

Alexandra Hui, *The psychophysical ear. Musical experiments, Experimental Sounds, 1840-1910*, MIT Press, 2013, p.56.

And yet, by this time in the middle of the nineteenth century, there was a growing awareness that these musical systems—musical aesthetics—varied between cultures and over time. Although Helmholtz was careful not to tread into the realm of perception theory, instead restricting his claims to sound sensation, he certainly acknowledged such cultural and historical variation. So how was he able to reconcile his universal, lawlike understanding of sound sensation with a belief that musical aesthetics were culturally and historically bound?

I argue that there were two main avenues by which Helmholtz was able to achieve this reconciliation. First, it was accomplished through the status Helmholtz assigned to musical instruments as he put them to work in a scientific context. Music was both the means and the object of experimental investigation. Musical instruments in a scientific context, while certainly used as instruments of science, also maintained aspects of their musical selves. The changing design and increasing dominance of keyboard instruments in the musical world, the piano, harmonium, and organ especially, are thus central to this story.<sup>4</sup> And just as the musical instruments—both their design and techniques for playing them—were in flux, so too were the relationships between them and their users. This practice only increased as investigators began to examine the relationship between sound sensation and musical aesthetics in the mid-nineteenth century. This status of musical instruments in the laboratory, both as instruments of music and instruments of science, was central and necessary to the development of Helmholtz's physiological theory of tone sensation.

The second feature of Helmholtz's work that allowed him to reconcile a lawlike theory of sound sensation with a historicist understanding of musical aesthetics predated and extended beyond his laboratory: Helmholtz's own relationship with music and musical instruments. Music and musicianship had been a part of his life from a very early age. In an 1838 letter to his parents, the young Hermann Helmholtz declared that he always appreciated music more when he played it for himself.<sup>5</sup> In letters to his parents, to his two wives, and to friends and colleagues, Helmholtz wrote of his own experience of musical sound in a very personal and tender way. Helmholtz's initial encounter with music was the very intimate, personal exercise of playing music for himself.

p.1

« On s'est proposé dans cet ouvrage de rapprocher, sur leurs frontières communes, des sciences qui, malgré les nombreux rapports naturels qui les unissent, malgré leur voisinage mutuel, sont restées jusqu'ici trop isolées les unes des autres. Il s'agit, d'une part, de l'acoustique physique et physiologique, et, d'autre part, de la science musicale et de l'esthétique. Ce livre s'adresse, par conséquent, à des groupes de lecteurs engagés, chacun dans des voies intellectuelles bien différentes, à la poursuite d'intérêts bien distincts. Il ne sera donc pas inutile que l'auteur explique, dès l'abord, dans quelle pensée il a entrepris ce travail, et quel but il s'est efforcé d'atteindre.

Dans les temps modernes, les domaines respectifs de la Science, de la Philosophie et de l'Art ont été séparés plus que de raison, et il en résulte, pour chacun des groupes correspondants, une certaine difficulté à comprendre la langue, la méthode et l'objet des autres. C'est là ce qui doit avoir surtout empêché les questions dont il s'agit ici, d'avoir été depuis longtemps étudiées plus à fond, et d'être arrivées, l'une par l'autre, à leurs solutions respectives.

A la vérité, l'acoustique emploie à chaque instant, des idées et des mots empruntés à la science harmonique ; elle parle de la gamme, des intervalles, des accords, etc. ; de leur côté, les traités à l'Harmonie commencent bien, d'ordinaire, par un chapitre consacré à la physique, qui traite des nombres de vibrations des sons, et qui fixe les rapports de ces nombres pour les différents intervalles ; seulement, jusqu'ici, ce rapprochement de l'acoustique et de la science musicale est resté purement extérieur, plutôt comme un signe qu'on reconnaît la nécessité d'une union entre les deux sciences, que comme la preuve que l'on a su la réaliser effectivement.

Si les connaissances physiques ont pu être utiles aux facteurs d'instruments, elles n'ont en revanche favorisé en aucune manière le développement et l'établissement de la science de l'harmonie. Et cependant, les faits les plus fondamentaux de la théorie musicale, ceux qu'elle aurait dû expliquer et utiliser les premiers, sont connus depuis les temps les plus reculés. Pythagore savait déjà que, pour que des cordes de même nature, soumises à la même tension, mais d'inégales longueurs, puissent donner les consonnances parfaites de l'octave, de la quarte, de la quinte, il faut que leurs longueurs respectives soient entre elles, dans le rapport de 1 à 2, de 2 à 3, de 3 à 4. Si, comme il y a lieu de le penser, Pythagore lui-même tenait en partie ses connaissances des prêtres égyptiens, il est presque impossible d'imaginer à quelle inconcevable antiquité remonte la connaissance de cette loi. La physique moderne a généralisé la loi de Pythagore, en l'étendant des longueurs de cordes aux nombres de vibrations, et la rendant applicable aux sons de tous les instruments ; on a trouvé aussi, pour les consonnances moins parfaites des tierces, des rapports numériques simples, les rapports de 4 à 5, de 5 à 6. Néanmoins, il n'est pas à ma connaissance qu'on ait fait un progrès réel dans la réponse à cette question : Qu'est-ce que les accords musicaux peuvent avoir à démêler avec les rapports des six premiers nombres entiers? »

p.5

« L'étude des phénomènes qui se produisent dans chacun des organes de nos sens comprend, en général, trois parties distinctes. — Premièrement, il y a à rechercher comment l'agent extérieur qui produit l'impression (la lumière pour l'œil, le son pour l'oreille) pénètre jusqu'aux nerfs. Nous pouvons appeler cette première partie, la portion physique de l'étude physiologique. — Deuxièmement, il faut s'occuper des diverses excitations nerveuses correspondant aux diverses sensations ; — enfin, rechercher les lois d'après lesquelles ces sensations se transforment en images d'objets extérieurs déterminés, c'est-à-dire en perceptions. Ceci donne donc encore une deuxième subdivision plutôt physiologique, consacrée à l'étude des sensations, et une troisième, psychologique, qui traite des perceptions. — Tandis que la partie physique de la science acoustique a été déjà prise en grande considération par les savants, nous ne possédons jusqu'ici, pour la partie physiologique et psychologique, que des résultats incomplets, isolés au hasard dans la science. Or, c'est précisément aux lois des sensations auditives qu'une théorie musicale vraiment scientifique doit emprunter ses résultats fondamentaux. »

p.3

« La musique se rattache à la sensation pure et simple, par des liens bien plus étroits que tous les autres arts, qui ont affaire plutôt aux perceptions nous venant des sens, c'est-à-dire aux notions sur les objets extérieurs, que nous tirons des sensations par des procédés psychiques. La poésie cherche surtout à exciter en nous les impressions les plus variées, en s'adressant presque exclusivement à l'imagination et à la mémoire, et ce n'est que d'une manière secondaire, par le secours plus musical du rythme, par exemple, de l'harmonie du langage, qu'elle s'adresse quelquefois immédiatement à la sensation de l'ouïe. Son action repose donc presque exclusivement sur des activités psychiques.

Les arts plastiques ont besoin, il est vrai, de la sensation de la vue, mais dans un but peu différent de celui que poursuit la poésie en s'adressant à l'oreille. Ils veulent principalement faire naître en nous l'image d'un objet extérieur, d'une forme et d'une couleur déterminées. Nous devons nous intéresser essentiellement à l'objet représenté, jouir de sa beauté, et non des moyens qui ont servi à le représenter. Du moins, le plaisir que fait éprouver au connaisseur la perfection technique d'un tableau ou d'une statue, ne fait pas partie intégrante de la jouissance artistique.

Dans la peinture, la couleur est le seul élément qui s'adresse immédiatement à la sensation, sans l'intermédiaire d'un acte de l'entendement. Dans la musique, au contraire, les sensations auditives sont précisément ce qui forme la matière de l'art ; nous ne transformons point ces sensations, au moins dans les limites où elles appartiennent à la musique, en symboles d'objets ou de phénomènes extérieurs. En d'autres termes, bien que, dans un concert, il nous arrive de distinguer certains sons produits, les uns par le violon, d'autres par la clarinette, la jouissance artistique ne réside pas dans la représentation que nous nous faisons de l'existence matérielle du violon ou de la clarinette, mais dans la sensation des sons qui en émanent. Au contraire, la jouissance artistique produite par une statue de marbre, ne réside pas dans la sensation de la lumière blanche qui arrive à l'œil, mais dans la reproduction de la beauté des formes

humaines. Dans ce sens, il est évident que la musique a, avec la sensation proprement dite, des liens plus immédiats qu'aucun des autres arts ; il s'ensuit que la théorie des sensations auditives sera appelée à jouer, dans l'esthétique musicale, un rôle beaucoup plus essentiel que la théorie de l'éclaircissement ou de la perspective, dans la peinture. Ces deux dernières sciences sont sans doute utiles au peintre, pour atteindre autant que possible à une fidèle représentation de la nature, mais elles n'ont rien de commun avec l'effet artistique de l'œuvre. Dans la musique, au contraire, il ne s'agit pas d'arriver à la fidèle représentation de la nature ; les sons et les sensations correspondantes sont là pour eux-mêmes, et agissent tout à fait indépendamment de leur rapport avec un objet extérieur quelconque. »

### Sur la sirène

p.16

« Pour exposer les faits fondamentaux de cette partie de la science musicale, il est très commode de pouvoir recourir à un instrument particulier appelé Sirène, construit de manière à permettre de déterminer directement, le nombre des vibrations aériennes qui donnent naissance au son. La figure 1 reproduit la plus simple de toutes les sirènes, celle de Seebeck, réduite à ses parties essentielles. A est un disque mince de carton ou de fer-blanc, qu'on peut faire tourner rapidement autour de son axe central *b*, au moyen de la corde sans fin *ff*, enroulée sur une roue d'un plus grand diamètre. Sur tout le bord, le disque est percé d'une série de trous à égale distance les uns des autres, au nombre de douze ; une ou plusieurs autres séries de trous équidistants se trouvent placées sur d'autres cercles concentriques au premier (la figure 1 porte un second cercle de huit trous) ; *c* est un petit tube dressé contre un des trous. Faisons maintenant tourner rapidement le disque, et soufflons dans le petit tube *c* ; l'air pourra sortir librement toutes les fois qu'un des trous coïncidera avec l'orifice du tube ; le gaz sera, au contraire, arrêté dans sa marche, toutes les fois qu'une partie pleine du disque se trouvera devant cet orifice. Il en résulte qu'à chaque passage d'un trou devant l'extrémité du tube, il se produit une secousse dans l'air. Pour un seul tour du disque, le tube étant placé sur le cercle extérieur, nous avons donc douze impulsions aériennes correspondant aux douze trous ; si le tube était sur le cercle intérieur, il n'y aurait que huit impulsions. Si le disque fait dix tours à la seconde, le cercle extérieur nous donne, dans le même temps, cent vingt impulsions qui produisent un son faible et bas ; le cercle intérieur en donne quatre-vingts. D'une manière générale, si nous connaissons le nombre de tours exécutés par le disque en une seconde, et le nombre des trous sur le cercle en contact avec le tube, le produit donne évidemment le nombre des impulsions aériennes. Ce nombre est donc bien plus facile à obtenir exactement qu'avec n'importe quel autre appareil sonore ; aussi les sirènes sont-elles extraordinairement commodes, pour étudier les modifications du son qui dépendent des modifications et des rapports des nombres de vibrations. La sirène qui vient d'être décrite ne donne qu'un son faible ; si j'en ai parlé en premier lieu, c'est que son mécanisme est le plus facile à saisir ; elle peut aussi, par le changement du disque, se prêter à des expériences très variées. On obtient un son plus fort avec la sirène de Cagnard-Latour, décrite dans les figures 2, 3, 4. »

## Sur les générateurs

p.152

« Jusqu'ici nous n'avons cherché à analyser des timbres donnés, qu'en recherchant les différences qu'ils présentent, sous le rapport du nombre et de l'intensité des harmoniques. Avant de déterminer avec plus de précision le rôle de l'oreille dans la perception du timbre, il est nécessaire de rechercher si, pour qu'un timbre musical donné soit perceptible, il suffit que les harmoniques présentent une certaine intensité, ou bien, si, indépendamment de ces derniers, d'autres différences peuvent encore exister et être perçues dans le timbre.[...]

Si le timbre ne dépend que de l'intensité des harmoniques, les mouvements C, D, etc., doivent tous produire la même impression sur l'oreille. S'il dépend, au contraire, de la position respective des deux ondes, ou de leur différence de phase, les impressions sur l'oreille seront différentes.

Pour décider la question dans un sens ou dans l'autre, il était nécessaire de composer des sons artificiellement au moyen de sons simples, et de voir, si la modification de la différence de phase a, comme conséquence, des modifications dans le timbre, les harmoniques conservant la même intensité. Pour obtenir des sons simples d'une grande pureté, dont on puisse régler avec précision l'intensité et la différence de phase, ce qu'il y a de mieux, ce sont des diapasons dont le son, renforcé par un tuyau de résonance comme précédemment, se communique à la masse d'air. Pour imprimer aux diapasons un mouvement très-régulier et durable, on les plaçait entre les branches d'un petit électro-aimant, comme le représente la figure 32. »

## Sur les résonateurs

p.57

« Pour arriver à ce résultat, ce qu'il y a de mieux, c'est de relier encore la membrane à un espace rempli d'air. A (fig. 15) est une bouteille de verre dont l'orifice est ouvert en a, et le fond, en b, est remplacé par une membrane tendue (une vessie de porc mouillée qu'on fait sécher après l'avoir tendue et fixée sur la bouteille). En c, on fixe avec de la cire un fil de cocon qui supporte une petite boule de cire à cacheter. On a ainsi une sorte de pendule qui s'applique contre la membrane. Si celle-ci entre en vibrations, le petit pendule fait de très-brusques soubresauts. L'emploi de ce petit pendule est très-commode, si on n'a pas à craindre de confondre le son fondamental, avec un autre des sons propres de la membrane. Le sable s'envole, tandis que cet appareil est toujours en état de remplir sa fonction. Mais, si on veut distinguer, d'une manière certaine, les sons élémentaires qui mettent la membrane en vibrations, il faut placer la bouteille l'orifice en bas, et couvrir la membrane de sable. Si d'ailleurs la bouteille aie volume convenable, et que la membrane soit partout régulièrement tendue, on a sans difficulté le seul son fondamental de la membrane, peut-être un peu altéré par les vibrations d'influence que prend la masse d'air renfermée dans la bouteille. On rend plus grave ce son fondamental, en augmentant la grandeur de la membrane, ou le volume de la bouteille, en diminuant la tension de celle-là ou l'ouverture de celle-ci. Une membrane de

ce genre, libre ou tendue sur le fond d'une bouteille, peut entrer en vibrations sous l'influence, non -seulement des sons composés de même hauteur que les siens propres, mais aussi de ceux qui comprennent, parmi leurs harmoniques, le son propre de la membrane. En général, si un nombre quelconque de systèmes d'ondes s'entre-croisent dans l'air, pour savoir si la membrane va vibrer par influence, on peut considérer le mouvement de l'air directement en contact avec elle, comme mathématiquement décomposé en une somme de vibrations pendulaires. »

p.59

« Un résonnateur de ce genre est très- semblable, dans son ensemble, à la bouteille résonnante précédemment décrite, avec cette seule différence que la membrane du tympan remplace ici la membrane élastique.

La masse d'air de ce résonnateur, en communication avec celle du conduit auditif, forme, avec la membrane du tympan, un système élastique, susceptible de vibrations particulières ; le son fondamental de la sphère, beaucoup plus grave que les autres sons élémentaires, est considérablement renforcé par le phénomène de l'influence. L'oreille, en communication immédiate avec l'air intérieur à la sphère, perçoit directement aussi le son renforcé. Si l'une des oreilles est bouchée, au moyen d'une boule de cire à cacheter à laquelle on a donné la forme du conduit auditif (c'est ce qu'il y a de mieux), et qu'on mette à l'autre oreille un résonnateur, la plupart des sons émis dans le voisinage sont plus étouffés qu'à l'ordinaire ; en revanche, si on donne le son propre du résonnateur, ce dernier éclate avec une force considérable dans l'intérieur de l'oreille. Toute personne, même avec une oreille dure et peu exercée, est ainsi en état de distinguer le son considéré émis assez faiblement, même au milieu d'un grand nombre d'autres. »

De la source sonore à l'oreille : renouvellement de la notion de timbre

p.10

« Nous arrivons maintenant à une autre question d'un ordre plus élevé : à quelle différence, dans l'agent extérieur, correspond, pour l'oreille, la différence entre le bruit et le son ? Il faut chercher la cause normale et habituelle des impressions de l'oreille humaine dans l'ébranlement de la masse d'air ambiante. La sensation, irrégulièrement variable, que l'oreille éprouve dans le bruit, nous amène à supposer que l'ébranlement aérien correspondant doit être aussi d'une nature irrégulière et variable, et que, par contre, les sons musicaux sont dus à un mouvement égal, régulier, qui doit lui-même trouver son origine dans les ébranlements réguliers du corps sonore dont l'atmosphère transmet les secousses. »

p.11

« D'après notre définition des mouvements périodiques, nous pouvons donc répondre à la question posée plus haut de la manière suivante : la sensation du son musical est causée par des mouvements rapides et périodiques du corps sonore; la sensation du bruit par des mouvements non périodiques. »

p.29

« Quand les physiciens ont ainsi déterminé la signification de ces cour- bes qui donnent la loi du mouvement des corps sonores, ils parlent de la forme de la vibration d'un corps sonore, et prétendent que le timbre en dépend. Cette supposition reposait seulement, jusqu'ici, sur ce qu'on savait le timbre indépendant de la durée et de l'amplitude ou inten- sité de la vibration; nous la soumettrons, par la suite, à un examen plus approfondi. On prouvera qu'elle est exacte en ce sens, que chaque timbre différent exige une forme différente de la vibration ; en revanche, à des formes différentes peuvent correspondre des timbres identiques.

En étudiant d'une manière précise et attentive , au moyen de l'oreille, l'influence des diverses formes d'ondes, par exemple, celle décrite dans la figure 8, qui correspond à peu près à celle de la corde de violon, il se présente un fait singulier et inattendu, connu depuis assez longtemps, il est vrai, des musiciens et des physiciens seuls, mais généralement considéré comme une simple curiosité, parce qu'on n'en savait ni la généralité, ni l'influence prépondérante sur la production de tous les timbres. Avec une attention suffisamment grande, l'oreille n'entend pas seulement le son dont la hauteur dépend de la durée de la vibration, comme nous l'avons dit plus haut; elle entend encore, en outre, toute une série de sons plus élevés qu'on appelle harmoniques, à l'opposé de ce premier son, dit son fondamental, qui est le plus grave et, en général, le plus fort de tous, et d'après la hauteur duquel nous jugeons de la hauteur de l'ensemble. La série est exactement la même pour tous les sons musicaux, c'est-à-dire correspondant à un mouvement périodique de l'air ; elle comprend :

1° L'octave supérieure du son fondamental, exécutant deux fois plus de vibrations que ce dernier. Si le son fondamental est  $ut_0$ , cette octave supérieure sera  $ut_1$  ;

2° La quinte de cette octave,  $sol_1$ , faisant trois fois plus de vibrations que le son fondamental ;

3° La seconde octave au-dessus,  $ut_2$ , quatre fois plus de vibrations ;

4° La tierce majeure de cette octave,  $mi_2$ , cinq fois plus de vibrations;

5° La quinte de cette octave,  $sol_2$ , six fois plus de vibrations.

Puis viennent, avec une intensité toujours décroissante, les sons dont les vibrations sont 7, 8, 9 fois plus nombreuses que celles du son fondamental. En notation usuelle : »

p.31

« Nous venons de voir que le timbre dépend de la forme de la vibration, mais que celle-ci détermine, à son tour, le phénomène des harmoniques ; nous nous poserons maintenant la question de savoir, dans quelle mesure la variété des timbres dépend de la réunion du son fondamental, avec des harmoniques d'intensité variable. Cette question se présente à nous comme un moyen qui conduit à éclaircir l'essence jusqu'ici tout à fait problématique du timbre. Mais nous devons nécessairement résoudre le problème suivant : comment l'oreille arrive-t-elle à décomposer chaque son en une série de sons élémentaires, et que signifie cette décomposition ? C'est ce qui fera l'objet du prochain chapitre. »

p.39

« Nous avons déjà conclu que la masse d'air en contact avec la membrane du tympan, peut être considérée comme un seul point de l'air ambiant, au point de vue qui doit être adopté ici. Y a-t-il donc, dans le mouvement d'une seule molécule d'air, des propriétés différentes, selon que le son est simple ou composé ? Nous avons vu qu'à chaque son correspond un mouvement périodique de l'air, que la hauteur est déterminée par la longueur de la période, mais que, dans l'intervalle d'une même période, la nature du mouvement, entièrement arbitraire, comporte une multiplicité infinie de formes différentes. Le mouvement de l'air dans l'oreille n'est-il pas périodique, ou du moins la période n'est-elle pas assez courte pour produire un son perceptible ; il se distinguera par là même de tous les mouvements caractéristiques d'un seul son. L'espèce de mouvement correspond alors à des bruits, ou à un certain nombre de sons se produisant simultanément. [...]Par conséquent, dans la plupart des cas, le défaut de périodicité dans le mouvement, sera caractéristique d'une masse sonore composée.

Mais il peut se faire qu'une masse sonore composée donne aussi un mouvement exactement périodique ; c'est ce qui arrive particulièrement, lorsque tous les sons qui la composent ont, comme nombres de vibrations, des multiples entiers d'un seul et même nombre, ou, ce qui est la même chose, lorsque tous les sons peuvent, d'après leur hauteur, être considérés comme les harmoniques d'un seul et même son fondamental. »

p.43

« Nous trouvons dans tous les cas semblables, que le mouvement composé est, parfaitement et régulièrement périodique, c'est-à-dire exactement de même nature que celui correspondant à un son isolé. Les courbes composantes de nos exemples correspondent au mouvement d'un son simple. Par conséquent, les mouvements représentés dans la figure 11, par exemple, pourraient être produits par deux diapasons à l'octave l'un de l'autre. Mais nous verrons plus tard qu'il suffit de souffler doucement dans une flûte pour déterminer dans l'air un mouvement correspondant à ceux figurés par les courbes C et D. »

*Utilisation des découvertes de Ohm et Fourier :*



p.43

« Que fait donc l'oreille, en présence d'un pareil mouvement de l'air ? L'analyse-t-elle, ou ne l'analyse-t-elle pas? L'expérience nous apprend que si deux diapasons accordés à l'octave ou à la douzième résonnent simultanément, l'oreille est parfaitement en état de distinguer l'un des sons de l'autre, quoique cette distinction lui soit un peu plus difficile que pour tout autre intervalle. Mais si l'oreille est en état de décomposer ainsi le son composé, formé par deux diapasons résonnant ensemble, elle ne pourra pas s'empêcher d'opérer cette analyse pour le même mouvement aérien produit par une seule flûte, un seul tuyau d'orgue. Et, cependant, voici ce qui se passe en réalité; un seul son émanant de l'un de ces instruments sera décomposé, comme nous l'avons déjà vu, en sons partiels, un son fondamental et des harmoniques (un seul dans nos exemples).

La décomposition d'un seul son en une série de sons partiels, reprise donc sur la faculté qui permet à l'oreille, de distinguer deux sons différents, et, dans les deux cas, la séparation s'opère d'après une règle où la considération d'un ou plusieurs instruments produisant des ondes sonores n'entre pour rien.

La loi, d'après laquelle l'oreille analyse le son, a été posée pour la première fois comme générale, par G. S. Ohm. Dans le précédent chapitre on a déjà donné une partie de cette loi, en disant que le mouvement aérien, dit simple ou pendulaire, dans lequel les molécules vibraient d'après les lois de l'oscillation du pendule, pouvait seul déterminer dans l'oreille la sensation d'un son simple. Donc, tout mouvement de l'air, correspondant à une masse sonore composée, peut, d'après la règle de Ohm, se décomposer en une somme de vibrations simples, pendulaires, à chacune desquelles correspond un son simple que l'oreille perçoit, et dont la hauteur est déterminée par la durée de la vibration correspondante. »

*D'un côté : la décomposition mathématique de Fourier donne un résultat unique. Mais l'oreille décompose-t-elle de cette façon ? Les sons simples ont-ils une existence réelle, hors de la description mathématique que nous nous faisons des sons composés comme somme de sons simples ?*

p.45

« Mais nous avons prouvé qu'un mouvement régulier et périodique donne un son musical, et qu'une vibration simple donne un son élémentaire; nous pouvons donc, appliquant à l'acoustique la loi de Fourier, la formuler en ces termes :

*Tout mouvement vibratoire de l'air dans le conduit auditif, correspondant à un son musical, peut toujours, et toujours d'une seule manière, être considéré comme la somme d'un certain nombre de mouvements vibratoires pendulaires, correspondant aux sons élémentaires du son considéré.*

D'après ces lois, toute forme de vibration, quelle qu'elle soit, peut être considérée comme une somme de vibrations simples; cette décomposition est donc tout à fait indépendante de la

possibilité pour l'œil de distinguer les formes simples composantes, dans la courbe considérée. »

p.46

« Le théorème cité de Fourier prouve seulement, d'abord, qu'il est mathématiquement possible, de considérer un son musical comme une somme de sons élémentaires, les mots étant pris dans le sens adopté plus haut; aussi, les mathématiciens ont-ils toujours trouvé commode de prendre ce mode de décomposition des vibrations pour base de leurs recherches acoustiques. Mais il ne s'ensuit pas du tout que nous soyons obligés de considérer les choses de la même manière. Nous pouvons plutôt nous demander, si ces sons élémentaires d'un son musical, donnés par la théorie mathématique et perçus par l'oreille, ont une existence réelle dans la masse d'air extérieure.

Ce mode de décomposition des formes vibratoires, tel que le décrit et le rend possible le théorème de Fourier, ne serait-ce qu'une fiction mathématique, admissible pour la facilité du calcul, mais ne correspondant pas nécessairement à quelque chose dans la réalité ? Pourquoi considérer la vibration pendulaire comme l'élément irréductible de tout mouvement vibratoire?

Nous pouvons imaginer un tout partagé d'une foule de manières différentes; dans un calcul, nous pouvons trouver commode de remplacer le nombre 12 par 8 -j- 4, pour mettre 8 en évidence; mais il ne s'ensuit pas que 12 doive être, toujours et nécessairement, considéré comme la somme de 8 et de 4. Dans d'autres cas, il pourra être plus avantageux de considérer ce nombre comme la somme de 7 et de 5.

La possibilité mathématique, établie par Fourier, de décomposer en vibrations simples tout mouvement sonore, ne peut nous autoriser à conclure que ce soit là le seul mode admissible de décomposition, si nous ne pouvons prouver qu'il a un sens essentiellement réel. La circonstance que l'oreille opère cette décomposition, porte cependant à croire, que cette analyse a une signification indépendante de toute théorie, dans le monde extérieur. Cette opinion est aussi confirmée précisément par le fait rapporté plus haut, que ce mode de décomposition est plus avantageux que tout autre dans les recherches mathématiques. Car les modes de démonstration qui cadrent avec la nature intime des choses, sont naturellement ceux qui conduisent aux résultats théoriques les plus convenables et les plus clairs. Mais il ne serait pas prudent de commencer cette recherche en s'aidant des propriétés de l'oreille, parce que celles-ci sont extraordinairement compliquées, et ont-elles mêmes besoin d'explication. Nous allons donc, dans le prochain chapitre, rechercher si la décomposition en vibrations simples a une signification réelle dans le monde extérieur, *indépendamment de l'oreille*, et nous serons en état de prouver que certains effets mécaniques déterminés dépendent de la présence ou de l'absence d'un certain son élémentaire dans la masse sonore. L'existence des sons élémentaires acquiert ainsi une signification réelle, et la connaissance de leurs propriétés mécaniques éclairera d'une nouvelle lumière leurs relations avec l'oreille humaine. »

p.65

« La décomposition du mouvement sonore, en vibrations pendulaires simples, a donc une signification réelle qui ferait défaut à toute autre décomposition du même genre.

Chaque système d'ondes simples, chaque vibration pendulaire, est un tout existant par lui-même; la vibration simple se propage dans l'espace, elle met en mouvement d'autres corps élastiques ayant des sons propres correspondants; et cela d'une manière tout à fait indépendante des autres sons de hauteur différente, émanés de la même source ou de sources diverses, qui se propagent en même temps qu'elle. Chaque son peut aussi, nous l'avons vu, être isolé de la masse sonore par un moyen purement mécanique, la vibration par influence des corps élastiques. Chaque son partiel existe donc, aussi bien et au même titre, dans le son complexe produit par un instrument, que, par exemple, les diverses couleurs de l'arc-en-ciel existent dans la lumière blanche, émanant du soleil ou de tout autre corps incandescent. La lumière n'est autre chose aussi qu'un mouvement vibratoire d'un milieu élastique particulier, l'éther, comme le son est un mouvement vibratoire de l'air. [...]

Nous ne pouvons donc pas expliquer cette décomposition du son d'un instrument en un grand nombre d'éléments simples, par une illusion de l'oreille ou une fantaisie de l'imagination, comme j'ai vu quelques musiciens portés à le faire, quoique percevant eux-mêmes très-bien le phénomène. Nous devrions alors considérer aussi, comme des illusions de nos sens, les couleurs du spectre dans lesquelles on peut décomposer la lumière blanche. A chaque instant, l'existence réelle, objective des sons partiels, se manifeste par les vibrations d'influence exécutées par une membrane qui projette au loin le sable dont elle est couverte. »

#### *Définition du timbre*

p.92

« Nous avons vu, à la fin du chapitre premier, que la qualité des sons, que l'on nomme leur timbre, devait dépendre de la forme des vibrations de l'air, les raisons qui portaient à le croire étant purement négatives. On avait démontré que l'intensité des sons dépendait de l'amplitude des vibrations, et leur hauteur du nombre de ces vibrations ; il ne restait donc, pour expliquer leur timbre, que la forme de la vibration dans les ondes sonores. Nous avons vu plus loin que, de la forme des vibrations dépendaient aussi l'existence et l'intensité des sons accessoires aigus qui accompagnent un son donné, et nous avons dû en conclure, que les sons de même timbre devaient toujours amener les mêmes combinaisons de sons partiels. Par conséquent, la forme particulière de la vibration, qui produit dans l'oreille la sensation d'un timbre déterminé, devra toujours aussi amener la sensation des sons supérieurs qui lui correspondent. Il se présente alors la question de savoir, si l'analyse des différentes espèces de timbres peut se ramener à celle des relations d'intensité qu'affectent les sons partiels, dans le phénomène de la résonance. Nous avons vu, à la fin du chapitre précédent, que deux sons qui se produisent simultanément, par un moyen naturel ou artificiel, peuvent se fondre en un seul, dont le timbre diffère remarquablement de celui de chacun des sons composants, et qu'alors, en effet, le timbre était altéré par l'existence d'un nouveau son supérieur. Une voie s'offre ainsi à nos

recherches, pour approfondir le mode d'existence, jusqu'à présent problématique, du timbre, et les causes qui le font varier. »

p.94

« Ces exemples doivent suffire pour montrer, comment certaines particularités caractéristiques du son de quelques instruments, dépendent de la manière dont le son commence et finit. Lorsque nous parlerons dans la suite du timbre musical nous ferons abstraction de ces particularités, relatives au commencement et à la fin du phénomène sonore, et nous ne considérerons que les sons entièrement uniformes. [...]

Nous ferons abstraction, dans ce chapitre, de toutes les irrégularités du mouvement de l'air, ainsi que des circonstances relatives au commencement et à la fin du son, et nous n'aurons égard qu'à la partie du son véritablement musicale, celle qui correspond à un mouvement d'une durée constante et de période régulière. Nous rechercherons les rapports qui existent entre la constitution du mouvement vibratoire et le timbre du son qui en résulte, et le terme de timbre musical ne devra rappeler que les particularités dont nous allons nous occuper. »

p.96

« Le but du présent chapitre sera donc d'analyser les différents sons qui proviennent des instruments de musique, afin de mettre en évidence les différents caractères que l'on observe dans les combinaisons des harmoniques ou notes supérieures, correspondant à des variétés caractéristiques du timbre. Nous serons amenés à un certain nombre de règles générales au sujet de ces arrangements des notes supérieures, règles qui répondent dans le langage à différentes manières d'être du timbre que l'on désigne par les mots : timbre doux, aigu, éclatant, creux, plein ou riche, sourd, clair, etc. Faisons abstraction, pour un instant, du but actuel de nos recherches, la détermination précise des sensations de l'oreille qui nous conduira (chapitre VI) à la distinction des timbres : nous pouvons prévoir dès à présent que les résultats de ces recherches nous seront de la plus haute importance, pour traiter la question purement musicale dont il sera parlé dans une autre partie de cet ouvrage ; ils nous apprendront en effet, à quel point les timbres musicaux dont il est bon de faire usage sont généralement riches en harmoniques, et quelles sont les particularités que l'on doit favoriser, dans les instruments de musique dont le timbre est abandonné à la volonté du facteur. »

p.152

« Si le timbre ne dépend que de l'intensité des harmoniques, les mouvements C, D, etc., doivent tous produire la même impression sur l'oreille. S'il dépend, au contraire, de la position respective des deux ondes, ou de leur différence de phase, les impressions sur l'oreille seront différentes.

Pour décider la question dans un sens ou dans l'autre, il était nécessaire de composer des sons artificiellement au moyen de sons simples, et de voir, si la modification de la différence de phase a, comme conséquence, des modifications dans le timbre, les harmoniques conservant la même intensité. Pour obtenir des sons simples d'une grande pureté, dont on puisse régler avec précision l'intensité et la différence de phase, ce qu'il y a de mieux, ce sont des diapasons

dont le son, renforcé par un tuyau de résonance comme précédemment, se communique à la masse d'air. »

p.163

« D'après cela nous pouvons poser une loi importante qui s'énonce en ces termes :

Les différences des timbres musicaux dépendent de la présence et de l'intensité des sons partiels, mais non de leurs différences de phase. Il faut bien remarquer qu'il ne s'agit ici que du timbre musical, tel que nous l'avons défini plus haut. »

p.171

« La seconde partie principale de l'oreille interne est le limaçon C, ainsi nommé parce que la cavité a la forme de la coquille de cet animal. Dans la figure 40, on a supposé le canal déroulé autour de son axe et rendu rectiligne, de manière à faire mieux voir la liaison des cavités. La figure 41 montre le canal du limaçon avec ses replis naturels, moitié coupé, moitié fermé. Ce canal est partagé en deux, par une cloison qui ne présente qu'une ouverture étroite (Hélicotréma), à la pointe d (fig. 40). L'une des moitiés du canal (rampe du vestibule) débouche en e dans le vestibule, l'autre moitié (rampe de la caisse) court le long de la caisse dont elle est séparée par la membrane de la fenêtre ronde. La cloison est formée par une cannelure osseuse et une membrane qui, toutes deux, se prolongent tout le long du canal du limaçon, en sorte que la cannelure osseuse est fixée le long de la paroi interne du canal tortueux, et que la cloison membraneuse (fig. 41 , i, i) est tendue de la paroi externe du canal à la cannelure osseuse. »

p.175

« La cavité de la rampe moyenne est remplie le long de son bord intérieur en b, et de son bord extérieur en mn, de grosses cellules sphériques transparentes. Dans la partie moyenne qui, selon Deiters, n'a pas de ces cellules, on trouve donc les prolongements dont il s'agit ici. Les plus forts et les plus saillants sont les arcs ou fibres de Corti. Chacun d'eux consiste en une partie ascendante d d, ou fibre de la première série, et une partie descendante ou fibre de la seconde série. Les fibres de la première série sont des prolongements plans, faiblement recourbés en S, qui s'élèvent au moyen d'un renflement inférieur de la membrana basilaris à laquelle ils sont fixés, et se terminent en haut par une sorte de point d'articulation, formant la jonction avec les fibres de la seconde série. Dans la figure 44 on voit un grand nombre de ces fibres ascendantes, régulièrement disposées les unes à côté des autres. Elles sont placées de la même manière et très-serrées dans toute la longueur de la membrane du limaçon, en sorte qu'on peut estimer leur nombre à plusieurs milliers. »

p.184

« Un son simple arrive-t-il à l'oreille, il ébranlera fortement les fibres de Corti qui sont exactement ou à peu près, à l'unisson avec lui ; toutes les autres ne seront que peu ou point ébranlées. Tout son simple d'une hauteur déterminée ne sera donc ressenti que par certaines fibres nerveuses, et des sons de hauteurs différentes exciteront des fibres différentes. S'il

arrive à l'oreille un son complexe ou un accord, il affecte tous les prolongements élastiques correspondant aux divers sons simples contenus dans la masse sonore; aussi, avec une attention bien dirigée, pourra-t-on percevoir toutes les sensations isolées correspondant aux divers sons simples. L'accord ou le son complexe devront donc être décomposés en leurs éléments constitutifs.[...]

Au point de vue physiologique, il faut encore remarquer ici que, par cette hypothèse, les qualités diverses de la sensation auditive, hauteur et timbre, sont ramenées à la différence des fibres mises en mouvement. C'est là un progrès du même genre, que celui qu'a réahsé, dans un domaine plus vaste, J. Millier, par sa théorie des énergies spécifiques des sens. Il a démontré que la diversité des sensations perçues par les différents sens ne dépend pas des agents extérieurs, producteurs de la sensation, mais des divers appareils nerveux destinés à la percevoir.[...]

De même que l'oreille perçoit les vibrations de durées différentes comme des sons de hauteurs différentes, de même aussi les vibrations de l'éther qui présentent des durées différentes, éveillent dans l'œil la sensation de couleurs distinctes ; les plus rapides correspondent au violet et au bleu, celles de vitesse moyenne au vert et au jaune, les plus lentes au rouge. Les lois du mélange des couleurs ont conduit Th. Young à supposer qu'il y a dans l'œil trois sortes de fibres nerveuses, correspondant à diverses espèces de sensations, savoir les fibres du rouge, du vert et du violet. En réalité, cette hypothèse donne une explication très-simple et parfaitement rigoureuse de tous les phénomènes visuels relatifs aux couleurs. Les différences qualitatives des sensations visuelles sont donc ainsi ramenées à la diversité des nerfs qui perçoivent ces sensations.

Il en est de même pour l'oreille, d'après l'hypothèse à laquelle nous conduisent nos recherches sur le timbre. Les différences de la qualité du son, c'est-à-dire la hauteur et le timbre, sont ramenées à la diversité des fibres nerveuses percevant la sensation, et, pour chaque fibre prise isolément, il ne reste que les différences provenant de l'intensité de l'excitation. »

Une nouvelle définition de la consonance et de la dissonance : l'étude des battements

*Vers l'harmonie !!!*

p.199

« Des sons de même hauteur , au contraire, ou de hauteurs presque égales , et qui viennent ébranler les mêmes fibres nerveuses, ne donnent pas simplement la somme des sensations que chaque son produirait agissant seul ; il se présente encore de nouveaux phénomènes d'un ordre particulier, qu'on appelle interférences quand il s'agit de deux sons identiques, et battements, quand il s'agit de deux sons presque identiques. »

p.206

« [...] Cherchons maintenant ce qui va se produire par l'émission simultanée de deux sons dont les hauteurs présentent quelque différence. La sirène double, précédemment décrite, est encore d'un grand secours pour étudier ce nouveau cas.[...]

Nous entendons alors ce qu'on appelle des battements du son, c'est-à-dire que l'intensité présente des renforcements et des affaiblissements, se succédant alternativement et d'une manière régulière.[...]

Le nombre des battements dans un temps donné, se trouve donc égal à la différence entre les nombres de vibrations exécutées pendant le même temps par les deux sons considérés. C'est là la loi générale qui détermine le nombre des battements pour les sons de toute espèce. »

p.230

« Nous nous sommes jusqu'ici bornés à considérer des battements dus à l'émission de deux sons simples, sans mélange d'harmoniques ou de sons résultants. Ces battements ne pouvaient prendre naissance que si les deux sons simples, émis simultanément, sont séparés l'un de l'autre par un intervalle relativement petit ; si cet intervalle atteint seulement la valeur d'une tierce mineure, les battements cessent d'être appréciables. Il est cependant bien connu, que des battements peuvent encore se produire, par l'émission simultanée de deux sons séparés par un intervalle beaucoup plus grand ; nous verrons même bientôt que ces battements jouent un rôle capital dans la détermination des intervalles consonnants de nos gammes musicales ; aussi allons-nous ici les étudier à fond. Les battements de ce genre, produits par des sons distants de plus d'une tierce mineure, sont dus à l'influence des harmoniques et des sons résultants.[...]

Si deux sons, présentant des harmoniques, sont émis simultanément, il est facile de voir, d'après ce qui précède, qu'il peut se produire des battements, toutes les fois que deux des harmoniques des deux sons respectifs sont suffisamment voisins l'un de l'autre, ou même si l'un des sons fondamentaux se rapproche d'un des harmoniques de l'autre. Le nombre des battements produits est naturellement égal à la différence des nombres de vibrations des deux sons partiels producteurs des battements. »

*Définition de la dissonance*

p.248

« Si deux sons musicaux résonnent simultanément, l'accord qu'ils forment est en général troublé par les battements que produisent entre eux les harmoniques respectifs des deux sons, en sorte qu'une plus ou moins grande portion de la masse sonore se divise en secousses discontinues, et l'accord devient dur. Nous donnons à ce phénomène le nom de dissonance. »

p.249

« 1. Les consonnances les plus parfaites sont celles que nous avons appelées consonnances absolues et où le son fondamental de l'une des notes coïncide avec l'un des harmoniques de l'autre. A cette catégorie appartiennent V octave<sup>^</sup> la douzième et la double octave.

2. Viennent ensuite la quinte et la quarte, que nous pouvons appelons consonnances parfaites, parce qu'elles peuvent être employées dans toutes les régions de la gamme, sans altération sensible de l'harmonie de l'intervalle. La quarte est moins parfaite comme consonnance que la

quinte ; elle se rapproche des consonnances du groupe suivant. Elle ne présente guère d'autre avantage essentiel, dans la pratique, que d'être le complément de la quinte pour former l'octave ; nous y reviendrons dans un prochain chapitre.

3. Le groupe suivant est formé de la sixte majeure et de la tierce majeure, que nous pouvons appeler consonnances moyennes. Les anciens harmonistes ne les considéraient que comme des consonnances imparfaites. L'altération de l'harmonie de l'intervalle est déjà très-appréciable dans le grave, mais disparaît dans le haut, parce que les battements trop nombreux se confondent. Dans les bons timbres musicaux, ces deux intervalles ont encore la propriété d'être bien caractérisés par eux-mêmes, parce que le moindre écart de la justesse produit dans les harmoniques des battements appréciables ; aussi ces deux intervalles se distinguent-ils nettement des intervalles voisins.

4. Quant aux consonnances imparfaites de la tierce mineure et de la sixte mineure, elles ne sont plus, en général, caractérisées par elles-mêmes, parce que les harmoniques extrêmes manquent souvent pour la tierce, et ordinairement pour la sixte, dans les bons timbres ; aussi de petits écarts de la justesse n'entraînent-ils pas ici nécessairement des battements. »

p.478

« Dans la dernière partie de ce livre, je me suis efforcé de prouver, que la construction des gammes et des formes harmoniques est un produit de l'invention artistique, et nullement le résultat immédiat de la structure ou des activités naturelles de notre oreille, comme on l'a prétendu jusqu'ici le plus souvent. Les lois naturelles de nos activités auditives y jouent, à la vérité, un rôle d'une grande et considérable importance ; elles sont, en quelque sorte, les matériaux que le sentiment artistique de l'homme a mis en œuvre, pour élever l'édifice de notre système musical, dont la structure ne peut s'expliquer si l'on ne connaît exactement la nature des parties qui le composent. C'est précisément ce qui ressort très-nettement de l'ensemble de nos études. Mais, de même que les peuples ont été conduits, par la différence de leurs goûts, à construire avec les mêmes pierres des édifices de caractères très-différents, de même aussi nous voyons, dans l'histoire de la musique, les mêmes propriétés de l'oreille humaine servir de base à des systèmes musicaux très-divers. D'après cela, à mon avis, nous ne pouvons douter que non-seulement la naissance des chefs-d'œuvre de la musique, mais même la construction de notre système de gammes, de tons, d'accords, en un mot de tout ce qui rentre ordinairement dans la théorie de l'Harmonie, ne soient une création du sentiment artistique, et, par conséquent, ne doivent être soumises aux lois de la beauté esthétique. Par le fait, depuis Terpandre et Pythagore, pendant une période de deux mille cinq cents ans, l'humanité a travaillé sur le système diatonique auquel elle a fait subir de nombreux changements ; et, comme on peut même encore aujourd'hui le reconnaître dans un grand nombre de cas, les compositeurs les plus distingués sont précisément ceux qui ont introduit dans le système musical, les modifications progressives que leur fournissait spontanément leur imagination, ou qu'ils sanctionnaient par la mise en œuvre artistique de matériaux étrangers. »