

# Mach et le son : par delà Helmholtz.

*M. Meulders*  
Université de Louvain

Lors de ses études universitaires à Vienne, le jeune Mach avait été fortement impressionné par les travaux de deux physiologistes : Ernst Brücke et Karl Ludwig, tous deux amis de Helmholtz et partageant avec ce dernier l'ambition d'inscrire la physiologie dans le cadre de la physique et d'exclure ainsi la métaphysique de toute tentative d'explication des phénomènes de la vie. Rien d'étonnant par conséquent que le jeune Mach ait tout de suite saisi l'importance de leur approche scientifique pour le développement de sa propre carrière, et qu'il consacra de 1860 à 1875 de nombreuses recherches personnelles en tant que physicien à la physiologie et à la psychologie notamment de l'audition.

C'est en 1963 que parût l'ouvrage de Helmholtz appelé *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik* [Helmholtz, Hermann von, 1863], que Mach trouva d'emblée d'une importance considérable. Excellent pianiste lui-même, il se rendit compte des difficultés techniques presque insurmontables de l'ouvrage de Helmholtz pour les musiciens, et résolut d'en rédiger à leur intention une version simplifiée ne nécessitant pas de connaissances particulières en physique ou en mathématiques. Le projet de Mach d'écrire une introduction au livre de Helmholtz à l'intention des musiciens et des mélomanes, s'inscrivait fort bien dans les préoccupations pédagogiques majeures du jeune professeur chargé d'enseigner la physique aux étudiants en médecine, et pour qui il avait rédigé dans cet esprit en 1863 un volumineux « Compendium (Leitfaden) » d'introduction à son propre cours {Mach, Ernst, 1863}. Mais il semble aussi que le jeune Mach, très impécunieux à cette époque, ait voulu écrire ce commentaire du célèbre ouvrage de Helmholtz non seulement pour asseoir son propre prestige de chercheur, mais aussi afin d'y trouver quelque revenu<sup>1</sup>.

C'est ainsi qu'il publia en 1866, lorsqu'il était professeur de physique et de mathématiques à l'université de Graz, trois ans après l'ouvrage de Helmholtz, une *Einleitung in die Helmholtz'sche Musiktheorie — Populär für Musiker dargestellt* [Mach, Ernst, 1866]. Cet ouvrage ne compte pas moins de 98 pages et n'a pas été traduit en français, ce qui explique peut-être sa relative méconnaissance dans le monde francophone, d'autant plus qu'un ouvrage majeur de Mach, *Die Analyse der Empfindungen*

---

1. Dans son autobiographie inédite, Mach relate que, suite à son habilitation, il était forcé de gagner un peu d'argent en donnant des leçons particulières, "ohne zu wissen, wovon ich das nächste Jahr leben würde" (dixit Mach). Et, selon les indications de Friedrich Herneck (Herneck, Friedrich, 1991, 107-140) : "Durch Privatvorlesungen über Mathematik, über Fechners Psychophysik, über die Helmholtz'sche Lehre von den Tonempfindungen gewann er seinen Unterhalt. Mach bedauert, daß auf diese Weise viel Zeit verlorenging, die er gern zweckmässiger auf eigene Studien verwendet hätte."

*und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen* [Mach, Ernst, 1922], paru partiellement en 1866, complété et réédité plusieurs fois jusqu'en 1922, contient une synthèse des idées de l'auteur arrivé au terme de ses recherches sur la perception des sons, et qui éclipse en partie son œuvre de jeunesse.

À tort pourtant, car l'exposé de 1866 est plein d'intérêt, de fraîcheur et d'enseignement : Mach admire Helmholtz, mais prend déjà ses distances par rapport à lui en posant de nombreuses questions pertinentes auxquelles il estime que son collègue a répondu en psychologue plutôt qu'en physicien. Vivant et imaginatif, l'exposé de Mach est un petit bijou de pédagogie.

Plus tard, il reprit plusieurs de ses questions dans des publications de caractère plus technique, et nous en proposa une synthèse finale dans son *Analyse des Sensations* [Mach, Ernst, 1922 et 1996]. Le tout fort lointain des idées de Helmholtz.

Dans cet exposé forcément limité à l'essentiel, on passera en revue quelques points essentiels des idées de Mach sur les sensations auditives en ce qu'elles sont différentes de celles de Helmholtz, et souvent même plus hardies que les siennes.

## 1. Parenté et Consonances.

Helmholtz avait défini consonances et dissonances de façon lapidaire : les premières sont des sensations continues et les secondes sont des sensations intermittentes. En outre, l'accord consonant ne provoque pas de déplaisir, comme c'est le cas de l'accord dissonant lequel est perçu comme désagréable à cause des battements. Définir le plaisir comme l'absence de déplaisir ne pouvait que laisser Mach sur sa faim ; rien d'étonnant qu'il il eût fallu selon lui chercher plus loin dans l'approche physique et physiologique du phénomène.

Tout en exprimant sincèrement son admiration de Helmholtz pour son étude physique des sons complexes et de l'analyse de Fourier effectuée par l'oreille, pour sa découverte du rôle des harmoniques dans les consonances et des phénomènes de battement dans la genèse des dissonances, Mach estima qu'il y avait peut-être une piste à explorer que son collègue n'avait pas assez exploitée, celle de la notion de *parenté* entre notes de musique, notion qui lui ferait peut-être mieux comprendre pourquoi un accord consonant est recherché et préféré par l'oreille.

Pour Mach [Mach, Ernst, 1866, 36-43], deux sons paraissent à l'oreille d'autant plus apparentés et familiers qu'ils possèdent des harmoniques

en commun. Il conçut pour illustrer son propos un dispositif pédagogique d'une grande simplicité permettant de définir, grâce à un dispositif de règle glissant l'une sur l'autre, le degré d'apparement de n'importe quel couple de notes. L'apparement est le plus fort, affirme-t-il, lorsque les harmoniques sont nombreux à coïncider, mais surtout lorsqu'elles sont intenses ce qui est le cas d'harmoniques proches de la fondamentale (p. ex. la 3<sup>e</sup> harmonique de *mi* avec la 4<sup>e</sup> de *do*). Et il constata que les couples de notes les plus apparementés étaient dans l'ordre décroissant : l'octave, la double octave, la quinte (1), la quinte (2), la quarte, la tierce, la petite tierce, la grande sixte et la petite septième

Il en découla pour Mach un certain nombre de conséquences [Mach, Ernst, 1866, 87] :

1. les sons apparementés sont pour l'oreille particulièrement aptes à constituer le lien mélodique.
2. toutes les gammes apparues au cours de l'histoire ont été construites à partir de notes fortement apparementées. C'est le cas notamment de la gamme pentatonique [Mach, Ernst, 1866, 42], une des plus anciennes connues et construite sur base de succession de quintes à partir de *si bémol (do - ré - fa - sol - si bémol - do)*, où manquent *mi* et *la* formant avec *do* les accords de tierce et de sixte, jugés dissonants par les cultures utilisant cette gamme.
3. la succession de deux accords est d'autant plus harmonieuse que ces derniers contiennent de sons apparementés.
4. lors de la succession de nombreux accords, comme c'est le cas dans une mélodie, l'harmonie dépend également du nombre de sons apparementés mais aussi de la constance de tonalité.

Sur le fond, Mach ne contredisait donc pas Helmholtz, mais au lieu de mettre l'accent comme ce dernier sur la nécessité d'éviter les dissonances et donc les battements désagréables dans la succession mélodique des accords, il insistait plutôt sur l'importance des sons apparementés et d'une tonalité constante dans la mélodie. La consonance ne se définissait pas seulement par l'absence de désagréments dus aux battements dissonants, mais elle résultait d'une propriété physique de l'oreille, une exigence de *simplification et d'économie de moyens* qui cherche à réunir et à unifier ce qui est semblable, et donc les sons apparementés.

Mais ceci n'expliquait pas une autre exigence paradoxale de l'oreille, qui est d'interrompre régulièrement une succession de consonances par l'un ou l'autre accord dissonant. Pour Mach cependant, c'eût été tout à fait inconséquent d'expliquer ceci en termes de « goût », lequel était

pour lui un concept beaucoup trop vague, et il suggéra de rechercher plutôt une cause d'ordre physique [Mach, Ernst, 1866, 88].

## 2. Dissonances et Battements.

Le problème des dissonances n'avait guère préoccupé Mach dans son exposé de 1866, dans lequel il se disait d'accord avec l'interprétation helmholtzienne en termes de battements. Mais plus tard il s'intéressa cependant de plus près à ce problème. Dans son *Analyse des Sensations* [Mach, Ernst, 1922, trad. franç., 1996, 240], il relata à ce propos quelques observations personnelles, et confronta ses conclusions avec l'opinion de plusieurs de ses contemporains, notamment Friedrich Carl Stumpf (1848-1936)<sup>2</sup>, psychologue de la musique et sévère critique de Helmholtz. Mach était convaincu que les dissonances ne s'expliquaient pas exclusivement par le phénomène de battement. Bien sûr, les battements rendent le plus souvent les sons désagréables et dissonants, mais il est des accords formés de sons très éloignés et qui sont fortement dissonants bien que les battements soient quasi imperceptibles. Autre exemple : si on répartit sur les deux oreilles les sons respectifs de deux diapasons dont les fréquences ont été légèrement décalées, les battements s'estompent complètement, sans que l'impression de dissonance soit amoindrie. Enfin, comble du paradoxe, les dissonances musicales peuvent même avoir dans certains cas un caractère agréable. Pour Mach, ici aussi, la théorie physique des dissonances était incomplète et nécessitait de nouvelles investigations.

## 3. L'Attention auditive.

Mach en parla dès son introduction à l'exposé de 1866. Il fit remarquer qu'un accord de deux notes : *do - si*, ou de trois notes : *mi - sol - si*, obtenus grâce à un *physharmonica*<sup>3</sup>, s'entend tantôt avec les notes égales entre elles, tantôt avec une des notes dominant les autres [Mach, Ernst, 1866, 23-25]. Il constata en outre que le son auquel on est attentif est perçu plus intensément que les autres. Dans le déclenchement de l'attention, par ailleurs, l'oreille semble préférer le son supérieur de l'accord, ou le son qui est donné avec un peu de retard sur les autres notes de l'accord. Enfin, il lui apparut que l'harmonie perçue se modifiait légèrement d'après la note captée par l'attention.

---

2. Friedrich Carl Stumpf fut un élève de Lotze et professeur de Husserl.

3. jeu d'orgue à anches libres, comme l'harmonica. Il n'existe plus qu'un seul jeu de ce type au monde : à Soppe-le-Bas, commune alsacienne du Sundgau. Ce jeu fut construit en 1842 par Valentin Rinkenbach.

Il est remarquable qu'en 1863 déjà [Mach, Ernst, 1863], Mach se soit intéressé à l'attention auditive qu'il attribuait à l'action des muscles tenseurs des osselets de l'oreille moyenne et dont la contraction réflexe ou aléatoire aurait eu un rôle comparable à celui de l'accommodation oculaire permettant de fixer du regard plusieurs points successifs situés entre l'œil et l'horizon. Il supposait même que l'oreille aurait la tendance impérieuse de ranger les sons le long d'une échelle dont la partie supérieure serait occupée par les sons les plus élevés, et il imaginait, en s'inspirant de Lotze [Lotze, Hermann Rudolf, 1852, 197-206], une théorie des signes locaux (*Localzeichen*) dans le domaine de l'audition, dans laquelle la hauteur du son perçu aurait été associée à la sensation d'une contraction correspondante des muscles tenseurs facilitant la transmission de cette hauteur tonale. Lors d'un effort d'attention perceptive, ce mécanisme aurait ainsi permis de détecter clairement par simple ajustement du degré de contraction des muscles tenseurs, un son d'une hauteur donnée.

Il n'est donc pas étonnant que dès l'introduction de son ouvrage de 1866, Mach ait vivement reproché à Helmholtz d'avoir abordé le problème de l'attention dans des termes purement psychologiques plutôt que physiques ou physiologiques. Ce dernier avait invoqué le concept d'attention dans le cas de la rivalité binoculaire et dans celui de la perception des harmoniques. Dans le premier cas, il avait constaté qu'il n'était pas suffisant de vouloir consciemment utiliser chaque œil successivement pour alterner la perception des champs visuels respectifs, que pour « parvenir à fixer l'attention sur un des deux champs, il nous faut chercher à y découvrir constamment du nouveau », et que, « dès que nous ne savons plus rien y remarquer de nouveau, l'attention échappe malgré nous pour se porter ailleurs » [Helmholtz, Hermann von, 1866, trad. franç., 1867, 969], c'est-à-dire sur l'autre champ visuel. Pour passer volontairement d'un champ à l'autre, il ne suffisait donc pas d'en avoir l'intention, mais il fallait en outre avoir au préalable « une idée aussi claire que possible de ce que l'on veut y voir » [cité par James, William, 1890, Dover, 1950, I, 441]. Et il en était de même dans l'effort de détecter les harmoniques. La relation entre la volonté et l'attention était pour Helmholtz « moins immédiate que médiate » [Helmholtz, Hermann von, 1866, trad. franç., 1867, 971], et l'attention était donc essentiellement un acte psychique de recherche et d'anticipation d'une perception.

Irrité par l'affirmation de Helmholtz pour qui la détection des harmoniques dans un son complexe n'était que le fruit d'une « concentration de l'attention » [Helmholtz, Hermann von, 1863, trad. franç., 1868, 71] conçue comme un acte psychique, Mach répliqua que pour lui, l'atten-

tion n'avait rien de mystique car c'était une « disposition corporelle qu'il est tout naturel de chercher au moins en grande partie dans la tension variable des muscles de l'oreille » [Mach, Ernst, 1863, 297]. Cette affirmation était basée sur une approche théorique approfondie. L'auteur admettait cependant que les indications obtenues par l'expérimentation n'apportait pas la confirmation attendue, mais qu'étaient néanmoins encourageantes. Plus tard, dans l'*Analyse des Sensations*, Mach concéda que des expériences effectuées en 1876 ne l'autorisaient pas à confirmer sa séduisante hypothèse d'une intervention des muscles de l'oreille dans le processus d'attention. En effet dit-il, « tant qu'on n'est pas en mesure d'observer avec certitude les vibrations dans l'oreille vivante, lors de l'audition normale, on ne pourra guère trancher cette question » {Mach, Ernst, 1922, trad. franç., 1996, 246}.

Il n'est pas sans intérêt de relire à cette occasion le chapitre consacré en 1890 à l'attention par William James dans ses *Principles of Psychology* [James, William, 1890, Dover, 1950, I, 402-454]. Il y constate que le terme d'attention n'a quasi jamais été utilisé par l'école empiriste anglaise si ce n'est occasionnellement et comme par inadvertance. Par contre, les allemands en ont parlé explicitement comme faculté à part entière. Les empiristes, dit James, ne peuvent admettre qu'il existe une attention impliquant un certain degré de spontanéité réactionnelle, car les facultés les plus élevées de l'esprit sont les produits exclusifs de l'expérience. Spencer, par exemple, considérerait que les créatures sont aussi passives que l'argile sur laquelle tombent des gouttes de pluie. L'argile se creuse davantage là où tombent les plus grosses gouttes, et c'est ainsi qu'il faut se figurer le modelage de l'esprit sous l'effet exclusif de l'expérience.

James, qui avait rencontré personnellement Mach et l'admirait beaucoup, a certainement mesuré toute la différence qui séparait l'empirisme pourtant radical de son collègue germanique de l'empirisme anglais, car dans son traité, il cita explicitement sa définition de l'attention auditive comme la recherche active d'un son parmi d'autres, grâce à la perception du degré d'activité musculaire de l'oreille [James, William, 1890, Dover, 1950, I, 436].

#### 4. L'Espace sonore.

La conception par Mach d'un espace sonore se développa progressivement. Dans son article de 1863, il constatait déjà que sur le plan psychologique, on tend à disposer mentalement les notes de musique en rang, en fonction de leur hauteur [Mach, Ernst, 1863, 298]. Plus tard, dans l'exposé de 1866, il note que si après avoir joué successivement

toutes les notes d'une octave, on joue les notes de l'octave suivante et ainsi de suite, on a l'impression que les notes se disposent de bas en haut en fonction de leur hauteur, comme si elles constituaient les échelons d'un escalier en spirale dont chaque nouvelle spire indiquerait l'octave supérieure à la précédente [Mach, Ernst, 1866, 44-45].

Ce n'est que dans son *Analyse des Sensations* que Mach eut vraiment l'intuition d'un possible espace sonore. Après être revenu avec plus de précision sur le fait que pour lui, l'oreille dispose spontanément les sons le long d'une sorte d'échelle verticale, il affirma que « L'échelle des sons se trouve dans un *analogon de l'espace*, un espace d'une *seule* dimension, limité des deux côtés, un espace aussi qui ne présente *aucune symétrie*, plutôt analogue à une droite verticale ». Et de poursuivre : « La sensation d'un son déterminé ne peut survenir qu'en un lieu déterminé dudit espace unidimensionnel, un lieu qui doit être fixé précisément, si l'on veut que la sensation en question ressorte clairement » [Mach, Ernst, 1922, trad. franç., 1996, 244].

En outre, le fait que deux sons discernables ne fusionnent pas en un seul, s'expliquerait par le fait que chacun d'entre eux aurait sa place distincte dans l'espace sonore, à l'instar des couleurs qui ne fusionnent pas lorsqu'elles apparaissent dans des régions différentes de l'espace visuel [Mach, Ernst, 1922, trad. franç., 1966, 245].

## 5. La Perception de l'Intervalle sonore.

Dès 1866, Mach avait déploré le fait que les théories de Helmholtz n'avaient apporté aucune réponse au problème de la perception des intervalles sonores [Mach, Ernst, 1866, 251]. Comment reconnaissons-nous immédiatement une tierce, une quarte ou une quinte, et cela, quelle que soit leur tonalité ? Reconnaître le même intervalle de tierce pour les accords *do - mi* et *sol - si* est le même problème que pour la reconnaissance de deux figures géométriques identiques mais de taille différente. « Une simple succession de deux notes suffit d'ailleurs pour que l'on reconnaisse immédiatement que le rapport de fréquences est le même. Ainsi reconnaît-on immédiatement dans la succession de notes *do - fa*, *ré - sol*, *mi - la*, etc., qui présentent toutes le même rapport de fréquences (un rapport  $3/4$ ), le même intervalle, un intervalle de quarte » [Mach, Ernst, 1922, trad. franç., 251]. Et de poser la question : « Où réside la composante de la sensation qui est commune à chaque combinaison de tierce ou de quarte » [Mach, Ernst, 1922, trad. franç., 1996, 255] ?

En réponse à ces questions pertinentes, Mach proposa une hypothèse originale, en exhumant un concept créé en son temps dans le domaine

de la vision par Johannes Müller [Müller, Johannes, 1826, 44] et repris plus tard par Helmholtz, celui d'*énergies sensorielles spécifiques*. Müller avait constaté en effet que la spécificité de la sensation de lumière ne dépend pas de la constitution particulière de la lumière, mais de l'activité spécifique du nerf optique, dont l'excitation ne peut donner rien d'autre qu'une sensation de lumière. Cette règle s'applique aussi aux autres organes des sens ; la peau par exemple ressent parfaitement la chaleur d'un four ou celle d'un rayon de soleil, mais est incapable d'en voir la lumière. Dans son approche théorique et même métaphysique du problème, Müller faisait appel au concept aristotélicien d'*énergie* – force située en dedans –, pour définir les processus inconnus qui étaient engendrés spécifiquement dans les fibres sensorielles, et que Helmholtz appela ultérieurement sensations visuelles, tactiles ou auditives.

Pour Mach, grand pourfendeur de la métaphysique, ce terme définissait, dans le domaine de l'audition, le substrat physique de la sensation de hauteur tonale. Parti de l'idée initiale de Helmholtz pour qui une fréquence sonore donnée excite de façon maximale une fibre nerveuse, il supposa, dans un premier temps, qu'à chaque fibre nerveuse correspondrait une énergie spécifique propre à sa fréquence. Cette hypothèse lui parut cependant invraisemblable, car elle lui paraissait contraire à son principe de *simplification et d'économie de moyens* (voir plus haut). Il supposa, dans un deuxième temps, comme Helmholtz d'ailleurs, qu'une fréquence donnée exciterait non seulement de façon maximale une seule fibre nerveuse mais aussi de nombreuses terminaisons voisines, avec une intensité décroissante. Il s'ensuivait donc pour Mach que plusieurs terminaisons nerveuses auraient eu dans ces conditions une énergie spécifique commune. Ceci lui sembla également impossible à admettre, puisqu'il y aurait eu alors autant d'énergies spécifiques que de sons discernables, et donc plusieurs énergies spécifiques sur chaque fibre nerveuse, ce qui était tout aussi invraisemblable. Remarquons au passage que Helmholtz, confronté au même problème — stimulation de plusieurs fibres par une seule fréquence sonore — avait pour sa part et avec beaucoup d'élégance fait appel à sa théorie de la perception et des inférences inconscientes, ce dont Mach ne voulait évidemment pas entendre parler.

Mach s'inspira alors d'un exemple dans le domaine de la vision, que lui aurait suggéré son ami Ewald Hering. Comme chacun le sait, on peut passer progressivement de la sensation de rouge à celle de jaune grâce à l'adjonction de quantité croissante de jaune à des quantités décroissantes de rouge. Par analogie, se dit Mach, on pourrait faire varier progressivement la perception d'un son d'une hauteur donnée à un son d'une hauteur différente. Il « *suffirait* de supposer pour chaque fibre nerveuse

deux énergies spécifiques seulement qui, en fonction des fréquences, seraient libérées dans un rapport différent ». Il ne serait plus nécessaire de postuler l'existence d'une énergie spécifique pour chaque hauteur sonore, puisqu'il suffirait que chaque terminaison soit le siège de deux énergies mais dans un rapport différent en fonction de la hauteur sonore.

Ceci étant acquis, quelle serait la sensation commune à des accords homologues de tierce, de quarte, de quinte ou d'autres? Supposons que chaque son d'une hauteur donnée ait une couleur qui lui serait propre. Nous savons déjà que chaque terminaison nerveuse posséderait deux énergies spécifiques qu'on pourrait qualifier arbitrairement de mat (M) et de sonore (S), le rapport M/S déterminant la couleur sonore; par hypothèse en outre,  $M + S = 1$ , les sons M prédomineraient dans le bas et les sons S dans le haut de la gamme. La tierce, par exemple serait perçue comme le rapport des couleurs propre à chaque note constituant la tierce, et ce rapport serait identique pour toutes les tierces considérées. Ce rapport serait évidemment différent pour les quartes, les quintes, etc. Reconnaître une tierce reviendrait donc non seulement à juger de l'éloignement de chaque note dans l'espace auditif mais aussi du rapport de leurs colorations respectives.

En outre, on pourrait imaginer que chaque terminaison nerveuse réagirait non seulement à N (une fréquence donnée), mais aussi, grâce aux nœuds qui se forment probablement dans l'onde stimulante, à  $N/2$ ,  $N/3$ , et  $2N$ ,  $3N$ ., etc. Dans le cas de la tierce, par exemple, chaque harmonique commune aux deux sons ferait donc nécessairement réagir ensemble les deux terminaisons nerveuses correspondantes, ce qui donnerait une couleur supplémentaire. « De telles colorations supplémentaires ressortiront donc lorsque les notes seront combinées selon un rapport de fréquences déterminé, tout comme les contrastes entre des lumières faiblement colorées, presque blanches, s'animent lors de leur combinaison ». Et Mach de conclure : « Ce ne sont pas non plus directement des rapports de fréquence qui sont reconnus par l'oreille, mais seulement les colorations supplémentaires que ces rapports conditionnent » [Mach, Ernst, 1922, trad. franç., 1996, 257-262]. Il faut reconnaître que ces hypothèses de Mach étaient extrêmement séduisantes, mais qu'il ne s'agissait cependant que d'un brillant édifice théorique qu'il n'était guère possible à cette époque de vérifier expérimentalement.

## Conclusion

Ce qui est remarquable dans le texte de 1866, c'est qu'il contienne déjà une critique fondamentale des principales thèses de Helmholtz. Cette

critique ne se départit cependant jamais d'une réelle courtoisie envers ce dernier. Dans son *Analyse des Sensations*, ces critiques prennent une tournure plus élaborée et parfois même dogmatique, sans que disparaisse pour autant cette attitude déférente et même respectueuse. Ceci ne doit cependant pas faire illusion quant à la gravité du désaccord entre les deux hommes.

On veut en voir la preuve, non seulement dans leurs nombreuses divergences d'opinion, mais surtout dans l'absence totale chez Mach d'une quelconque référence à la théorie de la perception de Helmholtz, sans laquelle l'œuvre de ce dernier perd véritablement son épine dorsale. Quel pire désaveu que l'indifférence.

Mais il y a plus grave encore : Mach n'hésite pas à affirmer que son collègue n'avait pas poussé suffisamment loin ses efforts de physicien et de physiologiste, notamment parce qu'il avait négligé le problème de la perception des intervalles sonores, et surtout parce qu'il avait relégué le phénomène d'attention au niveau de la subjectivité sinon du mythe, au lieu d'y voir d'abord une disposition corporelle, d'origine probablement musculaire.

Pour Mach, Helmholtz n'avait pas été assez physicien et physiologiste, se réfugiant trop souvent dans une psychologie fautive, à l'opposé de ce qu'il considérait pour sa part comme une approche correcte de la psychologie où il « n'y a pas de fossé entre le physique et le psychique », où « le monde sensoriel appartient simultanément au monde physique et au monde psychique », et où « la frontière entre le psychique et le physique n'est jamais que d'ordre pratique, et qu'elle est conventionnelle » [Mach, Ernst, 1922, trad. franç., 1996, 272-273]. Il est d'ailleurs significatif de lire dans la lettre de remerciement que Helmholtz adressa à Mach<sup>4</sup>, qu'il parle de sa « théorie de la musique », tandis que Mach

---

4. Heidelberg, 31. Dec. [18]66

Verehrter Herr College[.]

ich bin wegen bisheriger Überhäufung mit Geschäften noch immer nicht dazu gekommen, Ihnen meinen Dank für die Ausarbeitung und Zusendung Ihrer Einleitung in die von mir gegebene Musiktheorie zu sagen, und will dies hiermit nachholen. Ich glaube, daß Sie damit einem wesentlichen Bedürfnis abgeholfen haben. Zugleich ist Ihre Darstellung mittels der angewendeten graphischen Hilfsmittel auch so einfach [und] übersichtlich geworden, daß sie, wie ich meine, jedem gebildeten Musikfreund jetzt zugänglich sein sollte. Ich selbst mochte es nicht unternehmen, theils weil ich Anderes zu thun hatte, nämlich meine physiologische Optik fertig zu machen, theils weil ich mich nicht mehr recht auf den Standpunct derjenigen zurückversetzen kann, denen die Sache fremd ist, da ich während der jahrelangen Arbeit daran natürlich erst so allmählig in den betreffenden Gedankengang hineingewachsen bin, daß ich mir dessen nicht mehr recht bewußt bin, was Andern daran fremdartig und schwer erscheinen muß.

n'évoque dans son propre texte que d'une « théorie des sensations musicales », ce qui traduit mieux qu'un long commentaire le gouffre entre leurs conceptions respectives.

Ceci dit, l'apport personnel de Mach à une physiologie de la musique est d'un grand intérêt.

Sur le fond d'abord, puisqu'il posa de bonnes questions auxquelles il tenta de répondre, au moins par des hypothèses théoriques. Son approche du problème de l'attention contient en germes plusieurs approches expérimentales contemporaines. Quant à sa théorie de la perception spécifique des intervalles sonores, elle est d'une grande subtilité et se présente dans la même perspective que celle qu'il avait développée pour la rétine et dans laquelle la juxtaposition de deux plages rétinienne éclairées inégalement fait naître une sensation de contraste là où elles se touchent, grâce à un phénomène d'interaction entre les neurones rétinien au niveau de la bordure. Pour Mach, cette sensation de contraste ne devrait rien à une quelconque alchimie mentale, comme l'avait cru Helmholtz [Meulders, Michel, 2001, 200-201], mais à un phénomène physico-physiologique œuvrant au cœur même de l'organe sensoriel, et il en était de même pour la perception des espaces sonores.

Sur le *plan formel ensuite*, car sa compétence hors du commun en pédagogie rend la lecture de ses textes agréable et efficace. Mach était très préoccupé de pédagogie dans laquelle la simplicité de l'exposé et l'économie de moyens devait pour lui être la règle et, comme le fit remarquer Otto Blüh, il faisait sienne la phrase de Herbart : « L'intérêt pour l'éducation n'est autre chose que l'expression de notre intérêt pour le monde et l'humanité » [Blüh, Otto, 1970, 5].

*L'auteur souhaite remercier tout particulièrement ici Alexandre Métraux, pour lui avoir communiqué des documents d'un grand intérêt pour la rédaction de ce travail (notes de bas de page 1 et 4).*

---

Ich war in den Osterferien in Paris, und hatte die Freude dort zu finden, daß eine Reihe von Leuten, theils Musikfreunde, theils Instrumentenmacher, namentlich der grosse Orgelbauer Cavaillé Col, und der jetzige Vorsteher der Pleyelschen Piano-fortefabrik sich sehr tief hineinstudiert hatten in meine Theorie. In Frankeich ist die mathematisch physikalische Bildung weiter verbreitet, als es leider in Deutschland der Fall ist, und gleichzeitige viel Kenntniß der Musik.

Indem ich meinen Dank wiederhole, schließe ich mit der Versicherung meiner größten Hochachtung

Ihr H. Helmholtz (extrait de Thiele, Joachim, 1978, 35)

## Bibliographie

BLÜH, OTTO

1970 Ernst Mach – his life as a teacher and thinker, in [R. S. Cohen and R. J. Seeger (eds.), *Ernst Mach – Physicist and Philosopher*, Dordrecht : D. Reidel, 1970, 1-22.]

JAMES, WILLIAM

1890 *The Principles of Psychology*, New-York : Henry Holt & co, 1890. Republié, New-York : Dover Publications, 1950.

HERNECK, FRIEDRICH

1991 Über eine unveröffentlichte Selbstbiographie Ernst Machs, in Dieter Hoffmann et Hubert Laitko (eds.), *Ernst Mach und Dokumente zu Leben und Werk*, Berlin : Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1991, 107-140. [Voir surtout p. 115 à 116]

HELMHOLTZ, HERMANN VON

1863 *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*, Braunschweig : Vieweg, 1863. Cité d'après la traduction française par M. G. Guérout et M. Wolff : *Théorie physiologique de la Musique, fondée sur l'étude des Sensations auditives*, Paris : Masson, 1868. Reproduit, Sceaux : Editions J. Gabay, 1990.

1866 *Handbuch der physiologisches Optik*, Hamburg und Leipzig : L. Voss, 1866. Cité d'après la traduction française par E. Javal et N. Th. Klein : *Optique physiologique*, Paris : Masson, 1867. Reproduit, Sceaux : Editions J. Gabay, 1989.

LOTZE, RUDOLF HERMANN

1852 *Medicinische Psychologie oder Physiologie der Seele*, Leipzig : Weidmann, 1852.

MACH, ERNST

1863 *Compendium der Physik für Mediziner*, Wien : Wilhelm Braumüller, 1863.

1863 Zur Theorie des Gehörorgans, in *Sitzungsbericht der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe (Wien)*, 48, 283-300.

1866 *Einleitung in die Helmholtz'sche Musiktheorie — Populär für Musiker dargestellt*, Graz : Vaduz/Liechtenstein, Sändig, 1864. Reprint Verlag : H. R. Wohlwend, 1866.

1922 *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen*, Iéna : Gustav Fischer, 1922. Cité d'après la traduction française par F. Eggers et J. M. Monnoyer : *L'Analyse*

*des Sensations – Le Rapport du Physique au Psychique*, Nîmes : Editions Jacqueline Chambon, 1996.

MEULDERS, MICHEL

2001 *Helmholtz – Des Lumières aux Neurosciences*, Paris : Odile Jacob, 2001.

MÜLLER, JOHANNES

1826 *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes des Menschen und der Thiere neben einem Versuch über die Bewegungen der Augen und über den menschlichen Blick*, Leipzig : Cnobloch, 1826.

THIELE, JOACHIM (ED.)

1978 *Wissenschaftliche Kommunikation. Die Korrespondenz Ernst Machs*, Kastellaun : Aloys Henn Verlag, 1978, 35.