sur le temps. L'analogie déjà esquissée par le jeune Mach entre les deux problèmes de mesure va nous occuper. Comme la sensation, le temps échapperait à toute prise directe. Il ne pourrait être saisi (et en ce sens, mesuré) que par des phénomènes qui dépendent de lui.

Excitation et sensation sont pourtant des grandeurs différentes [Mach 1863, 267]. Aux yeux de Mach, cette situation n'est pas plus étonnante que celle de la physique où l'on mesure l'espace et le temps par une mesure différente. Différentes sensations ont différentes mesures. La psychophysique est moins avancée que la physique, qui repose sur trois grandeurs, la masse, le temps et l'espace. Mach cherche tout autant à tester la validité des formules psychophysiques (qui, comme Fechner l'avait lui-même constaté, ne sont valides qu'à l'intérieur de certaines limites des valeurs du stimulus) qu'à examiner les idées de base de la psychophysique. L'exactitude de la loi de Weber-Fechner, et cela même pour les grandeurs intermédiaires du stimulus, est mise en question. Mach rapporte les résultats de plusieurs expérimentateurs (Helmholtz, Volkman, Drobisch, Weber et Fechner eux-mêmes) concernant différentes modalités sensorielles, de la perception de l'intensité lumineuse à celle de la température. Dans les *Vorträge über Psychophysik* se trouve une discussion préliminaire sur la question de savoir si la loi de Weber ne s'applique pas seulement aux sensations d'intensité des sens particuliers, mais aussi à des sens « généraux » comme l'espace et le temps. Cette question intéresse particulièrement Mach, qui discute les recherches de Fechner,



Volkman et Appel sur l'espace. Mach considère l'espace comme une sensation complexe et cherche à établir si cette sensation obéit à la loi de Weber-Fechner. Il remarque que la loi de proportionnalité de l'erreur à la distance n'est plus valable pour les petites distances, propose d'admettre que l'erreur d'appréciation est donc composée d'une partie constante et d'une partie proportionnelle à la distance, et discute de cette hypothèse en relation avec les propriétés des éléments sensibles de la rétine, déplaçant donc la discussion sur le terrain de la physiologie [Mach 1863, 260].

Les sensations liées à l'espace montrent assez clairement le rôle de processus physiologiques dans leur genèse. Elles font intervenir des mouvements des yeux, nécessaires pour dessiner des contours ; des tensions et sensations musculaires, qui interviennent dans la différenciation de lignes dans l'espace — toutes choses sur lesquelles Mach a expérimenté en utilisant la formule de Weber-Fechner [Mach 1863, 295]. Mach admet que le sens musculaire, dont l'existence est défendue par Wundt, joue un rôle dans la perception de l'espace [Mach 1863, 353]. Les processus physiologiques qui interviennent dans la transformation psychophysique peuvent être identifiés. Dans le cas des ondes sonores, Fechner comme Helmholtz ont montré le rôle des fibres de Corti [Mach 1863, 316]. Reprenant Helmholtz aussi bien que Fechner, Mach commente ici l'analogie et la différence entre spectre sonore et spectre visuel. Seules trois couleurs fondamentales, le rouge, le vert et le violet, sont reçues par des terminaisons nerveuses spécifiques au niveau de la rétine, l'œil recréant les différentes couleurs par des pondérations différentes de l'excitation des trois types de récepteurs aux couleurs. « L'œil complique l'objectivement simple, l'oreille analyse l'objectivement complexe » [Mach 1863, 318]. L'oreille, en effet, analyse la superposition d'ondes sonores de fréquences multiples, par exemple dans le timbre. Concernant le sens du temps, il est important de remarquer que la question ouverte par Mach, celle des processus centraux qui élaborent la sensation de temps, n'est toujours pas résolue.

Mach critique l'idée de Helmholtz selon lequel la transmission nerveuse est semblable à celle qui se produit dans un fil télégraphique : le nerf délivrerait des signaux correspondant aux différentes sensations [Mach 1863, 336]. « Les recherches électriques sur les nerfs sont certainement d'espèce très fine. Mais d'un certain point de vue elles sont également très grossières. Un courant électrique d'une intensité donnée ne nous dit rien, que le fait qu'une quantité déterminée de force vive traverse la section du courant dans l'unité de temps. Quels sont les processus et mouvements moléculaires qui transportent cette force vive, nous ne

le savons pas. Les processus les plus différents peuvent causer la même intensité de courant » [Mach 1863, 336]. A la fin de *L'Analyse des Sensations*, bien des années plus tard, Mach cite son opinion des *Vorträge*, et ajoute : « Cette idée ne m'a pas quitté aujourd'hui encore » [Mach 1996, 322].

Mach, dans les *Vorträge*, procède donc à un examen critique, non dénué de valeur, des théories existantes. Il s'interroge, entre autres, sur l'idée selon laquelle la perception serait la somme de sensations élémentaires, et mentionne à cette égard la conception de Helmholtz et de Wundt selon laquelle, entre sensation élémentaire et perception, s'intercale « une série de processus psychologiques qu'il (Wundt) nomme inférences inconscientes » [Mach 1863, 336]. Ces inférences inconscientes, processus psychiques fondés sur des données physiologiques (par exemple, pour la détermination des distances dans la vision, sur l'accommodation et la convergence des yeux) jouent un rôle déterminant dans la perception stéréoscopique, selon les recherches de Wundt. Des recherches psychophysiologiques de ce type permettent de mettre en question le caractère a priori reconnu par Kant à l'espace et au temps, même si la théorie kantienne a le mérite de rendre compte de la certitude avec laquelle sont émis les jugements sur les caractères spatiotemporels de l'expérience [Mach 1863, 337]. Mach a quelques commentaires aussi sévères que ceux de Herbart touchant le kantisme. Il s'attaque à la doctrine kantienne du caractère a priori des représentations de l'espace et du temps comme formes de l'intuition. Il y a là, dans sa critique, vraisemblablement l'une des sources de ce qui sera plus tard désigné (et critiqué) comme le « psychologisme » (au moins *sensu lato*). Certes, admet-il, le point de vue kantien présente de grands avantages, lorsque l'on sait avec quel degré de certitude les idées sur l'espace et le temps sont formées. Pourtant, souligne-t-il, tous les sens ne présentent pas leurs perceptions correspondantes à l'intérieur d'un patron, ou d'un modèle spatial : « La question se pose donc d'elle-même, de savoir si l'on peut considérer comme une disposition innée de la psychè ce qui ne vaut que pour certains sens ; là-dessus se présente en outre la question de savoir s'il n'est pas juste de considérer qu'un arrangement spatial déterminé des organes des sens n'est pas nécessaire pour une sensation spatiale » [Mach 1863, 337]. C'est donc à une genèse physiologique des sens, concernant aussi bien d'ailleurs le temps que l'espace, que Mach appelle, dans le contexte de la discussion de la critique de Kant par Herbart.

C'est d'une manière toute naturelle que Mach en vient au problème du temps, qui lui paraît négligé par les psychophysiciens et sur lequel il n'a trouvé qu'un travail très préliminaire de Czermak. Mach déclare avoir

commencé à expérimenter sur le problème à partir des vacances d'automne 1860, investigations préliminaires qui paraissaient indiquer que la loi de Weber s'appliquait au sens du temps. Dans les *Vorträge über Psychophysik*, Mach constate que pour les sensations de temps (*Zeitsinn*), très peu de choses ont été faites, et mentionne seulement le travail préliminaire de Czermak. Il explique qu'il a entrepris, dès l'automne 1860, des expériences de psychophysique sur ce sens temporel, en vue d'établir si ce sens suit la loi de Weber. Il a procédé de la manière suivante : « Deux pendules de longueur variable sont installés de telle manière que je ne pouvais les voir que l'un après l'autre. Aux deux est donnée la même longueur, et en conséquence la même durée d'oscillation. Puis la longueur d'un pendule est modifiée continuellement, jusqu'à ce que je puisse percevoir une différence dans la durée d'oscillation. Il devenait alors apparent que la différence juste perceptible de la durée d'oscillation était proportionnelle à cette durée » [Mach 1863, 261]. Il vérifie ainsi la formule de proportionnalité de la différence juste perceptible à la quantité initiale. Dans sa présentation de la psychophysique, Mach s'intéresse donc aux relations entre le temps physique et le temps ressenti (*empfunden*), et par là aux processus qui interviennent dans la sensation.

La discussion critique des théories sur la perception spatiale, et particulièrement celle de Weber qui repose sur l'idée que les relations topologiques entre terminaisons nerveuses périphériques sont conservées entre extrémités centrales dans le cerveau (ce qui correspond à l'idée moderne de rétinotopie, et qui a l'inconvénient aux yeux de Mach de ne faire que repousser l'explication) donne lieu à d'intéressantes questions. Le phénomène de séparation et sensibilité spécifique des terminaisons nerveuses dans le cadre d'une seule modalité sensorielle (par exemple l'audition) ne donne pourtant pas lieu à une perception spatiale, remarque Mach. Mais cette remarque même conduit Mach à poser un question nouvelle, non conventionnelle, en envisageant précisément la possibilité d'une perception spatiale à l'intérieur de l'audition, qui donnera lieu de sa part à des recherches particulières et très innovantes, sur lesquelles nous aurons à revenir [Mach 1863, 338].

Ni l'hypothèse anatomique de Weber, ni l'hypothèse psychologique (l'inférence inconsciente de Wundt-Helmholtz) n'étant suffisantes pour expliquer la perception, Mach se tourne vers l'examen des conceptions de Lotze, exposées dans sa *Medicinische Psychologie* en 1852 [Lotze 1852]. La conception métaphysique de l'âme comme processus intensif, sur laquelle s'appuie Lotze, exclut que l'âme puisse par elle-même percevoir des qualités extensives. La théorie du « signe local », sorte d'étiquetage qui accompagne le message nerveux en indiquant une propriété

spatiale du stimulus, est la solution imaginée par Lotze, qui, dans sa *Métaphysique* (1884) fera également appel au même procédé concernant les sensations (extensives par nature) de temps accompagnant la perception. Cette théorie du « signe temporel » est en effet destinée à rendre compréhensible le fait que le changement des représentations dans l'âme doit s'accompagner d'une représentation de ce changement dans ses coordonnées temporelles. Lotze, dans sa liberté spéculative métaphysique, présente ainsi son argumentation. Supposons un univers intemporel. Le développement de ce qui est en soi intemporel en temporel ne peut se produire en nous sans un cours temporel réel, l'apparence de la succession ne peut se produire sans une succession des représentations dans la conscience. « Mais aussi persuasives que soient ces affirmations, aussi peu contiennent-elles l'entière vérité. . . Si la représentation du b postérieur ne suivait en réalité que celle du a antérieur, alors certes il y aurait un changement des représentations, mais encore aucune représentation de ce changement ; un cours temporel serait là, mais encore pour personne une apparence de ce cours. Afin qu'ait lieu la comparaison par laquelle b est connu comme le postérieur, il est cependant encore nécessaire que les deux représentations de a et b soient les objets entièrement simultanés d'un savoir qui les relie, qui les comprenne d'une manière entièrement indivisible dans un acte unique indivisible » [Lotze 1884, 294]. Un tel acte ne peut être qu'intemporel. Lotze poursuit : « dans ce moment, dans lequel a n'est plus l'antérieur et b le postérieur, a apparaît pour la connaissance comme l'antérieur et b comme le postérieur ; mais pour indiquer aux deux ces places déterminées, l'âme peut seulement, maintenant, être conduite par des différences qualitatives quelconques de son contenu, par des signes temporels, pour ainsi dire, correspondant aux signes locaux, selon lesquels la représentation non spatiale déploie ses impressions dans une juxtaposition spatiale » [Lotze 1884, 295]. Il est nécessaire d'indiquer cette théorie du signe temporel, bien qu'elle ne soit pas mentionnée par Mach en 1863, car elle est l'extension vraisemblablement plus tardive de la théorie du signe local examinée par Mach. Mach considère que les conceptions de Wundt sur la perception spatiale, qui font appel au sens musculaire, aux mouvements des yeux, aux phénomènes d'accommodation et de convergence dans la construction de l'image perceptive, sont un développement de la théorie du signe local de Lotze. Il met en relation ces conceptions avec la clinique — par exemple les conséquences perceptivo-motrices de la paralysie de certains muscles oculomoteurs [Mach 1863, 354].

Les conclusions des *Vorträge über Psychophysik* portent sur la question des relations entre le cerveau et la pensée, ainsi que sur la question

des atomes. Mach discute en particulier les idées exposées par Fechner en conclusion de ses *Eléments de psychophysique*. Sorte, selon les termes de Mach, de percussion et d'auscultation des atomes, l'analyse spectrale de gaz à hautes températures fournit des informations sur les oscillations d'atomes qui émettent la lumière. La physique conduit à la conclusion qu'un nombre limité d'êtres et de forces est à la source des phénomènes. Cette considération amène Mach à une considération d'une très grande profondeur. Comment penser ces atomes ? Sont-ils colorés, lumineux, sonores, durs ? Ces propriétés sont des propriétés d'ensembles d'atomes, non d'atomes individuels. Nous n'avons pas le droit de considérer que les atomes sont étendus dans l'espace. On pourrait dénoncer cette erreur de Mach que cela ne change rien à la considération qui va suivre : « l'espace n'est rien d'originnaire et est très vraisemblablement le résultat d'une interaction indirecte d'une pluralité d'êtres » [Mach 1863, 364]. Qu'en est-il du temps ? Mach aura bientôt, là dessus, des remarques très fortes. Mais, présentant Fechner, il incline vers la théorie du panpsychisme (l'atome étant doté de propriétés d'intériorité analogues à notre vie psychique). Il est manifeste qu'en 1863 Mach est encore pénétré des idées de Fechner. De ces exposés, Mach tire deux conclusions : en premier lieu, que la physique, la physiologie et la psychologie sont dans une relation réciproque telle que chacune de ces sciences bénéficie des deux autres et bénéficie aux deux autres (ce qui vient d'être dit sur le panpsychisme en est une illustration) ; en second lieu, que l'on ne doit pas renoncer à l'exactitude même lorsque l'on sort du domaine du palpable [Mach 1863, 365].

Les *Vorträge* comportent un addendum, où Mach discute les réponses de Wundt au sujet de la nature du processus psychique, réponses exposées dans les *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung* en 1862. Selon Wundt le processus psychique est vraisemblablement unique dans les actes perceptifs les plus divers. Mach présente les critiques (parfois infondées, pour lui) [Mach 1863, 365]<sup>7</sup> de Wundt à l'égard de Herbart, et discute la thèse de Wundt selon laquelle une seule représentation peut exister simultanément dans la conscience. Cette thèse est opposée à celle de Herbart, pour qui le nombre des représentations présentes à la conscience ne peut jamais être inférieur à deux, idée qui suscite l'ire de Wundt, pour lequel il est tout aussi impossible d'expérimenter sur deux représentations que sur deux atomes. Mach, derechef, reproche à Wundt de confondre sensation et représentation (notons pourtant que dans les considérations initiales et surtout finales des *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung*, Wundt se livre à des distinctions qui portent pré-

---

7. Mach reproche à Wundt d'avoir confondu intensité et clarté dans sa présentation de Herbart.

cisément sur ces points, et qui ne sont nullement étrangères à ses longs développements sur l'inconscient dans la perception ainsi que sur l'aspect logique de ces inférences inconscientes) [Mach 1863, 365].<sup>8</sup> A ce point, Mach discute et réinterprète une expérience de Wundt, expérience exposée dans l'Introduction des *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung*.

Discutant de la méthode expérimentale en psychologie, Wundt y introduit l'exemple de l'équation personnelle des astronomes, qui ne peut, s'expliquer selon lui que par l'admission d'une mesure temporelle définie caractérisant le processus de représentation et de pensée. « J'ai récemment cherché à établir plus précisément par l'expérience cette mesure temporelle », écrit Wundt, qui souhaite mesurer la vitesse du processus de représentation. Un pendule oscille devant un arc de cercle divisé en segments, qui sert d'échelle. En un lieu déterminé de son parcours, le pendule frappe un levier. Ce dispositif permet de comparer le lieu auquel se trouve le pendule lorsqu'il produit un son en frappant le levier, au lieu auquel il se trouve lorsque le son est entendu. Il existe entre les deux une différence constante, appréciée sur l'échelle. A partir de cette différence et de la durée d'oscillation du pendule, un calcul simple permet de déterminer le temps qui s'est produit entre la « représentation » auditive et la « représentation » visuelle (différence d'1/8 de seconde). Autre résultat important permettant d'introduire le thème des erreurs temporelles, tantôt l'observateur perçoit le décalage dans un sens (le son est entendu à un moment où le pendule a déjà quitté l'endroit où se trouve le levier qu'il a frappé), tantôt il le perçoit dans le sens inverse, selon Wundt, qui ajoute : « Je crois pouvoir nommer cette investigation sur la vitesse de la représentation comme purement psychologique » [Wundt 1862, XXVII-XXVIII ].

Mach critique l'intention qu'il attribue à l'institution de cette expérience, qui serait destinée à montrer l'unicité des sensations dans la conscience [Mach 1863, 366]. De cette expérience, selon Mach, on ne peut pas inférer comme Wundt qu'une seule impression sensible peut parvenir simultanément à la conscience, mais on doit simplement conclure que des sensations disparates ont besoin de temps différents pour parvenir à la conscience. En outre, la thèse de Wundt aurait l'inconvénient de faire de la conscience une mosaïque de représentations et non le support d'une pensée fondée sur la relation cohérente (*Zusammenhang*). Mach ajoute,

---

8. Voir [Wundt 1862,445-451], Wundt a des commentaires sévères sur la psychologie mathématique de Herbart, même s'il lui reconnaît le mérite d'avoir été la première à saisir la vie psychique comme un tout à étudier d'une manière systématique. Cependant, à ses yeux, elle est contredite par l'expérience [Wundt 1862, XXI].

d'une manière très critique, que « Wundt a anéanti avec un brillant succès les représentations et propositions fausses qu'il a transportées lui-même dans la psychologie de Herbart », théorie que l'on ne peut que considérer comme une « très respectable théorie de science naturelle, qui ramène les phénomènes psychiques à un petit nombre de principes » [Mach 1863, 366]. Notons ici surtout que l'intensité des discussions théoriques qui entourent la psychophysique et la psychophysiologie dans l'espace germanique à cette époque est réellement impressionnante.

Au moment où il donne ses conférences sur la psychophysique, Mach s'intéresse particulièrement à l'acoustique physiologique, et c'est bien l'audition qui formera la matière de son étude sur le sens du temps. Entre 1863 et 1865 il ne publie pas moins de sept articles ou mémoires sur l'acoustique physiologique, alors que le traité de Helmholtz *Über die Tonempfindungen* est publié en 1863 et que Mach lui-même en donne une version popularisée pour les musiciens en 1866 — alors aussi que Wilhelm Wundt publie en 1862 ses *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung*, que nous avons déjà mentionnés. Entreprises en 1860, les recherches de Mach sur le sens temporel aboutiront, en 1865, à la publication dans les Comptes rendus de l'Académie impériale de Vienne en 1865 d'un article sur le *Zeitsinn des Ohres*, le sens du temps de l'ouïe, travail qui constitue un remarquable exemple de traitement d'un problème psychophysique et d'expérimentation sur les sensations subjectives. Ce travail contient en outre des développements qui vont bien au-delà de la psychophysique en direction de la physique elle-même. En effet l'une des ambitions premières de Mach est celle d'une analyse et d'une critique de la connaissance.

## Publications sur le sens du temps antérieures et postérieures à celle de Mach

Mach est donc l'un des tout premiers (mais pas le tout premier) à se saisir de la question de savoir si la loi psychophysique de Weber et Fechner s'applique à la perception du temps. Lorsqu'il publie ses résultats en 1865, il est pourtant précédé d'au moins deux chercheurs, Johann Czermak et Adolph Höring. Czermak, alors Professeur de physiologie à Cracovie, publie un mémoire sur le sujet dans les Comptes rendus de l'Académie de Vienne en 1857. C'est selon toute apparence Czermak qui le premier parle d'un sens du temps, *Zeitsinn*, qu'il définit comme le pendant du sens de l'espace, *Raumsinn*, sens spécial défini par Weber en 1852 au cours de ses célèbres découvertes sur la sensibilité différentielle à la distance dans les différentes parties de la surface du corps. Pour Weber, le sens de l'espace est un sens indépendant et général qui

vient s'ajouter aux cinq sens. Il en va de même, aux yeux de Czermak, du *Zeitsinn*, sens encore plus général que celui de l'espace car il accompagne toutes les autres sensations quelles qu'elles soient. A la suite des travaux de Weber, Czermak souhaitait effectuer le même genre d'investigation physiologique appliquée au temps, et même à la vitesse, dont il veut soumettre l'appréhension perceptive à la recherche physiologique. Il définit son sujet, non pas comme l'explication métaphysique ou psychologique de la faculté de se former des représentations de temps, mais comme l'étude des conditions physiologiques des perceptions des rapports temporels objectifs [Czermak 1857, 232].

Czermak élabore réellement le programme de cette physiologie en le calquant sur les recherches de Weber sur l'espace : il s'agit de déterminer le plus petit intervalle temporel perceptible, et cela pour chacun des différents sens, mais aussi de déterminer si le même intervalle temporel objectif est évalué de la même manière par les différents sens. Il s'agit enfin, ce qui n'est pas le moins étonnant — et l'on éprouve quelque plaisir en le découvrant — d'appliquer à une physiologie de la vitesse les concepts précédents, puisque la perception tant de l'espace que du temps est elle-même variable [Czermak 1857, 234]. Cette physiologie de la vitesse intéressera également Mach. Le second prédécesseur de Mach est Adolf Höring, un élève du physiologiste Karl Vierordt, qui publie en 1864 à Tübingen sa dissertation inaugurale *Versuche über das Unterscheidungsvermögen des Hörsinnes für die Zeitgrößen* [Höring 1864]. Il utilise un métronome, est lui-même le sujet des expériences, qui sont effectuées par son maître Vierordt (1885 coups de métronome dont les intervalles variaient entre 0.306 et 1.428 secondes). Höring montre que les intervalles de temps ne sont pas estimés avec la même fidélité selon qu'ils sont plus courts (ils sont surestimés) ou plus longs (ils sont sous-estimés) [Fraise 1967, 124].

Mach qui a été précédé va être suivi. En 1866, Wilhelm Camerer publie à Tübingen une autre dissertation inaugurale, qui porte sur le déroulement temporel du mouvement volontaire, *Versuche über den zeitlichen Verlauf der Willensbewegung* [Camerer 1866].s Karl Vierordt publie en 1868 à Tübingen son ouvrage *Der Zeitsinn nach Versuchen*. dans lequel il donne des estimations, et conclut que les intervalles courts sont subjectivement augmentés et les intervalles longs subjectivement diminués quelle que soit la longueur de ces intervalles. La loi de Weber n'est donc pas valide [Vierordt 1890, 506]. William James, bon connaisseur et juge des travaux de la psychophysiologie allemande, compare les résultats d'un certain nombre d'autres expérimentateurs, Wundt et ses élèves Kollert, Estel et Mehner avec ceux de Mach et d'autres dans le chapitre sur la



perception du temps de ses *Principles of Psychology* [James 1981, 581].<sup>9</sup> Avec sa finesse et sa profondeur de jugement habituelles, James tirait de l'examen de tous ces résultats y compris ceux de Mach la conclusion que notre sens du temps est marqué d'une sorte de périodicité intrinsèque par delà les différences individuelles, ainsi que d'une loi de contraste qui tend à augmenter les différences entre des intervalles dans la situation particulière où ces intervalles sont pris comme successifs [James 1981, 582]

## Recherches propres de Mach sur le sens du temps

Dès 1860, Mach cherchait à éprouver la validité de la loi de Weber (ainsi dénommée par Fechner) pour la perception du temps [Mach 1865a, 133]. Les premiers résultats avec un pendule de longueur variable donnaient à penser que la loi était valide, que cependant des oscillations se présentaient, et qu'au minimum les résultats ne contredisaient pas l'hypothèse de proportionnalité entre la variation perçue et la variation objective postulée par Weber et Fechner. Ces résultats préliminaires furent communiqués par lettre à Fechner en décembre 1860, mais il paraissait indispensable d'avoir de nouveaux résultats avec une méthode plus sûre. Mach s'y employa en utilisant d'abord des métronomes, ce qui avait l'inconvénient de la mauvaise qualité et de l'irrégularité de ces instruments, mais qui donna des résultats concordants pour quatre sujets différents d'expérience, y compris Mach lui-même. Ces résultats tendaient à montrer que le quotient de la plus petite différence juste perceptible pour un intervalle donné sur la longueur de cet intervalle temporel n'était pas constant et ne se laissait donc pas décrire par une formule logarithmique de type Weber–Fechner. La procédure du plus petit intervalle juste perceptible consiste à prendre un intervalle de temps donné  $t$ , et à l'augmenter insensiblement d'une longueur  $dt$  jusqu'à ce que cette différence devienne perceptible. Mach observe que le quotient  $dt/t$  n'est pas constant mais varie avec  $t$ . Mach est allé plus loin, insatisfait qu'il était de la médiocre qualité de son instrumentation. Il a donc construit une sorte de « pendule acoustique » (association d'un déplacement et de l'émission d'un son, perfectionnement du dispositif de Wundt à d'autres fins) qui lui permet à la fois de mieux contrôler les intervalles et d'en alterner la longueur, ce qui enrichit beaucoup l'expérience. Pour des temps très courts, il a construit une roue dentée. Pour les temps plus longs, il s'est servi d'une montre.

---

9. Voir aussi [Fraisie 1967, 125].

Les différentes séries d'expériences rapportées en 1865 indiquent dans l'ensemble une variation du quotient  $dt/t$  avec la croissance de l'intervalle  $t$ . Elles indiquent une croissance pour les intervalles intermédiaires, croissance certes plus faible que dans les expériences précédentes mais significative. Elles indiquent une décroissance de la sensibilité différentielle  $dt$  avec les intervalles plus petits, jusqu'à une disparition de la perception de l'intervalle  $t$ . Pour les intervalles plus longs, avec la méthode de la montre, la fidélité de l'estimation décroît aussi avec la longueur. Il y a donc un optimum de la sensibilité différentielle qui se trouve aux intervalles intermédiaires. La sensibilité n'est donc pas une fonction linéaire. Elle est aplatie aux deux extrémités. On sait aujourd'hui qu'elle a une allure grossièrement sigmoïdale. En comparant la perception des intervalles temporels pour les différents sens de la vision, du toucher et de l'ouïe dans le cas des petits intervalles, Mach constate en outre que le plus petit intervalle temporel perceptible est bien celui qui est saisi par l'ouïe.

Enfin, Mach se place dans une nouvelle situation expérimentale, qui est d'étudier la perception d'une mélodie dont le rythme de base est identique, mais dont les notes sont inversées. Mach fait varier les intervalles en conservant la proportion du rythme. Il observe là encore une beaucoup plus grande constance du quotient  $dt/t$  pour les intervalles intermédiaires, ce quotient étant de l'ordre de 5 à 6 % autour de 0,4 à 0,5 seconde [Mach 1865a, 144]. Paul Fraisse a souligné la concordance d'ensemble de ces résultats avec d'autres résultats obtenus plus tard, ainsi que la variabilité de cette sensibilité différentielle selon les circonstances et l'entraînement du sujet [Fraisse 1967, 147-148]. De ces recherches, Mach conclut que la sensibilité différentielle au temps montrée par l'oreille est beaucoup plus forte que pour n'importe quel autre sens ; qu'elle montre des oscillations dans le jugement ; qu'elle atteint un maximum de 5 % pour des valeurs de 0,3 à 0,4 seconde, mais que cette sensibilité diminue rapidement avec la diminution ou l'augmentation des intervalles temporels ; et que le seuil absolu dans son cas personnel pour la perception des intervalles temporels par l'oreille est de 16 millisecondes.

## Critiques sur les travaux de Mach, réponses de Fehner

L'ensemble des travaux existants sur la psychologie du temps a été recensé en 1890, non seulement par William James, mais aussi par Herbert Nichols dans l'*American Journal of Psychology*. Le critique américain était d'une grande dureté. Il déclarait qu'aucun métronome n'était

suffisamment précis pour les mesures effectuées. Il soulignait d'autres défauts, dont les moindres n'étaient pas le nombre insuffisant d'essais par intervalle et l'unicité du sujet de l'expérience dans un domaine où les variations interindividuelles dans des sens opposés sont observées [Nichols 1890, 504]. Il écrivait : « Tourner une roue, et battre avec un marteau à la main ne peut donner de résultats précis. Le nombre d'essais n'est pas déclaré, et des estimations ne sont données que pour un petit nombre des intervalles testés. L'article est trop indéfini pour justifier ses résultats. Le seuil trouvé est beaucoup plus élevé que ne l'ont établi des expériences ultérieures » [Nichols 1890, 505].<sup>10</sup> La critique la plus importante ne concerne pourtant que la méthode utilisée par Mach pour les intervalles les plus longs. Quelles que soient les critiques, Mach avait bien montré que la loi de Weber n'est qu'une approximation des phénomènes auditifs. Il avait aussi définitivement démontré que l'audition possède la capacité de discrimination temporelle la plus forte de tous les sens. On démontrera plus tard que cette capacité de discrimination temporelle, lorsqu'elle joue entre les deux oreilles, est utilisée par le cerveau pour identifier des localisations dans l'espace. La portée du travail de Mach est donc bien établie. Mach a complété son travail sur le sens temporel de l'ouïe par un autre travail plus bref, également publié en 1865 [Mach 1865c] sur le sens spatial de l'ouïe qui me semble, compte tenu de ce qui vient d'être dit sur les localisations dans l'espace, tout aussi prophétique. Il existe, dit-il dans ce travail, une sorte de perspective aérienne, *eine Art Luftperspective*, pour l'oreille [Mach 1865c, 332]. Le cerveau est capable d'interpréter des légères différences temporelles de signaux sonores en termes spatiaux.

Fechner a répondu à ses critiques, parmi lesquels Mach, dans son ouvrage *In Sachen der Psychophysik* publié à Leipzig en 1877. Mach est l'un des auteurs les plus cités dans cet ouvrage, l'auteur de loin le plus cité étant Hering. Mach est cité au même degré que Helmholtz, Brentano et Bernstein, un peu moins que Delbœuf et Langer. Fechner souhaite défendre sa loi de proportionnalité entre l'intensité de la sensation et l'énergie du stimulus. Il présente d'abord les *Vorträge über Psychophysik* de Mach, remarque que déjà Mach soulevait des réserves sur la validité de la formule psychophysique dans la psychophysique interne, ainsi que des réserves sur la validité de la loi de Weber pour les sensations extensives de temps (ce qui est sans doute cohérent avec les réserves sur

---

10. "Turning a wheel, and beating with a hammer by the hand, cannot give accurate results. The number of trials is not stated, and figures are given for but a few of the intervals tested. The paper is too indefinite to justify its results. The threshold found is far higher than subsequent experiments have established".

la psychophysique interne) [Fechner 1877, 19]. Fechner défend la loi au nom du principe de proportionnalité de l'effet à la cause [Fechner 1877, 65-66]. Lorsqu'il discute réellement le travail de Mach sur le *Zeitsinn*, il en compare les résultats avec le travail ultérieur de Vierordt publié en 1868 et celui de Höring publié en 1866, il en constate l'accord d'ensemble, mais il préfère mettre l'accent sur la conformité approximative à la loi de proportionnalité que l'on trouve pour les durées intermédiaires, et il souligne que l'écart par rapport à la proportionnalité, que l'on trouve par exemple pour les faibles durées, nécessite une explication particulière (stratégie classique d'immunisation par rapport aux exceptions). Fechner continue de défendre la loi psychophysique, peut-être parce qu'elle lui paraît au fond plus rationnelle, c'est-à-dire plus conforme au principe de causalité [Fechner 1877, 175-177].

## Mach, critique de Herbart

Dans son travail sur le sens temporel de l'ouïe, Mach ne se contente pas de présenter des résultats expérimentaux. Il quitte bientôt le domaine de l'expérience pour entrer dans la spéculation philosophique, domaine où il fait preuve d'une liberté d'imagination et d'une créativité remarquables. En prolongeant sa recherche physiologique en réflexion critique sur la physique, il propose en effet une conceptualisation hardie de la nature du temps. Il commence par retourner à Kant et à la critique de Kant par Herbart. Herbart soutenait, selon Mach, que « le décours temporel intérieur des représentations doit être distingué du décours temporel en lui-même. Le premier n'est pas donné immédiatement par le second. Il doit se produire une modification dans les représentations elles-mêmes par la consécution temporelle dans laquelle les représentations sont données, afin que nous apercevions le temps » [Mach 1865a, 145]. De fait, on trouve chez Herbart des formulations de ce type. Dans son ouvrage *Psychologie als Wissenschaft, neu gegründet auf Erfahrung, Metaphysik und Mathematik*, Herbart écrit (§ 110) : « l'événement psychologique réel de l'acte représentatif (*des Vorstellens*) spatial est quelque chose d'entièrement non spatial. On peut montrer facilement, que de même l'acte représentatif du temporel est quelque chose en quoi il ne se trouve rien du temps par là représenté. Mais des confusions en résultent facilement entre l'acte représentatif successif et l'acte de se représenter le successif » [Herbart 1850, 118]. L'idée assez commune que le décours temporel des représentations doit être distingué du décours temporel en lui-même a été reprise, admirablement reformulée et approfondie par William James (parmi beaucoup d'autres auteurs). Dans ses *Principles of Psychology*,

il écrit : « une succession de sensations, en elle-même et d'elle-même, n'est pas une sensation de succession » [James 1981, 591].<sup>11</sup> Le physique et le psychique ne sont donc pas parallèles, et il convient, pour James, de s'interroger sur les raisons et mécanismes de cette déviation. En outre, la formulation de Mach, reprenant Herbart, qui concerne la modification des représentations par leur consécution temporelle, nécessaire pour la perception du temps, n'est pas sans évoquer la solution de Lotze proposant l'idée du signe temporel.

Mach poursuit ainsi son commentaire de Herbart : « Supposons qu'une représentation toujours identique soit suscitée par une stimulation sensorielle dans la conscience à des intervalles identiques. Chaque nouvelle impression reproduirait alors les représentations qualitativement égales et déjà disparues. De l'espèce de cette loi de reproduction dépendrait l'aperception de la consécution temporelle » [Mach 1865a, 145-146]. Ici s'arrête l'accord de Mach avec Herbart. Pour Mach, la théorie de Herbart ne permet pas d'expliquer les phénomènes liés au rythme. En général, l'hypothèse sérielle (*die Annahme einfacher Reihen*) ne permet pas, pour Mach, d'expliquer la représentation des formes [Mach 1865a, 146]. Qu'en est-il, pour lui, de cette espèce particulière de forme temporelle qu'est le rythme ? Le rythme doit être indépendant de la tonalité. Il n'y a pas de doute, pour Mach, que l'on reconnaît le même rythme dans deux mélodies entièrement différentes. Mais si l'une de ces séries de représentations apparaît comme semblable à l'autre, ces séries doivent s'aider ou se favoriser mutuellement. Pour Mach, une telle aide ne peut se trouver dans la qualité particulière des sensations sonores, ce qui implique qu'il y ait, intriquée avec la sensation sonore, une autre sensation, qui est à la sonorité comme le contour à la peinture colorée, et qui est constituée par une série relativement indépendante de sensations de rythme [Mach 1865a, 147]. Il existe pour Mach une indépendance de la sensation de rythme, due peut-être, comme dans le cas de l'espace, à un phénomène d'accommodation de mécanismes attentionnels [Mach 1865a, 148]. Ici se greffent des considérations proprement physiologiques, parmi lesquelles Mach souligne l'existence vraisemblable d'échelles temporelles différentes selon les espèces animales, correspondant à des vitesses de mouvement très différentes [Mach 1865a, 149].

## Idées de Mach sur la nature du temps

C'est à ce point que Mach revient à la physique, et c'est ici qu'il semble le plus fort dans sa vision, exposée dans un court paragraphe ter-

---

11. « a succession of feelings, in and of itself, is not a feeling of succession ».

minal. « La physique cherche à représenter chaque phénomène comme une fonction du temps. Le mouvement du pendule sert de mesure du temps. La physique exprime ainsi tout phénomène proprement comme une fonction de la position du pendule. Que l'on remarque, que cela se produit aussi là où les forces peuvent être représentées comme fonctions de la distance, car le concept de la force (accélération) contient déjà le temps. Lorsque l'on réussit à présenter tout phénomène comme fonction du phénomène de mouvement du pendule, lorsqu'on réussit à le faire pour tous les phénomènes, physiques et psychiques, cela est seulement la preuve que tous les phénomènes sont dans une telle corrélation les uns avec les autres que chacun peut être représenté comme une fonction de tous les autres. Le temps est ainsi physiquement parlant la représentabilité (*Darstellbarkeit*) de chaque phénomène comme fonction de tout autre. De cette manière, par conséquent, le temps se laissera également réduire, d'un point de vue psychologique, au fait que des représentations déterminées (par exemple des sensations de son) apparaissent liées à certaines autres (par exemple des sensations d'accommodation), d'une telle manière qu'elles peuvent être considérées pour ainsi dire comme des fonctions de celles-ci » [Mach 1865a, 150]. Cette notion de dépendance fonctionnelle réciproque est l'une de choses que Mach a sans doute le plus constamment poursuivies, et dont Einstein lui-même l'a crédité. Cette intimité de la dépendance fonctionnelle réciproque implique finalement qu'il n'y ait pas, dans la description des phénomènes, de variable indépendante qui se définisse elle-même d'une manière absolue. Après cette analyse de Mach, le temps peut-il être encore considéré comme une variable indépendante, galiléenne, dans les équations de la mécanique ? Cette question semble véritablement se poser ici. Que cette question apparaisse dans un travail de jeunesse et dans le contexte d'une discussion sur le temps impliquant la psychologie, la physiologie et la physique est un fait extrêmement significatif.

Tentons d'aller plus loin dans le commentaire de ce texte singulier. Mach effectue deux démarches parallèles, en s'interrogeant sur les concepts fondamentaux tant de la physiologie que de la physique. Ces deux démarches font en quelque sorte écho l'une à l'autre, et cela dès le début. Mais que signifie que le temps constitue la représentabilité réciproque des phénomènes physiques ? Cette idée ne peut constituer un retour à la forme kantienne d'idéalisme, car la fonction de représentabilité attribuée au temps en fait moins une représentation qu'un intermédiaire, un être mathématique, en quelque sorte une entité opérationnelle qui, en mettant en relation les phénomènes physiques, permet de résoudre en principe le problème de départ, celui de la mesure (problème dont

on a vu l'importance dans les *Vorträge*). Que signifie donc que la physique, lorsqu'elle réussit dans sa démarche, exprime ou représente les phénomènes qu'elle étudie comme fonction de la position du pendule ? Cela revient-il à dire que le temps n'est que la forme, dans la représentation scientifique, de la corrélation fonctionnelle entre des phénomènes ? Qu'il est ce qui rend représentable cette corrélation ? Il est important de chercher à préciser ce que cela signifie. Pour ce faire, on trouve quelque secours dans l'histoire de la philosophie. Au chapitre XIV des *Nouveaux Essais sur l'Entendement*, Leibniz remarque qu'on mesure le temps par des changements uniformes. Il ajoute : « mais quand il n'y aurait rien d'uniforme dans la nature, le temps ne laisserait pas d'être déterminé. . . C'est que connaissant les règles des mouvements difformes, on peut toujours les rapporter à des mouvements uniformes intelligibles et prévoir par ce moyen ce qui arrivera par des différents mouvements joints ensemble. Et dans ce sens le temps est la mesure du mouvement, c'est-à-dire le mouvement uniforme est la mesure du mouvement difforme. . . Le pendule a rendu sensible et visible l'inégalité des jours d'un midi à l'autre » [Leibniz 1965,139].

Que le pendule ait rendu sensible et visible l'inégalité de durées habituellement tenues pour égales est un fait qui peut donner un sens opérationnel à la *Darstellbarkeit* de Mach. Que le temps soit la mesure du mouvement, qui est effectuée par le nombre de mouvements périodiques égaux, à savoir ceux du pendule (Leibniz), ou que le temps soit la représentabilité mutuelle des phénomènes via le mouvement du pendule qui sert de mesure du temps (Mach), ces formulations peuvent être rapprochées. Le vocabulaire a changé, de l'idéalité (Leibniz) à la représentabilité (Mach), devenant en quelque sorte moins métaphysique et plus opérationnel. Dans la conception de Mach le temps, qui perd sa réalité ontologique et, comme chez Leibniz, tout caractère d'absolu, ne serait-il plus rien d'autre que la relation fonctionnelle réglée entre les phénomènes — une sorte d'être mathématique, d'une nature seulement représentative, déréalisée ? Il est bien possible qu'ici, comme souvent en philosophie, les mots ne fassent défaut pour désigner quelque chose que Mach n'appréhende qu'indistinctement ou intuitivement, mais qu'il n'a peut-être pas encore, analytiquement, exposé et clarifié. Deux questions différentes sont peut-être mêlées ici, celle de l'indépendance d'une variable au sens mathématique du terme (telle la position du temps comme variable indépendante dans la conceptualisation galiléenne du mouvement), et celle du caractère absolu d'un référentiel dans la mécanique (selon l'hypothèse newtonienne). Les deux questions seront traitées, tant dans *La mécanique* que dans *L'analyse des sensations*. Auparavant, dans son ouvrage

sur les sensations de mouvement (*Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen*, 1875), Mach poursuit l'exploration des bases physiologiques de la perception des paramètres fondamentaux de la physique, traite de la physiologie de l'équilibre, du vertige, et prouve l'existence d'un organe particulier de l'équilibre et du mouvement dans l'oreille interne, les canaux semicirculaires [Mach 1875]. En examinant les conceptions du physiologiste belge Joseph Plateau, il montre que la sensation de mouvement se poursuit alors que l'accélération a cessé, mais aussi que la sensation de mouvement s'atténue alors que l'accélération reste constante [Mach 1875,64]. Cependant, cette physiologie de la perception du mouvement traite de problèmes distincts de la psychologie du temps.

## Les textes de La mécanique, la critique du temps absolu et le Principe de Mach

En 1883, Mach publie son ouvrage le plus important, *La mécanique exposée dans son développement historico-critique* (*Die Mechanik in Ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt*). Il reprend la discussion du mouvement du pendule et parvient à des formulations critiques. « Dire qu'une chose A se transforme avec le temps signifie simplement que les circonstances de cette chose A dépendent des circonstances d'une autre chose B. Les oscillations d'un pendule prennent place dans le temps dès que son écartement dépend de la position de la terre. Du fait que dans l'observation du pendule il n'est pas nécessaire de tenir compte de la dépendance de la position de la terre, mais que nous pouvons le comparer à toute autre chose (dont certes les circonstances dépendent à nouveau de la position de la terre), l'illusion que toutes ces choses sont essentielles se produit facilement. Assurément, en observant le pendule, nous pouvons faire abstraction de toutes les autres choses extérieures et trouver que pour chaque position nos pensées et nos sensations sont autres. Le temps apparaît donc comme une chose particulière, du cours de laquelle dépend la position du pendule, alors que les choses que nous introduisons par libre choix semblent jouer un rôle contingent ».

Tentons de saisir cette pensée, ou au moins certains aspects de ce qui est dit. C'est en quelque sorte en isolant le mouvement du pendule et en associant à celui-ci le cours de nos pensées que nous singularisons le temps, qui n'est pas conçu comme le résultat de cette association en termes de représentation, mais au contraire comme une condition (une variable indépendante dont dépendent les phénomènes physiques ou psychiques). Or il n'y a pas à proprement parler de variable indépendante, du fait, comme le souligne Mach, « que toutes les choses sont dans une



dépendance réciproque et que nous-mêmes avec nos pensées ne sommes qu'une partie de la nature. Il est totalement au delà de notre pouvoir de mesurer par le temps les changements des choses. Le temps est bien plutôt une abstraction, à laquelle nous parvenons par le changement des choses, parce que nous ne sommes forcés à aucune mesure déterminée, du fait que précisément toutes choses sont interconnectées ». Le temps est une abstraction : on saisit là sur le vif la philosophie empiriste de Mach.

La proposition selon laquelle il est impossible pour nous de mesurer par le temps le changement des choses doit requérir toute notre attention. Elle s'éclaire en partie par la suite de l'argumentation, qui touche l'uniformité (il n'y a aucun critère absolu de l'uniformité d'un mouvement, ou de la régularité parfaite d'un mouvement périodique, point qui sans doute mérite considération). « Nous appelons uniforme un mouvement dans lequel des accroissements égaux de chemin correspondent à des accroissements égaux d'un mouvement de comparaison (celui de la rotation de la terre). Un mouvement peut être uniforme par rapport à un autre. La question de savoir si un mouvement est en lui-même uniforme n'a absolument aucun sens » [Mach 1904, 217].<sup>12</sup> « Avec tout aussi peu de justification pouvons-nous parler d'un « temps absolu » (indépendamment de tout changement). Ce temps absolu ne peut être mesuré par aucun mouvement, il n'a donc aucune valeur ni pratique ni scientifique, personne n'est justifié à dire qu'il connaît quoi que ce soit de lui, c'est un concept métaphysique vain » [Mach 1904, 217].<sup>13</sup> Mach poursuit en affirmant que le chercheur doit poursuivre son investigation sur les connexions des choses et sur les masses de l'univers, et qu'il peut très bien se produire que par exemple les masses que nous voyons, et par lesquelles nous nous orientons, ne soient pas celles qui sont réellement décisives. On appelle Principe de Mach l'idée selon laquelle, ainsi que l'a formulé Marie-Antoinette Tonnelat, « les propriétés que manifestent les mouvements accélérés des corps résultent de leur interaction avec des masses éloignées. . . Tel qu'il fut proposé par Mach, le Principe qui porte son nom apparaissait (. . .) comme un progrès sensible qui permettait de substituer à des entités inobservables des données théoriquement calculables : celles que fournit, dans l'espace euclidien, l'ensemble de la Mécanique céleste » [Tonnelat 1971, 309].

Le temps est donc une abstraction à partir de données sensibles. Mach esquisse une genèse psychologique de l'idée du temps, atteinte « dans et à travers l'interdépendance des choses. Dans ces idées est exprimée la

---

12. Nous avons revu les traductions des textes qui suivent. Aussi [Mach 1973, 217].

13. p. 217 pour l'édition allemande.

connection la plus profonde et la plus universelle des choses. Lorsqu'un mouvement prend place dans le temps, il dépend du mouvement de la terre » [Mach 1904, 218]. Les données sensibles indiquant une interdépendance quasiment physiologique, le choix du référentiel est arbitraire. Mach déclare que nous mesurons le temps par l'angle de rotation de la terre, mais que nous pourrions le mesurer tout aussi bien par l'angle de rotation de toute autre planète. « Nous choisissons pour mesurer le temps un mouvement arbitrairement choisi, d'allure sensiblement parallèle à notre sensation de temps ; tel est par exemple l'angle dont la terre a tourné ou le chemin décrit par un corps abandonné à lui-même. Une fois qu'il est clair qu'il ne s'agit que de l'établissement de la dépendance mutuelle des phénomènes, comme je le soulignais déjà en 1865 (*Über den Zeitsinn des Ohres*) et 1866 (...), les obscurités métaphysiques disparaissent » [Mach 1904, 219-220].<sup>14</sup> De *La mécanique*, deux idées principales peuvent être retenues : le principe de l'interdépendance des choses qui entraîne comme conséquence qu'il n'y a pas de référentiel spatial ou temporel absolu ; en second lieu, l'empirisme, qui n'est pas l'observation mais l'observabilité (les masses invisibles), et qui envisage toutes les conséquences, y compris les conséquences critiques, du fait que le temps est d'abord un percept. L'insistance sur l'observable et sur le problème de la mesure est une caractéristique de Mach.

## Physique et physiologie : L'analyse des sensations

Entre physique et physiologie, il y a sans cesse chez Mach une résonance. Dans *L'analyse des sensations*, Mach écrit : « le physicien qui n'étudie pas la psychologie de ses opérations ... néglige le fait que les sensations sont à la base de ses concepts... un concept physique ne signifie rien d'autre qu'un certain type déterminé de composition entre éléments sensoriels. Ces éléments (...) sont les matériaux les plus simples du monde physique (et aussi du monde psychologique) ... le physicien opère toujours avec des sensations. » [Mach 1996, 42-43] Il ne faut pas oublier, à cet égard, que les problèmes d'équation personnelle dans l'observation astronomique ont beaucoup troublé les esprits. Il est intéressant de constater que Mach affirme sans restriction la validité du principe du parallélisme complet du psychique et du physique comme fil conducteur de la recherche sur les mécanismes physiologiques des sensations (mécanismes physiques et biologiques, voire darwiniens) [Mach 1996, 59]. Il rattache ce principe à sa propre conception continuiste du physique et du psychique mais se sépare du parallélisme à la

---

14. p. 219 pour l'édition allemande.

Fechner, pour qui le physique et le psychique sont les deux faces opposées d'une même réalité, réalité qui, aux yeux de Mach, a le défaut de rester inconnue. Le parallélisme vu par Mach n'est donc pas une doctrine métaphysique, mais, insiste-t-il, une théorie heuristique [Mach 1996, 59]. De même la loi psychophysique est loin de lui apparaître comme une loi fondamentale, mais découle simplement de la considération téléologique des besoins de l'organisme de percevoir des *variations* d'intensité lumineuse. La loi psychophysique n'a donc rien d'universel et peut être conçue, aux yeux de Mach, comme le résultat *explicable* de dispositifs organiques [Mach 1996, 67]. Mach explique en outre qu'il a abandonné la loi logarithmique et qu'il considère le terme de proportionnalité comme non pertinent.

Dans *L'analyse des sensations*, Mach expose à nouveau ses idées sur le sens du temps. La septième édition de cet ouvrage, qui date de 1918, contient toute série de références ultérieures à la première édition, qui doivent être utilisées. Le chapitre sur la sensation de temps (*Zeitempfung*) va bien au-delà des recherches sur la validité de la loi psychophysique. Mach y affirme l'existence d'une sensibilité spécifique au temps. Cette sensibilité est manifestée par la perception du rythme, elle est aussi manifestée par le fait que les sensations sont en quelque sorte datées par une *Zeitempfung* qui les accompagne et qui est chaque fois particulière. Mach cherche à donner une explication physiologique de cette sensibilité particulière au temps, qui est liée au fait d'être conscient. Il lui paraît vraisemblable que la sensibilité au temps résulte d'un phénomène de consommation organique, déjà évoqué par des auteurs comme Meynert, Avenarius et d'autres. Ce modèle en quelque sorte métabolique de la consommation organique peut d'ailleurs être compris indifféremment comme la destruction d'une substance énergétique ou comme l'accumulation de produits de dégradation ou de « substances de fatigue ». Ce modèle permet de comprendre la particularité de la sensibilité au temps par l'intermédiaire du travail de l'attention. Lorsque l'attention s'épuise, survient le sommeil. Dans le sommeil sans rêve, la sensation du temps est perdue [Mach 1996, 204]. Dans le sommeil avec rêve, elle est présente, mais — chose excessivement intéressante si on la rapporte à bien des observations très paradoxales — du fait que dans le rêve l'attention est assez inerte, se produisent les « anachronismes les plus étranges », des phénomènes d'inversion temporelle entre le stimulus perceptif intégré dans le rêve et son expression psychique. Mach remarque qu'une telle modification de l'ordre pourrait être due au fait que les sensations empruntent des voies nerveuses différentes avant d'être saisies par l'attention [Mach 1996, 206]. Il n'y a donc rien d'absurde à penser, pour expliquer l'in-

tersion des sensations dans le rêve, que l'attention se porte sur les différents événements ressentis dans un ordre que, selon Mach, elle a interverti à sa guise. Le modèle métabolique énergétique permet également de rendre compte de l'irréversibilité du temps physiologique [Mach 1996, 209]. Certaines des spéculations de Mach dans ce chapitre peuvent paraître invraisemblables. Mais c'est la marque d'un esprit véritablement créateur que d'élaborer les hypothèses les plus invraisemblables.

Mach s'est aussi interrogé sur « le temps nécessaire à l'attention pour aller d'un lieu où elle est occupée vers un autre. » [Mach 1996, 221] Ce que Mach dit de cette recherche dans *L'analyse des sensations* reste très schématique et renvoie aux travaux effectués à sa demande par Dvorak, dont certains ont été publiés en 1872. Notons au passage que Helmholtz a publié, en 1871, une étude sur « le temps nécessaire pour qu'un stimulus visuel parvienne à la conscience. »<sup>15</sup> Ces études de chronométrie mentale étaient donc une thématique assez fréquente de la psychophysiologie. Pour Mach, la sensation du temps est une énergie spécifique (il utilise ici le vocabulaire de Johannes Müller) liée à toutes les autres énergies spécifiques participant à la conscience, et il va même jusqu'à imaginer que cette énergie spécifique a pour fonction d'entretenir, de diriger et de réguler le flux sanguin cérébral [Mach 1996, 210]. A ce point Mach introduit un phénomène de perspective temporelle pour le temps physiologique, qui consiste dans le fait que l'éloignement dans le temps ressenti n'est pas proportionnel à l'éloignement dans le temps physique. On retrouve ici la critique de la loi de Weber. Pour finir, Mach envisage la physiologie du rythme. Le rythme montre la réalité du sens du temps. Qu'est est-il de sa base physiologique ? Pour Mach il est nécessaire d'introduire ici des processus physiologiques rythmiques beaucoup plus particuliers que la respiration ou le pouls évoqués par certains de ses collègues à l'époque. De tels processus rythmiques n'iraient pas à l'encontre de l'hypothèse métabolique défendue par Mach. Mach explore donc d'une manière extraordinairement heuristique la physiologie du temps.

Mach consacre un chapitre ultérieur de *l'Analyse des Sensations* à l'influence des recherches précédentes sur la conception de la physique. Certes, comme il l'a déjà expliqué dans les paragraphes terminaux de *La mécanique*, « les sensations de temps et d'espace sont des sensations au même titre que celles de couleur, de son ou d'odorat » [Mach 1904, 477]<sup>16</sup>. Mach explique pourtant que « l'espace du géomètre n'est en aucun cas borné par le seul système des sensations d'espace (celles de la vue et du toucher), mais (qu') il consiste bien plutôt en une multitude

---

15. Cf [Debru 2001].

16. p. 483-484 pour l'édition allemande.

d'expériences physiques conceptuellement idéalisées par des concepts et des formules, lesquels sont mis en connexion avec les sensations d'espace » [Mach 1996, 303]. « Sous le rapport physiologique, l'espace et le temps signifient des espèces particulières de sensations, mais sous le rapport physique ils signifient des dépendances fonctionnelles réciproques des éléments caractérisés par des impressions sensorielles (*Sinnesempfindungen*). Lorsque les indices physiologiques spatiaux et temporels, qui sont conditionnés par des parties et processus de notre corps, sont comparés les uns aux autres dans des circonstances physiologiques égales, se montrent des dépendances réciproques des éléments physiques. (Dépendance des éléments d'un corps de ceux d'un autre, dépendance des éléments d'un processus de ceux d'un autre). En se fondant sur cet examen on peut effectuer des déterminations spatiales et temporelles d'une manière purement physique » [Mach 1996, 284].

Il explique un peu plus loin : « Le temps du physicien ne coïncide pas avec le système des sensations de temps. Lorsque le physicien veut déterminer un temps, il pose comme règle de mesure des processus identiques ou supposés identiques (oscillations du pendule, rotation de la terre, etc.) » [Mach 1996, 285]. Physiologie et physique restent donc deux domaines séparés, même s'ils sont en résonance. La sensation est un fondement pour la physique, mais la physique se livre à un travail de détermination, de mesure auquel la sensation ne peut se livrer que d'une manière approchée, en raison des limites de la psychophysique. Le problème bien connu et déjà mentionné de l'équation personnelle dans les observations des astronomes qui cherchent à déterminer le temps auquel un objet céleste traverse le croisillon du télescope en est un exemple très discuté et qui a frappé les esprits.

On trouve dans le dernier paragraphe de l'*Analyse des Sensations* des remarques importantes sur l'influence que Fechner a exercée sur Mach et sur les leçons que Mach a consacrées à Fechner lorsqu'il enseignait, dans ses débuts, à la faculté de médecine de Vienne : « La psychophysique de Fechner, qui a exercé une action si significative, m'a aussi, à l'époque, puissamment stimulé. Enthousiasmé par ce livre, je donnai sur ce sujet des leçons bien défectueuses, qui ont encore perdu de leur valeur, du fait que j'ai bientôt reconnu comme erronées les idées de Fechner sur la formule de mesure. A cette occasion je disais, après avoir expliqué la théorie des sensations de Helmholtz, théorie du fil télégraphique : Est-ce que les processus électriques dans les nerfs devraient être trop simples pour suffire à expliquer les différentes qualités des sensations ? Devait-il être nécessaire de repousser l'explication dans des domaines encore inconnus ? Comment donc, si nous ne trouvons après une investigation

complète de tout le cerveau, partout que des courants électriques ? Mon avis non autorisé est celui-ci : les recherches électriques sur les nerfs sont certes d'espèce très fine, mais d'un certain point de vue elles sont aussi de nouveau très grossières. Un courant électrique d'une intensité donnée ne nous dit rien d'autre que le fait qu'une quantité déterminée de force vive traverse la section transversale du courant dans l'unité de temps. Quels sont les processus et les mouvements moléculaires qui transportent cette force vive, nous ne le savons pas. Les processus les plus différents peuvent présider à la même intensité de courant ». « Je ne me suis pas débarrassé jusqu'à présent de ces pensées » [Mach 1996, 301-302]<sup>17</sup>, poursuit Mach, qui, même s'il tient pour médiocres ses essais de jeunesse, continue à les citer et à entretenir les mêmes idées. Le code nerveux pourrait être moléculaire plutôt qu'électrique, pourrait-on dire d'une manière excessivement anachronique.

## Conclusion

Dans son ouvrage *La psychologie du temps*, le psychologue Paul Fraisse a écrit : « C'était encore du rythme que partait Mach pour démontrer qu'il existe un sens du temps. Tous les auteurs allemands du XIXe siècle ont employé cette expression. Certains, comme Czermak, ont cru suivant une ligne postkantienne que le temps — comme l'espace — était l'objet d'un sens général distinct des cinq sens spéciaux. D'autres ont employé cette expression de sens du temps comme une formule commode pour exprimer nos possibilités d'adaptation au temps. Mach seul a pensé qu'il existerait un véritable sens du temps analogue aux autres sens. Puisque nous pouvons reconnaître le même rythme dans deux mélodies différentes, c'est que nous avons, selon lui, perçu un schème des durées indépendamment de leurs supports sensibles » [Fraisse 1967, 86]. Mach a cherché à élucider, d'abord par les méthodes de la psychophysique, puis par des voies plus spéculatives, la construction psychique du temps. Qu'il existe un sens du temps est bien connu des psychologues, qui continuent d'en rechercher les bases dans les oscillateurs neuronaux. J'ai tenté de montrer ici toute l'importance de la contribution de Mach à la psychologie du temps et à ce que l'on appelle plus particulièrement aujourd'hui la chronométrie mentale, discipline dont la pertinence neuropsychologique et conscientielle est bien connue. J'ai aussi tenté de montrer que les questions de la physiologie et celles de la physique se rencontraient, non seulement pour créer des phénomènes nouveaux, mais aussi pour

---

17. La traduction est la nôtre.

esquisser des idées qui feront indubitablement leur chemin dans la physique.

## Bibliographie

CAMERER, WILHELM

1866 *Versuche über den zeitlichen Verlauf der Willensbewegung*, Tübingen, 1866.

CZERMAK, JOHANN

1857 Ideen zu einer Lehre vom Zeitsinn, *Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften Wien*, vol. 24, 1857.

DEBRU, CLAUDE

2001 Helmholtz and the psychophysiology of time, *Science in Context*, vol. 14 (3) : 471-492.

FECHNER, GUSTAV THEODOR

1877 *In Sachen der Psychophysik*, Leipzig : Breitkopf und Härtel, 1877.

FRAISSE, PAUL

1967 *La psychologie du temps*, Paris : PUF, 1967.

HALLER, RUDOLF UND STADLER, FRIEDRICH (ÉDS.)

1988 *Ernst Mach — Werk und Wirkung*, Vienne : Verlag Holder-Pichler-Tempsky, 1988.

HERBART, JOHANN FRIEDRICH

1850 *Sämmtliche Werke herausgegeben von G. Hartenstein, Schriften zur Psychologie zweiter Theil*, vol. 6, Leipzig : Leopold Voss, 1850.

1851 Über die ursprüngliche Auffassung eines Zeitmaasses, *Sämmtliche Werke herausgegeben von G. Hartenstein*, vol. VII, *Schriften zur Psychologie*, Leipzig : Voss, 1851.

1887 *Lehrbuch der Psychologie, dritte Auflage herausgegeben von G. Hartenstein*, Hamburg, Leipzig : Leopold Voss, 1887.

HIEBERT, ERWIN

Mach in *Dictionary of Scientific Biography*, edited by Charles Coulston Gillispie, New York : Charles Scribner's Sons, vol. 7-8.

HÖRING, ADOLF

1864 *Versuche über das Unterscheidungsvermögen des Hörsinnes für die Zeitgrössen*, Tübingen, 1864.

JAMES, WILLIAM

1981 *The Principles of Psychology*, Cambridge (Mass.), Londres, Harvard University Press, 1981.

LEIBNIZ, GOTTFRIED WILHELM

1965 *Die philosophischen Schriften, herausgegeben von C.I. Gerhardt*, vol. V, Hildesheim : Georg Olms, 1965.

LOTZE, RUDOLF HERMANN

1852 *Medicinische Psychologie*, Leipzig, Weidmann'sche Buchhandlung, 1852.

1884 *Metaphysik. Drei Bücher der Ontologie, Kosmologie und Psychologie*, (deuxième édition), Leipzig : Hirzel, 1884

MACH, ERNST

1863 Aus Dr. Mach's Vorträge über Psychophysik, *Oesterreichische Zeitschrift für praktische Heilkunde*, vol. 9, 1863

1865a Untersuchungen über den Zeitsinn des Ohres, *Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften Wien*, vol. 51, 133-150.

1865b Über die Wirkung der räumlichen Vertheilung des Lichtreizes auf die Netzhaut, *Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften Wien*, vol. 52.

1865c Bemerkungen über den Raumsinn des Ohres, *Annalen der Physik* Poggendorff : Leipzig, vol. 126, 1865, 331-333.

1875 *Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen*, Leipzig : Wilhelm Engelmann, 1875.

1904 *La mécanique. Exposé historique et critique de son développement*, traduit par Emile Bertrand, Paris : Hermann, 1904.

1906 *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen*, 5<sup>e</sup> éd., Jean, Gustav Fischer, 1906.

1973 *Die Mechanik historisch-kritisch dargestellt*, Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1973.

1996 *L'analyse des sensations. Le rapport du physique au psychique*, traduit de l'allemand par. F. Eggers et J.-M. Monnoyer, Nîmes : Jacqueline Chambon, 1996

MEULDERS, MICHEL

2001 *Helmholtz*, Paris : Odile Jacob, 2001.

NICHOLS, HERBERT

1890 The Psychology of Time, *American Journal of Psychology*, vol. 3.



RATCLIFF, F.

1965 *Mach Bands. Quantitative Studies on Neural Networks in the Retina*, San Francisco, New York, Amsterdam, 1965.

SWOBODA, WOLFRAM W.

1974 *The Thought and Works of the Young Ernst Mach and the Antecedents to his Philosophy*, Michigan : Ann Arbor, 1974.

1988 Physik, Physiologie und Psychophysik — die Wurzeln von Ernst Machs Empiriokritizismus, in [Haller & Stadler 1988]

THIELE, JOACHIM

1978 *Wissenschaftlichze Kommunikation. Die Korrespondenz Ernst Machs*, Kastellaun, 1978.

TONNELAT, MARIE ANTOINETTE

1971 *Histoire du principe de relativité*, Paris : Flammarion, 1971.

VIERORDT, KARL

1890 *Der Zeitsinn nach Versuchen*, Tübingen, 1868.

WUNDT, WILHELM

1862 *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung*, Leipzig und Heidelberg : C.F. Winter'sche Verlagshandlung, 1862.