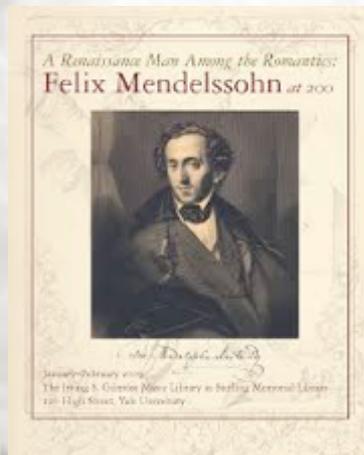


S2 *La théorie physiologique de la musique, de Helmholtz (1821-1894)*

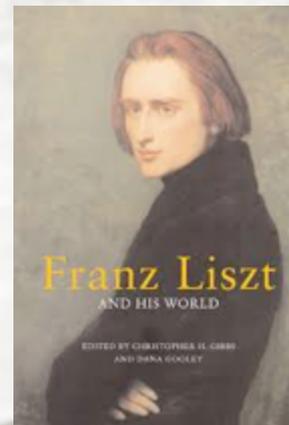
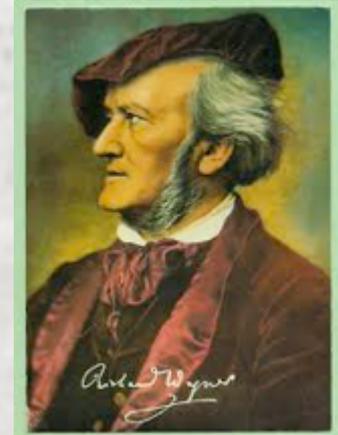


LE CONTEXTE MUSICAL

Le classicisme allemand (Leipzig)



La « musique du futur » ou « New German School »



LE CONTEXTE MUSICAL

Le classicisme allemand

Le formalisme musical : la musique n'a pas de sujet, elle s'auto-suffit.

La « musique du futur » ou « New German School »

Virtuosité

Émotion, aspect dramatique

Hybridation poésie / musique / théâtre



Eduard Hanslick



Franz Brendel, et la Neue Zeitschrift für Musik,

I) Précurseurs : Thomas Young, Georg Simon Ohm, Joseph Fourier, ...

Thomas Young

(13 juin 1773-10 mai 1829), est un physicien, médecin et égyptologue britannique.

Son excellence dans de nombreux domaines non reliés fait qu'il est considéré comme un polymathe, au même titre par exemple que Léonard de Vinci, Gottfried Leibniz ou Francis Bacon. Son savoir était si vaste qu'il fut connu sous le nom de phénomène Young.

Il exerça la médecine toute sa vie, mais il est surtout connu pour sa définition du module de Young en science des matériaux et pour son expérience des fentes de Young en optique, dans laquelle il mit en évidence et interpréta le phénomène d'interférences lumineuses. Il s'intéressa également à l'égyptologie en participant à l'étude de la pierre de Rosette.



Thomas Young
(1773-1829)

I) Précurseurs : Thomas Young, Georg Simon Ohm, Joseph Fourier, ...

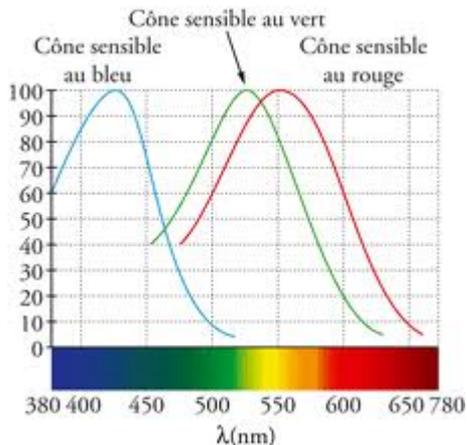
Vision et théorie de la couleur



Thomas Young
(1773-1829)

Young est considéré comme le fondateur de l'optique physiologique. En 1793 il explique comment l'œil accommode la vision à différentes distances en modifiant la courbure du cristallin. En 1801 il est le premier à décrire l'astigmatisme.

En 1802, il présente dans ses conférences l'hypothèse que la perception de la couleur est due à la présence sur la rétine de trois types de récepteurs qui réagissent respectivement au rouge, au vert et au bleu. Il existerait donc dans l'œil 3 sortes de fibres nerveuses spécifiques. Nous ne ressentons donc que 3 sensations de couleurs distinctes, données par les 3 « résonateurs » spécifiques que sont les types différents de fibres nerveuses, **sensations** à partir desquelles sont produites des **perceptions** différenciées de couleurs.



I) Précurseurs : Thomas Young, Georg Simon Ohm, Joseph Fourier, ...



Johannes Peter Müller

1801 -1858 , Berlin

médecin, physiologiste, ichtyologiste et professeur d'anatomie comparée allemand.

Handbuch der Physiologie des Menschen (entre 1833 et 1840) :
étape importante dans le développement de la physiologie.

Pour la première fois, les connaissances issues de la chimie et de la physique complètent les observations obtenues par l'anatomie comparative et humaine. La partie la plus importante concerne le fonctionnement du système nerveux impliqué dans les sens.

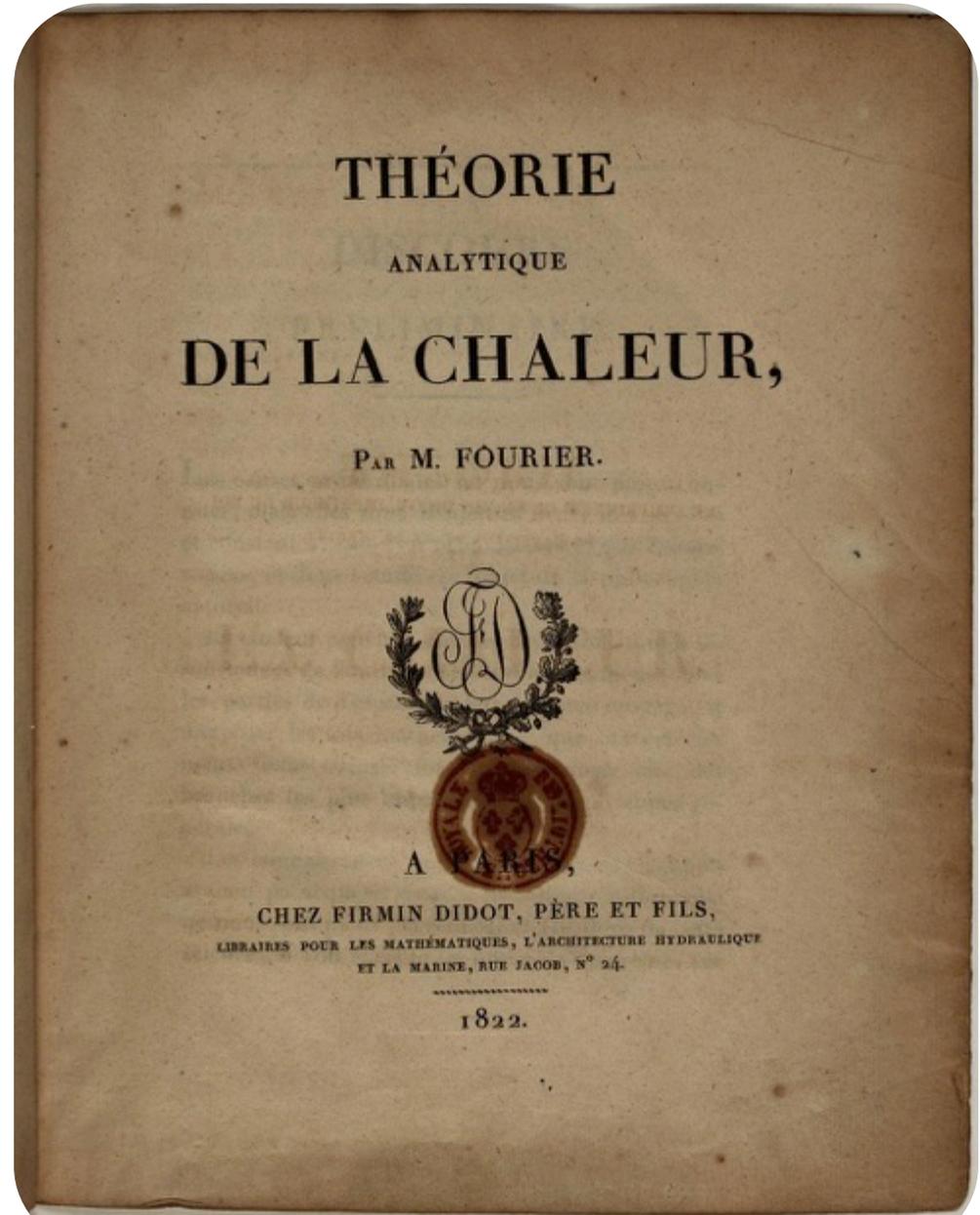
Loi des énergies spécifiques des nerfs :

un nerf donné n'est réceptif qu'à un seul type de sensation (visuelle, auditive...), et ce en fonction de l'organe auquel il est corrélé. Alors même que les nerfs sont tous du même type et que l'influx nerveux qui est transmis par eux est toujours de même nature, chaque organe se voit ainsi associé à un cercle limité de sensations tandis qu'il reste aveugle aux autres. Le contenu des vécus perceptifs est largement fonction de la constitution de l'appareil cognitif, les sensations ne sont donc pas de simples reflets de la réalité qui les cause.

I) Précurseurs : Thomas Young, Georg Simon Ohm, Joseph Fourier, ...



1768 - 1830



I) Précurseurs : Thomas Young, Georg Simon Ohm, Joseph Fourier, ...

L'énoncé du problème

En régime permanent, quelle est la température en chacun des points de cette masse solide homogène ?

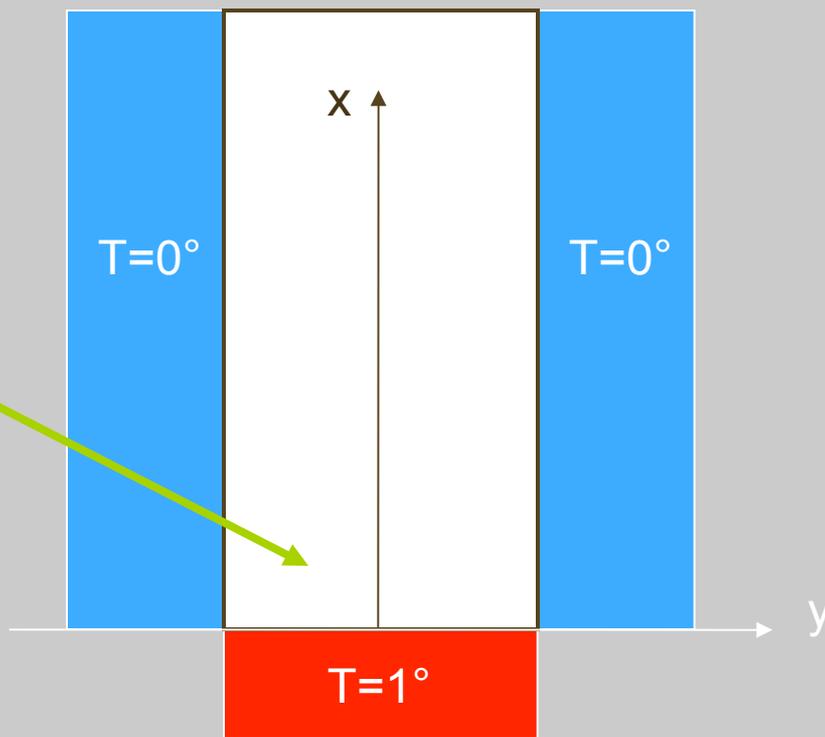


Figure dans le plan de coupe

Les limites en y : $-\pi/2$ et $+\pi/2$

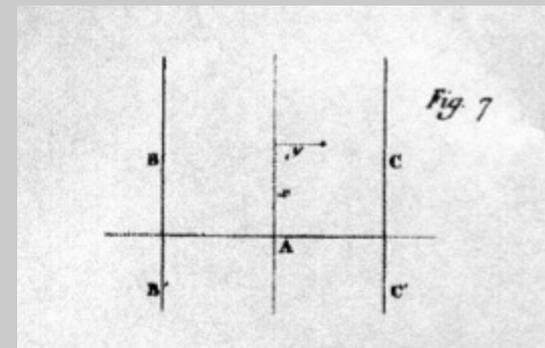
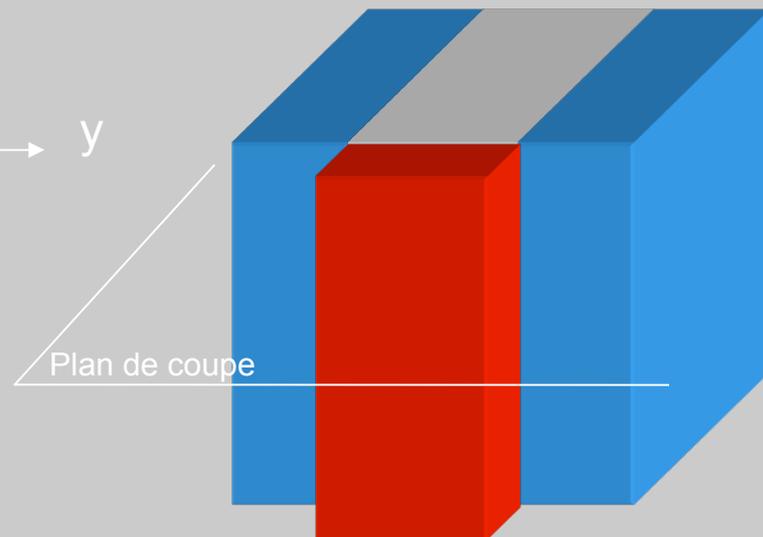


Figure originale



I) Précurseurs : Thomas Young, Georg Simon Ohm, Joseph Fourier, ...

toujours 1, et que les côtés B et C conservent dans tous leurs points la température 0.

Si l'on élevait en chaque point m une coordonnée verticale égale à la température v , on formerait une surface courbe qui s'étendrait au-dessus de la lame et se prolongerait à l'infini. Nous chercherons à connaître la nature de cette surface qui passe par une ligne parallèle élevée au-dessus de l'axe des y , à une distance égale à l'unité, et qui coupe le plan horizontal, suivant les deux arêtes infinies parallèles aux x .

166.

Pour appliquer l'équation générale

$$\frac{dv}{dt} = \frac{K}{G, D} \left(\frac{d^2v}{dx^2} + \frac{d^2v}{dy^2} + \frac{d^2v}{dz^2} \right),$$

on considérera que, dans le cas dont il s'agit, on fait abstraction d'une coordonnée z , en sorte que le terme $\frac{d^2v}{dz^2}$ doit être omis; quant au premier membre $\frac{dv}{dt}$, il s'évanouit, puisqu'on veut déterminer les températures stationnaires; ainsi l'équation qui convient à la question actuelle, et détermine les propriétés de la surface courbe cherchée est celle-ci,

$$\frac{d^2v}{dx^2} + \frac{d^2v}{dy^2} = 0 \quad (a).$$

La fonction de x et y , $\varphi(x, y)$ qui représente l'état permanent du solide BAC, doit 1° satisfaire à l'équation (a); 2° devenir nulle lorsqu'on substitue $-\frac{1}{2}\pi$ ou $+\frac{1}{2}\pi$ au lieu de y , quelle que soit d'ailleurs la valeur de x ; 3° elle doit être égale à l'unité, si l'on suppose $x=0$, et si l'on attribue à y

à remplir une troisième condition, qui est exprimée ainsi : $\varphi(0, y) = 1$, et il est nécessaire de remarquer que ce résultat doit avoir lieu lorsqu'on met pour y une valeur quelconque, comprise entre $-\frac{1}{2}\pi$ et $+\frac{1}{2}\pi$. On ne peut en rien inférer pour les valeurs que prendrait la fonction $\varphi(0, y)$, si l'on mettait au lieu de y une quantité non comprise entre les limites $-\frac{1}{2}\pi$ et $+\frac{1}{2}\pi$. L'équation (b) doit donc être assujétie à la condition suivante :

$$1 = a \cos. y + b \cos. 3y + c \cos. 5y + d \cos. 7y + \text{etc.}$$

C'est au moyen de cette équation que l'on déterminera les coefficients a, b, c, d, \dots etc. dont le nombre est infini.

Le second membre est une fonction de y , qui équivaut à l'unité, toutes les fois que la variable y est comprise entre $-\frac{1}{2}\pi$ et $+\frac{1}{2}\pi$. On pourrait douter qu'il existât une pareille fonction, mais cette question sera pleinement éclaircie par la suite.

170.

Avant de donner le calcul des coefficients, nous remarquerons l'effet que représente chacun des termes de la série dans l'équation (b).

Supposons que la température fixe de la base A, au lieu d'être égale à l'unité pour tous ses points, soit d'autant moindre que le point de la droite A est plus éloigné du milieu 0, et qu'elle soit proportionnelle au cosinus de cette distance; on connaîtra facilement dans ce cas la nature de la surface courbe, dont l'ordonnée verticale exprime la température v ou $\varphi(x, y)$. Si l'on coupe cette surface à l'origine

I) Précurseurs : Thomas Young, Georg Simon Ohm, Joseph Fourier, ...

tion $\frac{d^2 v}{dx^2} + \frac{d^2 v}{dy^2} = 0$. On connaît ainsi la route que suit la chaleur qui sort du foyer A. Elle se propage dans le sens des x , et en même temps elle se décompose en deux parties, dont l'une se dirige vers une des arêtes, tandis que l'autre partie continue de s'éloigner de l'origine, pour être décomposée comme la précédente et ainsi de suite à l'infini. La surface que nous considérons est engendrée par la courbe trigonométrique, qui répond à la base A, et se meut perpendiculairement à l'axe des x en suivant cet axe, pendant que chacune de ses ordonnées décroît à l'infini, proportionnellement aux puissances successives d'une même fraction.

On tirerait des conséquences analogues, si les températures fixes de la base A étaient exprimées par le terme

$$b \cos. 3y \text{ ou } c \cos. 5y \text{ etc. ;}$$

et l'on peut, d'après cela, se former une idée exacte du mouvement de la chaleur dans les cas plus généraux; car on verra par la suite que ce mouvement se décompose toujours en une multitude de mouvements élémentaires, dont chacun s'accomplit comme s'il était seul.

SECTION II.

Premier exemple de l'usage des séries trigonométriques dans la théorie de la chaleur.

171.

Nous reprendrons maintenant l'équation

$$1 = a \cos. y + b \cos. 3y + c \cos. 5y + d \cos. 7y + \text{etc. ,}$$

I) Précurseurs : Thomas Young, Georg Simon Ohm, Joseph Fourier, ...



Georg Ohm
(1789-1854)

1826 Professeur au collège de guerre de Berlin

1827 loi fondamentale des courants électriques
(relation entre tension et intensité du courant)

Vers 1830 met en évidence le phénomène de
polarisation dans les piles

1833 Professeur de l'Ecole polytechnique de
Nuremberg

1843 montre que l'oreille peut percevoir des
vibrations sinusoïdales en les distinguant au
sein d'un ensemble, et donne une théorie de la
sirène

1849 Professeur de physique à l'Université de
Munich

1852 étudie les interférences des rayons
lumineux dans les lames cristallines

I) Précurseurs : Thomas Young, Georg Simon Ohm, Joseph Fourier, ...



Georg Ohm
(1789-1854)

Loi d'Ohm acoustique (1843)

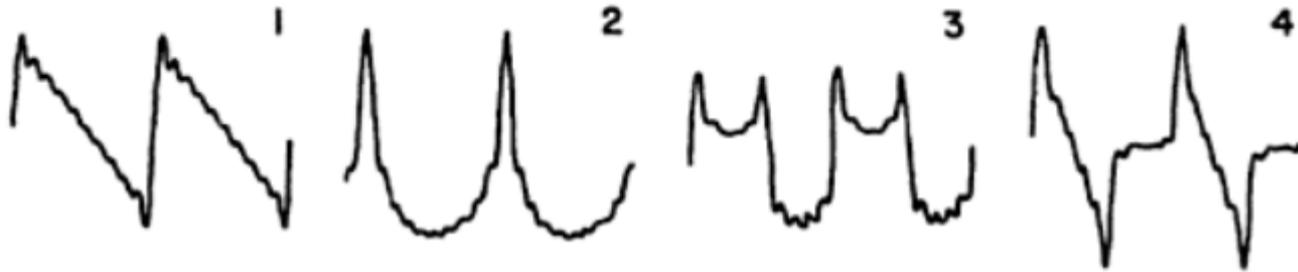


FIGURE 1 The waves 1 to 4 correspond to tones generated with the same spectrum but with different phase relations between the components: these tones with quite different waveforms sound very similar (Plomp, 1976).

Source : The psychology of music / ed. by Diana Deutsch. - 2nd ed.

I) Précurseurs : Thomas Young, Georg Simon Ohm, Joseph Fourier, ...

Loi d'Ohm acoustique (1843)

Dispute OHM vs SEEBECK



Georg Ohm
(1789-1854)

Approche
mathématique

Application de la
décomposition de Fourier
à l'acoustique :

Hauteur perçue =
fréquence la plus faible,
fréquence fondamentale

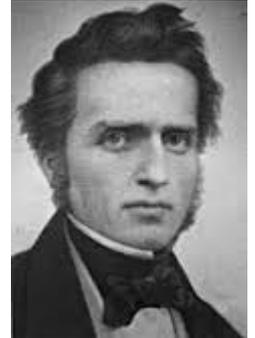
Aucune application au
concept de timbre

Influence = Chladni.

Cherche à libérer l'acoustique
de la dépendance à l'oreille

Approche expérimentale
et sensorielle (sirène)

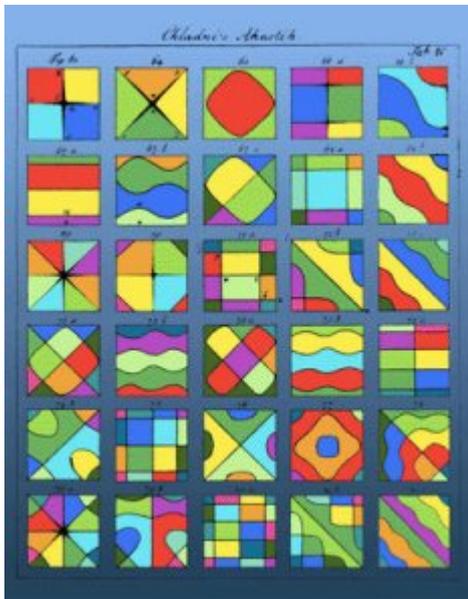
Détection par l'oreille
de sons plus graves
que le nombre de
trous du disque de la
sirène



Seebeck forcera Ohm à quitter le domaine acoustique
Ohm uniquement connu aujourd'hui pour ses travaux
en électricité !

Dispute = résonance Pythagore vs Aristoxène ?

Ernst Chladni (1756-1827)



Si nous frappons une **plaque métallique mince**, posée de telle sorte qu'elle ne soit pas amortie par un contact, elle se met à vibrer pendant un moment. Généralement cela produit un son qui est soit un bruit soit quelque chose de plus musical, une note continue. Puis la vibration s'atténue et s'arrête.

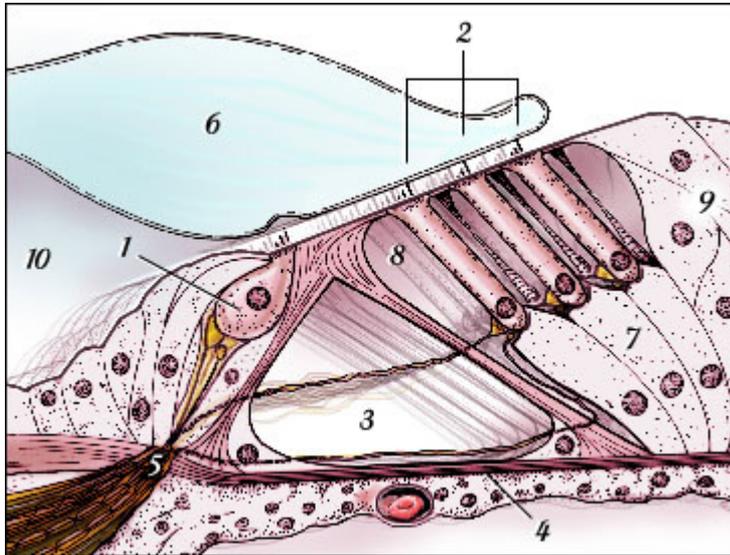
Il existe un procédé facile à mettre en œuvre pour VOIR les vibrations de la plaque. Il consiste à **saupoudrer la plaque avec une poudre fine**: sable, sel ou semoule, par exemple.

Il y a différentes façons de **faire vibrer la plaque**. Lui donner un choc ne suffit pas car la vibration s'éteint rapidement. Il faut que **la vibration soit entretenue** pour que les grains de poudre aient le temps de se déplacer et de s'organiser. Une méthode simple est de placer la plaque au-dessus d'un **haut-parleur**, dont on peut faire varier à volonté la hauteur du son émis. Sous l'effet des secousses transmises par le son, les grains se déplacent comme lorsqu'on secoue légèrement un tapis. Ils se rassemblent dans les endroits les plus calmes et y forment des lignes.

Pour certaines fréquences précises, les lignes divisent la plaque en cellules souvent symétriques et dessinent des figures géométriques impressionnantes.

I) Précurseurs : Thomas Young, Georg Simon Ohm, Joseph Fourier, ...

Alfonso Corti (1822–1888)



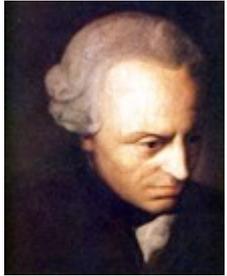
- 1-Cellule ciliée interne (CCI)
- 2-Cellules ciliées externes (CCEs)
- 3-Tunnel de Corti
- 4-Membrane basilaire
- 5-Habenula perforata
- 6-Membrane tectoriaie
- 7-Cellules de Deiters
- 8-Espaces de Nuel
- 9-Cellules de Hensen
- 10-Sillon spiral interne

<http://www.neuoreille.com/promenade/francais/corti/cofunct/cofunct.htm>

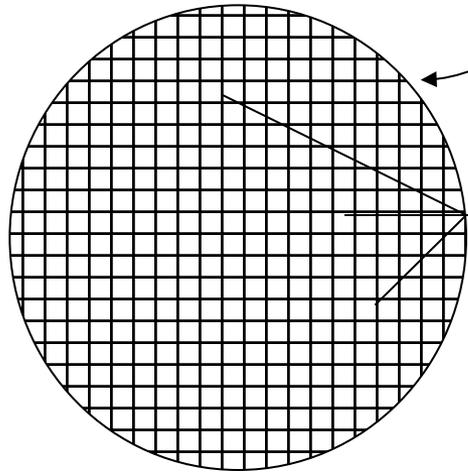
I) Précurseurs : Thomas Young, Georg Simon Ohm, Joseph Fourier, ...

RAISON

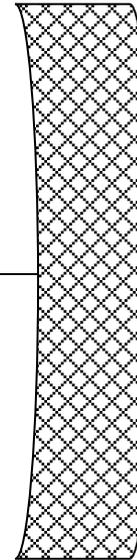
Kant (1724-1804), philosophe newtonien



Principes
régulateurs



PERCEPTIONS



SENSATIONS

Entendement :
substance, causalité,
unité, contingence,...

Sensibilité :
espace
temps

Chose
en soi

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE..... VII
 INTRODUCTION..... I
 Rapports entre la musique et l'acoustique. Distinction de l'acoustique physique et de l'acoustique physiologique. Plan de l'ouvrage.

PREMIÈRE PARTIE

COMPOSITION DES VIBRATIONS.

HARMONIQUES ET TIMBRES.

CHAPITRE PREMIER. — **De la sensation auditive en général.**..... 11
 Bruits et sons. — Propriétés générales des mouvements ondulatoires. — L'intensité du son dépendant de l'amplitude, et la hauteur de la durée des vibrations. — Rapports numériques simples des intervalles consonnants. — Calcul des nombres de vibrations pour toute la gamme. — Idée de la forme des vibrations. — Construction graphique. Sons partiels harmoniques.

CHAPITRE II. — **Composition des vibrations.**..... 32
 Composition des ondes étudiée sur les ondes liquides. — Addition algébrique des différents éléments des ondes. — Ondes analogues dans l'air. — Conditions pour que les vibrations composées soient périodiques. — Décomposition de tout mouvement périodique de l'air en vibrations pendulaires simples, correspondant à la décomposition du son en harmoniques, trouvée par Ohm.

CHAPITRE III. — **Analyse des sons au moyen des vibrations d'influence.**..... 48
 Explication mécanique du phénomène de l'influence. — Différences entre les diapasons et les membranes sous ce rapport. — Description des résonateurs. — Vibrations d'influence des corde.

CHAPITRE IV. — **Analyse des sons au moyen de l'oreille.**..... 67
 Méthodes pour observer les sons partiels. — Démonstration de la loi de Ohm pour différents corps sonores. — Discussion entre Ohm et Seebeck. — Les difficultés de l'observation des harmoniques rattachées à une propriété générale de toutes nos perceptions.

CHAPITRE V. — **Différences des timbres musicaux.**..... 92
 Définition de l'idée de timbre musical. — Recherches sur les différents sons au point de vue des harmoniques.

1. Sons simples..... 97
 2. Sons munis d'harmoniques faux..... 98
 3. Sons des cordes..... 103
 4. Sons des instruments à archet..... 113
 5. Sons des tuyaux de flûte..... 123
 6. Sons des tuyaux à anche..... 127
 7. Sons des voyelles..... 135
 Considérations générales..... 150

CHAPITRE VI. — **Perception des timbres.**..... 152
 Influence de la différence de phase. — Expériences sur des diapasons mus par l'électricité. — Hypothèse sur l'appareil auditif. — Description de l'oreille.

DEUXIÈME PARTIE

DES SONS SIMULTANÉS.

SONS RÉSULTANTS ET BATTEMENTS. — CONSONNANCE ET DISSONNANCE.

CHAPITRE VII. — **Sons résultants.**..... 191
 Naissance des sons résultants quand les vibrations composantes ne sont pas infiniment petites. — Description et loi du phénomène. — Sons résultants de différents ordres.

CHAPITRE VIII. — **Battelements des sons simples.**..... 199
 Interférences. — Description de la sirène double. — Battements; loi du phénomène.

CHAPITRE IX. — **Limite des sons graves perceptibles.**..... 222
 Insuffisance des expériences faites jusqu'ici. — Emploi de la sirène double et des battements. — Au-dessous de 40 vibrations, les sons se transforment en un tremblement discontinu dont la hauteur n'est pas bien déterminée. — Secousses aériennes de sons beaucoup plus élevés perçues au moyen des battements de leurs harmoniques.

CHAPITRE X. — **Battelements des harmoniques.**..... 210
 Battements exécutés par deux harmoniques de deux sons voisins; coïncidence de deux harmoniques de deux sons déterminant la consonnance de l'intervalle formé par ces derniers. Classification des consonnances d'après la netteté de leur distinction avec les dissonnances voisines. — Nombre de battements des consonnances faussées, et leur influence sur la dureté. — Influence de chaque consonnance sur ses voisines. — Classification des consonnances suivant leur harmonie.

CHAPITRE XI. — **Battelements des sons résultants.**..... 253
 Les sons différentiels de premier ordre de deux sons peuvent donner des battements d'une grande netteté. — Battements plus faibles des sons résultants d'ordre supérieur perceptibles pour les sons simples. Influence du timbre sur le mordant des dissonnances et l'harmonie des consonnances.

CHAPITRE XII. — Des accords	272
Accords consonnants de trois sons. — Différence entre les accords majeurs et mineurs, provenant des sons résultants. — Différences dans l'harmonie des divers renversements des accords de trois et de quatre sons. — Résumé des deux premières parties de l'ouvrage.	

TROISIÈME PARTIE

AFFINITÉS DES SONS.

GAMMES ET TONALITÉS.

CHAPITRE XIII. — Aperçu historique des principes générateurs des différents styles.....	303
Différences entre la méthode scientifique et la méthode esthétique. — Gammes, tonalités, formation de l'harmonie provenant non-seulement de causes naturelles, mais aussi de principes de style. Trois périodes principales à distinguer.....	
1. Musique homophone.....	309
2. Musique polyphone.....	318
3. Musique harmonique.....	323
CHAPITRE XIV. — Tonalité de la musique homophone	329
Raison esthétique de la loi de progression discontinue dans la gamme. — Affinité mélodique des sons reposant sur l'identité de deux sons partiels. — L'octave, la quinte, la quarte ainsi déterminées. — Les plus anciennes gammes formées par des suites de quintes. — Gammes à cinq sons des Chinois et des Gaëls ; chromatiques et enharmoniques des Grecs ; gammes diatoniques à sept sons de Pythagore. — Modes des Grecs et du plain-chant. — Construction rationnelle des gammes diatoniques fondée sur les affinités des sons. — Nouvelle notation proposée. — Découverte des tierces de la gamme naturelle dans la musique arabe-persane. — Rôle de la sensible ; modifications introduites par elle dans les gammes modernes.	
CHAPITRE XV. — Accords consonnants du son	330
Accords représentant les sons. — Tous les sons ramenés aux plus étroites affinités dans les harmonies majeures des airs populaires. — Double acception des accords mineurs. — Accord tonique, centre attractif des autres. — Parmi les anciens modes, le majeur et le mineur particulièrement appropriés aux exigences harmoniques. — Traces laissées par les autres dans la musique moderne.	
CHAPITRE XVI. — Système des tons	408
Caractères absolus et relatifs des différents tons. — Usage des modulations conduisant à l'emploi des intervalles tempérés. — Simplification du système d'Hauptmann qui le rend pratique. — Description d'un harmonium juste. — Défauts du tempérament. — Règles de la modulation dans la gamme naturelle.	
CHAPITRE XVII. — Des accords dissonnants	435
Dénombrement des intervalles dissonnants de la gamme. — Accords	

dissonnants de trois et quatre sons (accords de septième). — Notes dissonnantes. — Accords dissonnants représentant des sons.	
CHAPITRE XVIII. — Lois de la conduite des parties	459
Enchaînement des sons dans une mélodie. — Règles qui en découlent pour le mouvement des notes dissonnantes. — Résolution des dissonnances. — Enchaînement des accords. — Résolution des accords de septième ; octaves et quintes de suite. — Progression horizontale non harmonique.	
CHAPITRE XIX. — Points de contact avec l'esthétique	478
Intuition inconsciente des lois esthétiques dans les œuvres d'art. — Lois de la succession mélodique des sons reposant sur un acte de la sensation et non de la pensée consciente. — De même, pour la différence de la consonnance et de la dissonnance. — Conclusion.	

SUPPLÉMENTS.

SUPPLÉMENT I. — Dimensions et construction des résonateurs.....	487
SUPPLÉMENT II. — Mouvements des cordes pincées.....	489
SUPPLÉMENT III. — Renforcement des sons simples par résonance.....	493
SUPPLÉMENT IV. — Forme de la vibration des cordes de piano.....	497
SUPPLÉMENT V. — Analyse du mouvement des cordes de violon.....	502
SUPPLÉMENT VI. — Influence de la résonance dans les tuyaux à anche..	507
SUPPLÉMENT VII. — Instructions pratiques pour les expériences sur la composition artificielle des voyelles.....	510
SUPPLÉMENT VIII. — Phases des ondes qui prennent naissance dans la résonance.....	514
SUPPLÉMENT IX. — Relation entre l'intensité de la vibration par influence et le temps que met le son à s'éteindre.....	518
SUPPLÉMENT X. — Nouvelle théorie mathématique des sons résultants...	519
SUPPLÉMENT XI. — Description du mécanisme qui permet d'ouvrir les différentes séries de trous de la sirène polyphone.....	523
SUPPLÉMENT XII. — Nombre des battements.....	524
SUPPLÉMENT XIII. — Calcul de l'intensité des battements de différents intervalles.....	526
SUPPLÉMENT XIV. — Battements des sons résultants.....	529
SUPPLÉMENT XV. — Plan d'un instrument juste à un seul clavier.....	532
SUPPLÉMENT XVI. — Application des intervalles naturels au chant.....	534

II.2) Physique / physiologie / psychologie : méthode, interdisciplinarité

p.1

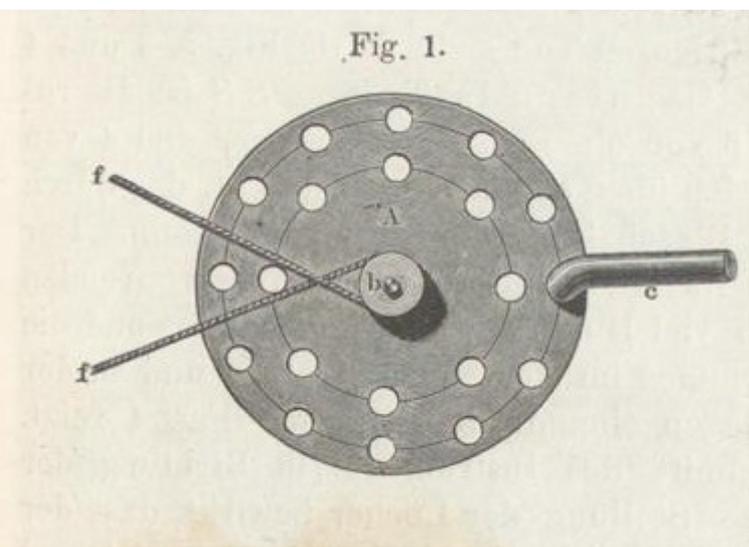
« On s'est proposé dans cet ouvrage de rapprocher, sur leurs frontières communes, des sciences qui, malgré les nombreux rapports naturels qui les unissent, malgré leur voisinage mutuel, sont restées jusqu'ici trop isolées les unes des autres. Il s'agit, d'une part, de l'acoustique physique et physiologique, 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.

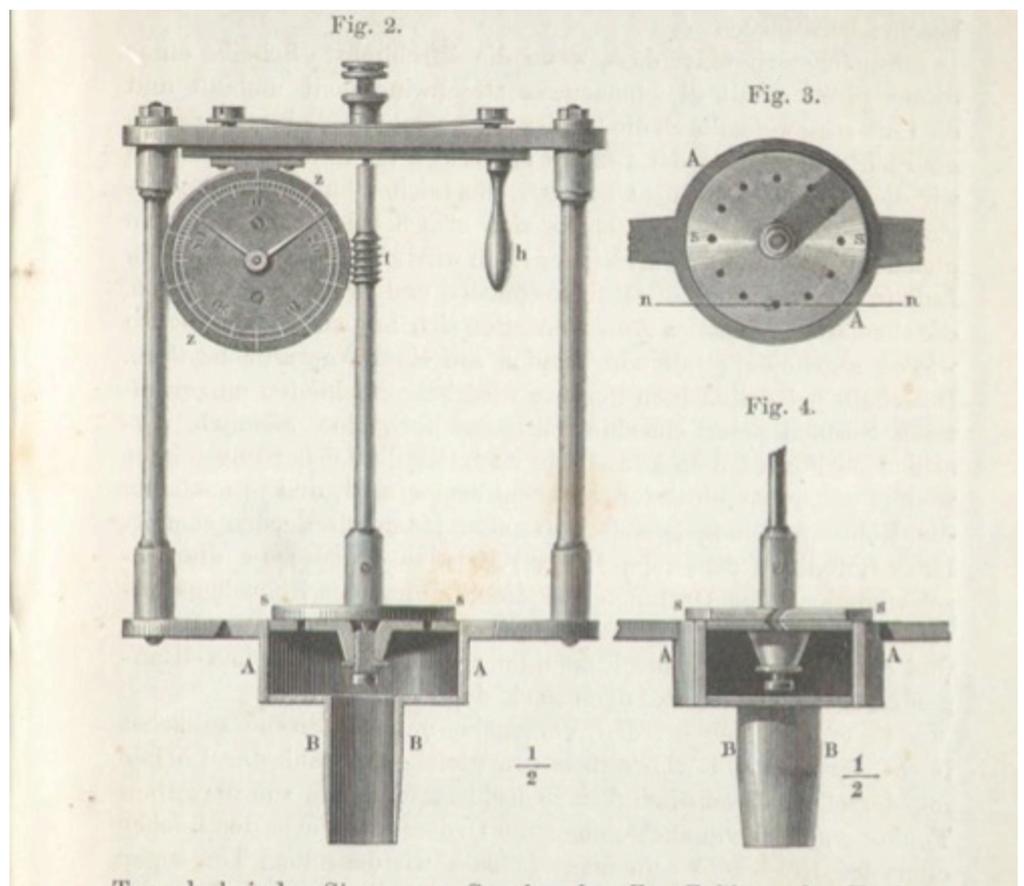
A la vérité, l'acoustique emploie à chaque instant, des idées et des mots empruntés à la science harmonique ; elle parle de la gamme, des intervalles, des accords, etc. ; de leur côté, les traités à l'Harmonie commencent bien, d'ordinaire, par un chapitre consacré à la physique, qui traite des nombres 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 consonances 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 consonances 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? »

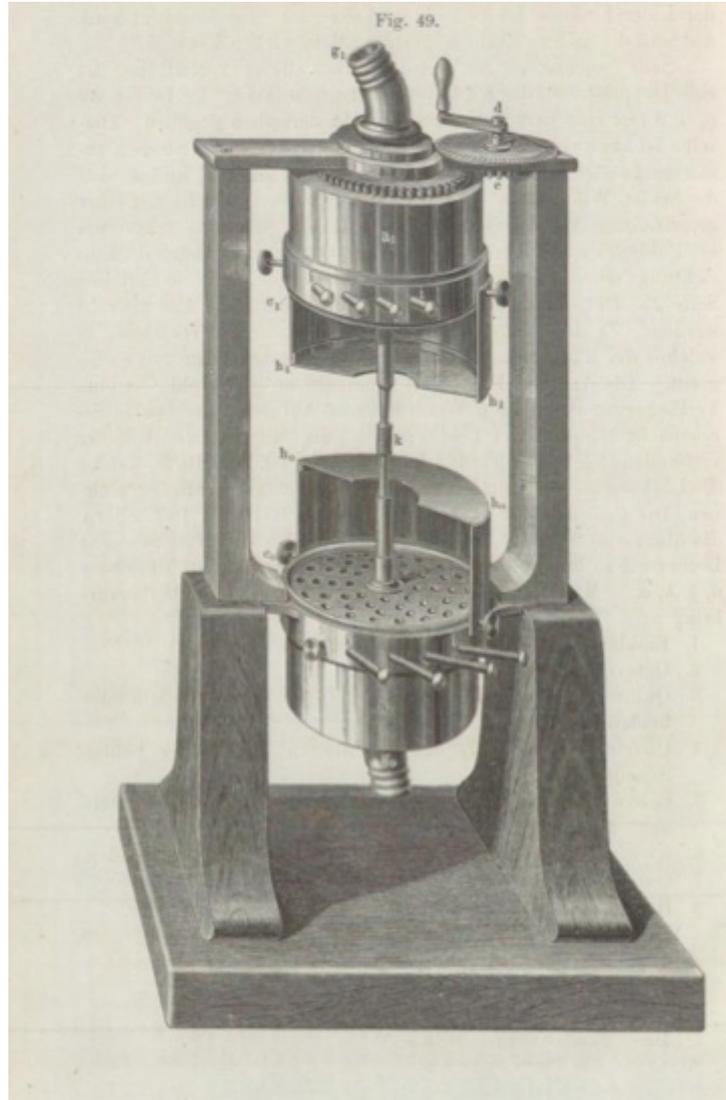
II.3) Le rôle de l'instrumentation : sirène, générateur, résonateur



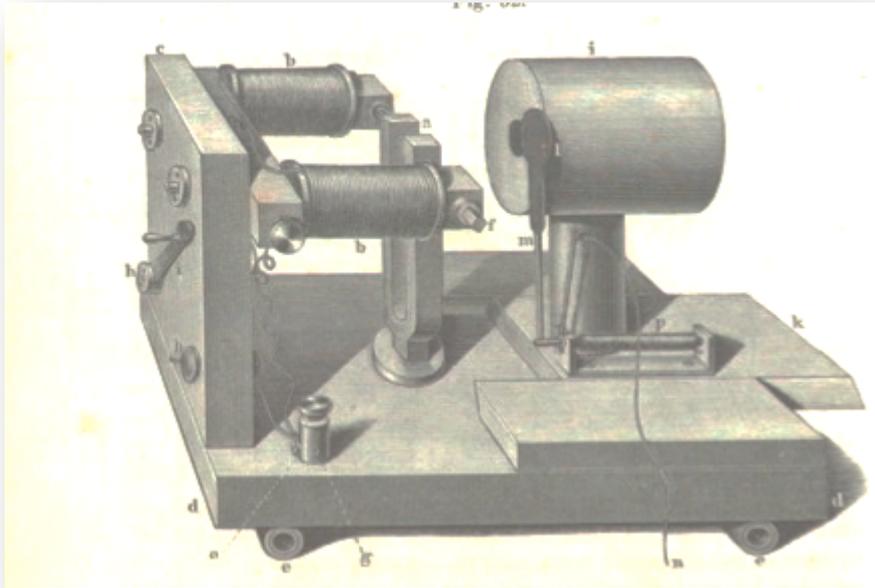
La sirène



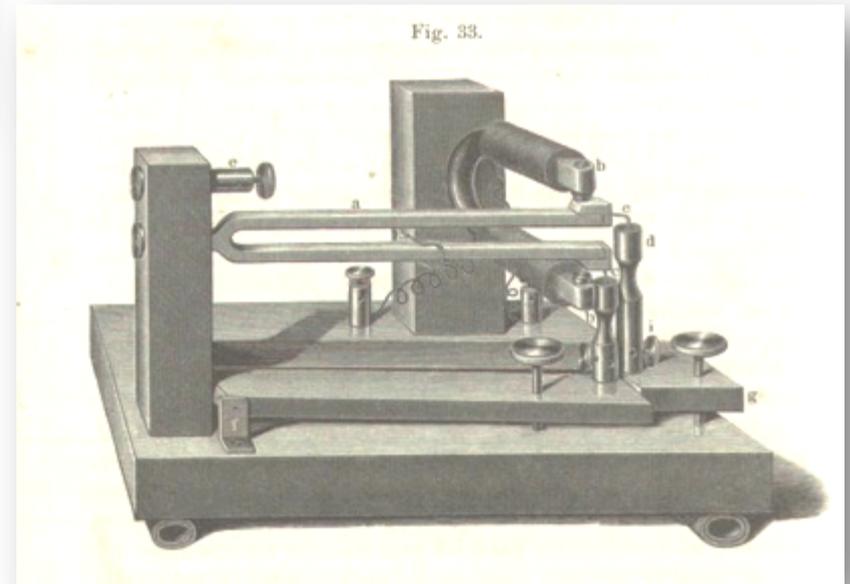
II.3) Le rôle de l'instrumentation : sirène, générateur, résonateur



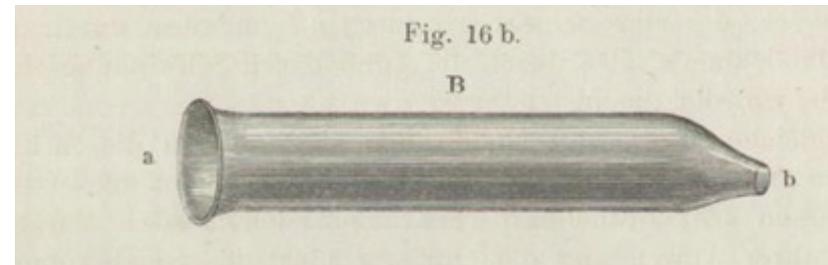
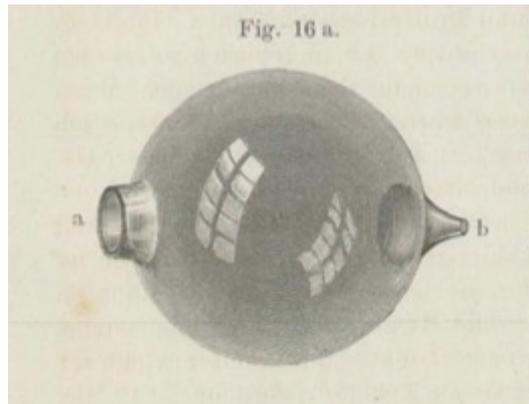
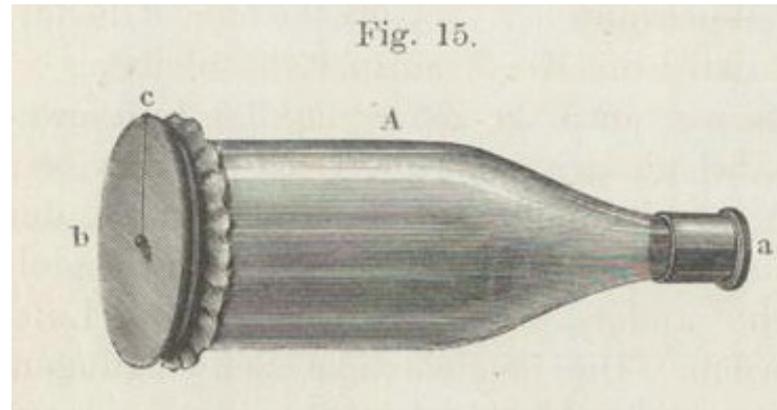
II.3) Le rôle de l'instrumentation : sirène, générateur, résonateur



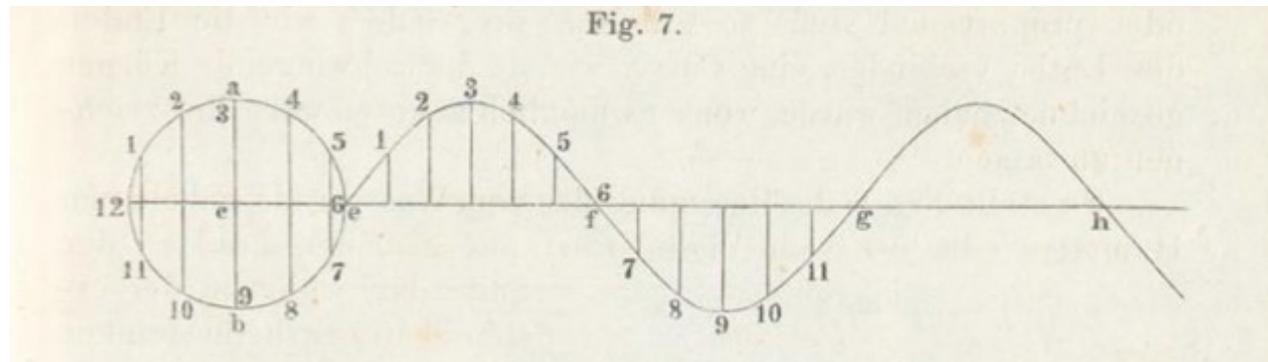
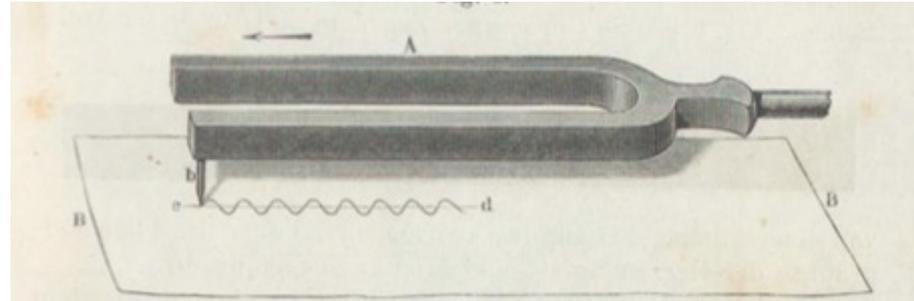
Les générateurs



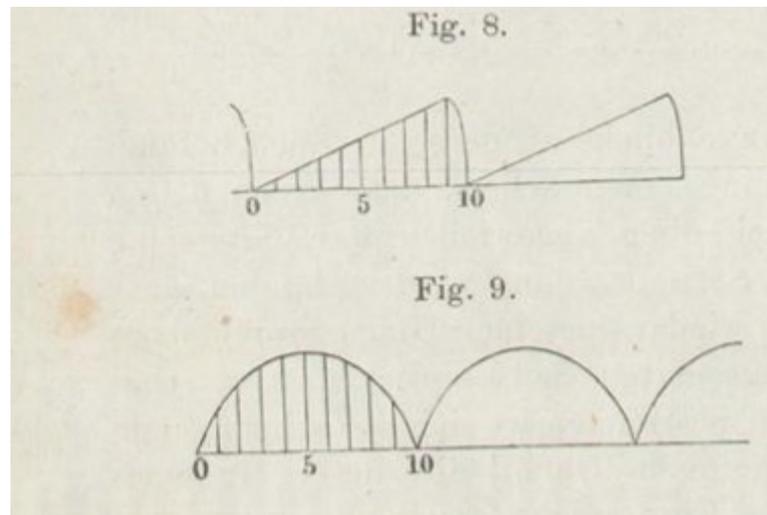
II.3) Le rôle de l'instrumentation : sirène, générateur, résonateur



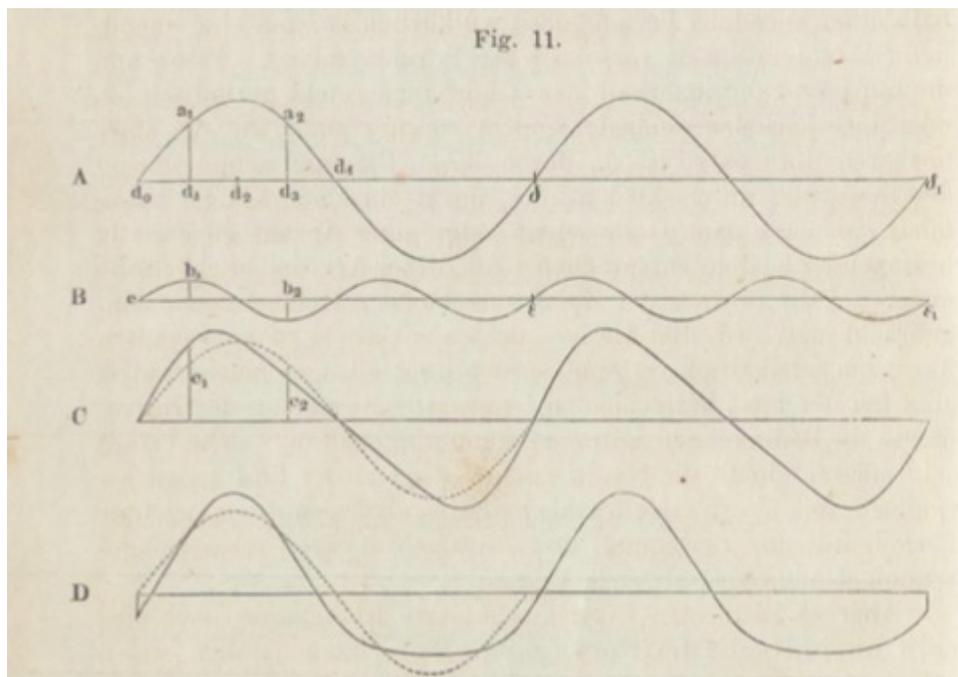
II.4) De la source sonore à l'oreille : renouvellement de la notion de timbre



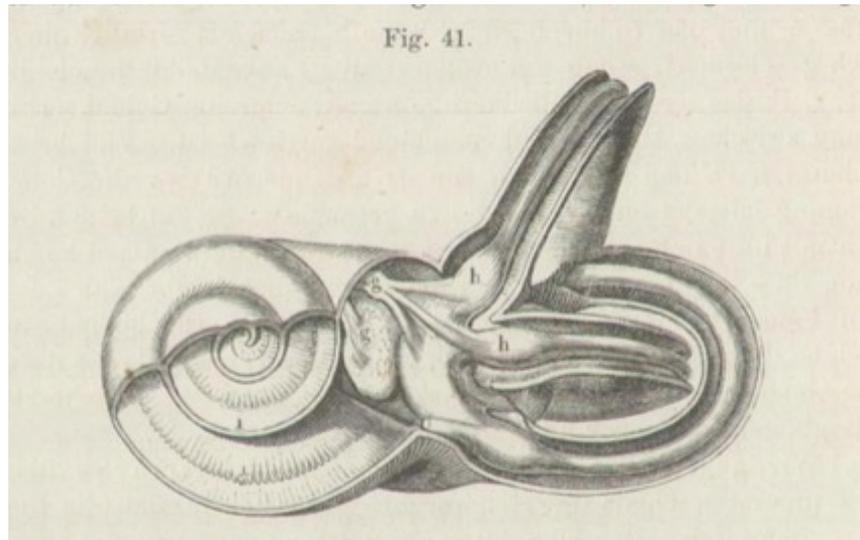
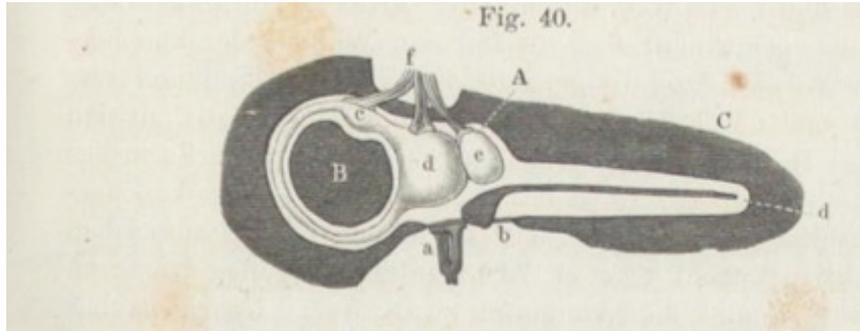
II.4) De la source sonore à l'oreille : renouvellement de la notion de timbre



II.4) De la source sonore à l'oreille : renouvellement de la notion de timbre

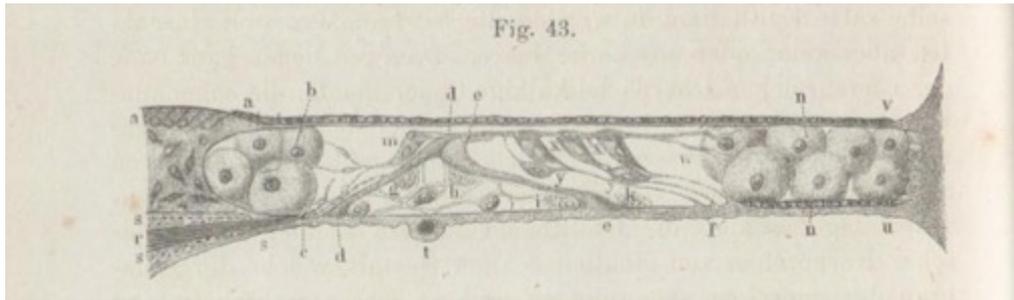


II.4) De la source sonore à l'oreille : renouvellement de la notion de timbre

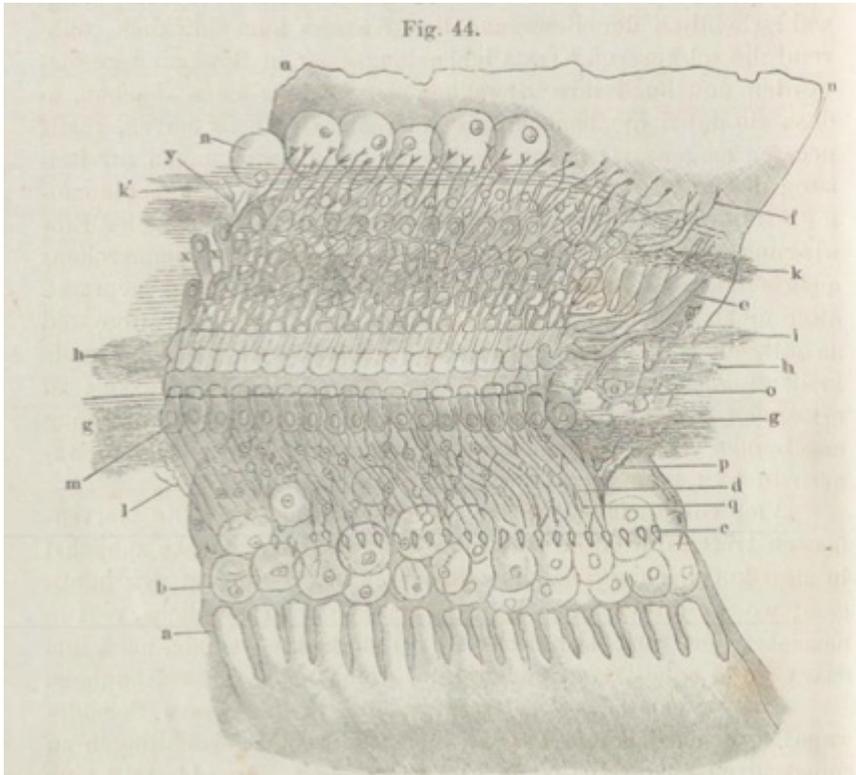


« La seconde partie principale de l'oreille interne est le limaçon C, ainsi nommé parce que la cavité a la forme de la coquille de cet animal. Dans la figure 40, on a supposé le canal déroulé autour de son axe et rendu rectiligne, de manière à faire mieux voir la liaison des cavités. La figure 41 montre 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. »

II.4) De la source sonore à l'oreille : renouvellement de la notion de timbre



« La cavité de la rampe moyenne est remplie le long de son bord intérieur en b, et de son bord extérieur en nn, 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. »



II.5) Une nouvelle définition de la consonance et de la dissonance : l'étude des battements



Fig. 52 A.

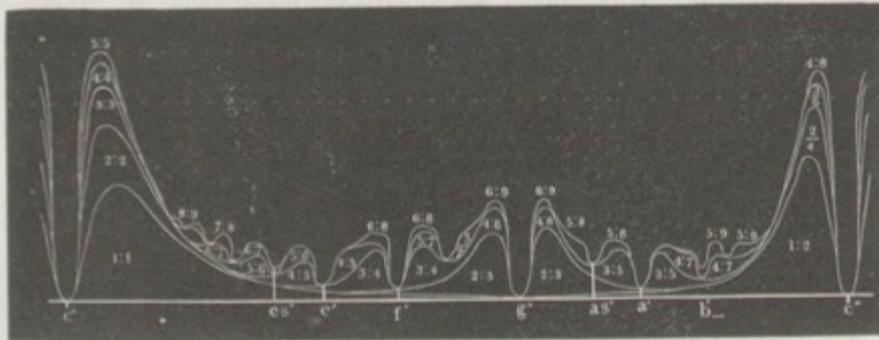
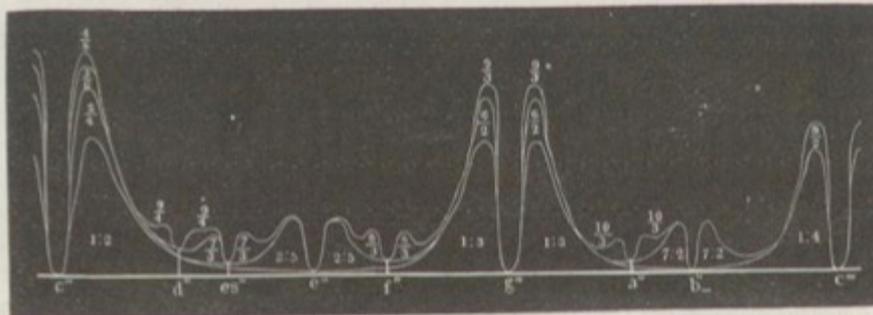


Fig. 52 B.



III) Réception de l'œuvre de Helmholtz

III.1) Chez les physiciens

Lecture de la *Théorie physiologique de la musique* par Ernst Mach

Nombre de Mach

Rapport de la vitesse d'un mobile (projectile, avion) à celle du son dans l'atmosphère où il se déplace. $M = v/c$ où c est la célérité du son.

On parle notamment de vol subsonique ($M < 1$) supersonique pour une vitesse supérieure à celle du son ($M > 1$), voire hypersonique ($M > 5$).

C'est en son hommage qu'en 1929, on donnera son nom à l'unité de vitesse définie par rapport à celle du son.

Cette unité n'est pas une véritable unité de vitesse, car la vitesse du son dans l'air est proportionnelle à la racine carrée de la température.

Principe de Mach

L'inertie d'un corps est liée à son interaction avec le reste de l'Univers. Il y a ainsi identité entre la masse inerte (intervenant dans le principe fondamental de la mécanique liant la masse et l'accélération) et la masse gravitationnelle.



III) Réception de l'œuvre de Helmholtz

III.1) Chez les physiciens

Lecture de la *Théorie physiologique de la musique* par Ernst Mach

« Introduction à la théorie de la musique de Helmholtz », Présentation populaire pour les musiciens, 1866

PRÉFACE

Depuis la parution de cet ouvrage de Helmholtz si important pour la théorie de la musique, *La théorie des sensations auditives comme fondement de la théorie de la musique* (Braunschweig, 1863¹), je me suis efforcé à plusieurs reprises de rendre celui-ci plus populaire par des cours prononcés dans des cercles de musiciens.

Je me suis alors cependant bientôt heurté à de grandes difficultés. Ce qui semblait justement pour moi, en tant que scientifique, véritablement important, était reçu par les musiciens avec une grande indifférence, et a même corrompu chez eux, je crois, le goût pour ce qui était susceptible de leur être utile.

III) Réception de l'œuvre de Helmholtz

III.1) Chez les physiciens

Lecture de la *Théorie physiologique de la musique* par Ernst Mach

Sommaire

Introduction

Bruits et sons

Le son

L'écoute musicale

Le timbre

La parenté des sons

L'accord

L'harmonie

L'harmonie et le contrepoint

Le mode naturel et le mode tempéré

III) Réception de l'œuvre de Helmholtz

III.1) Chez les physiciens

Lecture de la *Théorie physiologique de la musique* par Ernst Mach

En ce qui concerne le lien entre le timbre et les harmoniques, on peut faire quelques remarques simples.

1) Des sons qui, outre leur son fondamental, ne contiennent pas d'harmoniques, ou seulement des harmoniques très faibles, apparaissent doux et étouffés.

2) Des sons avec quelques harmoniques supérieurs d'une relative intensité sont plus pleins et plus agréables.

3) Lorsqu'un son fondamental est plus fort que les harmoniques d'une manière significative, le son est *plein*, il est *vide* dans le cas contraire.

4) Des sons dans lesquels manquent les sons de nombre pair (l'octave, la double-octave) sont *creux* et *nasillard*. Cela se produit à un degré moindre lorsque manquent seulement les sons partiels de nombre impair (la douzième et son octave).

5) Un son qui a des harmoniques nombreux et aigus est acéré.

III) Réception de l'œuvre de Helmholtz

III.1) Chez les physiciens

Lecture de la *Théorie physiologique de la musique* par Ernst Mach

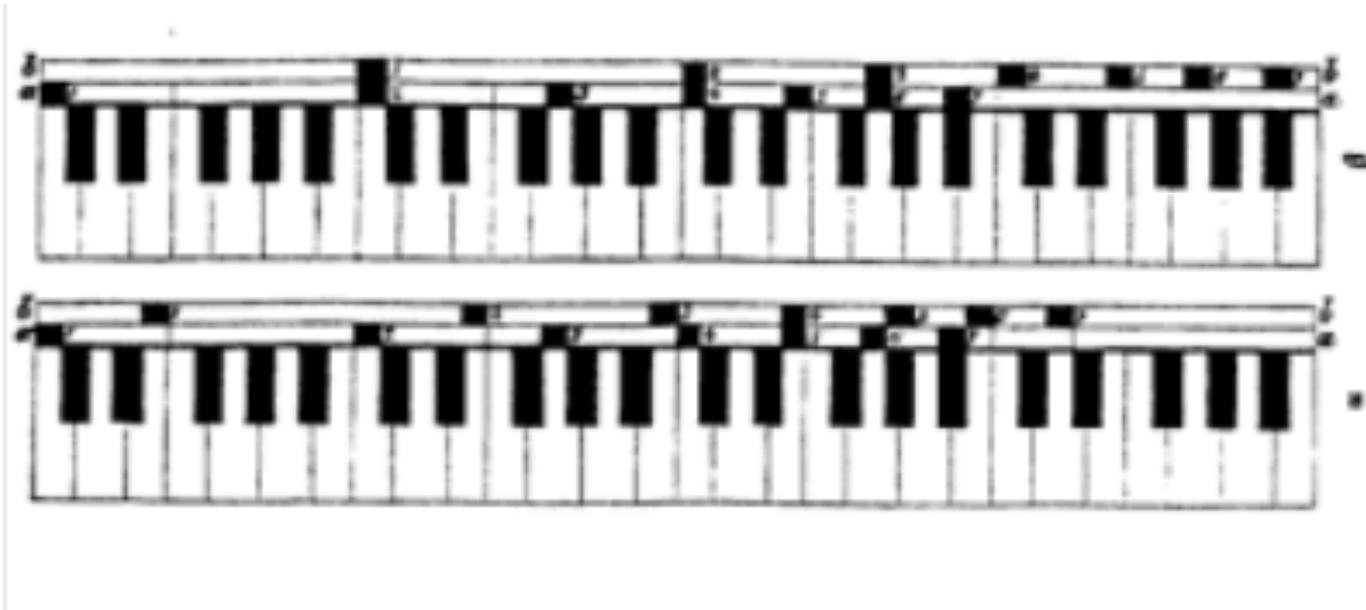
Des sons qui, dans leur succession, simplement à l'oreille, semblent appropriés à une liaison mélodique, se révèlent toujours, lors d'un examen plus précis, être ceux qui contiennent pour partie des sons partiels identiques. Nous appelons de tels sons *apparentés*. Manifestement, les sons sont plus apparentés lorsque les sons partiels qui coïncident sont plus nombreux et de plus grande intensité. Il existe donc des degrés dans la parenté des sons.



III) Réception de l'œuvre de Helmholtz

III.1) Chez les physiciens

Lecture de la *Théorie physiologique de la musique* par Ernst Mach



III) Réception de l'œuvre de Helmholtz

III.1) Chez les physiciens

Lecture de la *Théorie physiologique de la musique* par Ernst Mach

Les battements d'un intervalle d'un demi-ton sont incontestablement désagréables sur presque toute l'étendue de la tessiture des sons utilisés en musique. L'intervalle d'un ton produit des battements rudes depuis les notes les plus graves jusqu'à la fin de la quatrième octave¹. La tierce mineure, qui sonne très bien à la deuxième octave², devient désagréable dans les octaves plus graves. Plus l'intervalle est grand, plus on peut le placer dans les graves sans provoquer de rudes battements.

En fin de compte, nous pouvons constater que, *dans un registre médium, seuls les intervalles inférieurs à un ton produisent des battements désagréables.*

III) Réception de l'œuvre de Helmholtz

III.1) Chez les physiciens

Lecture de la *Théorie physiologique de la musique* par Ernst Mach

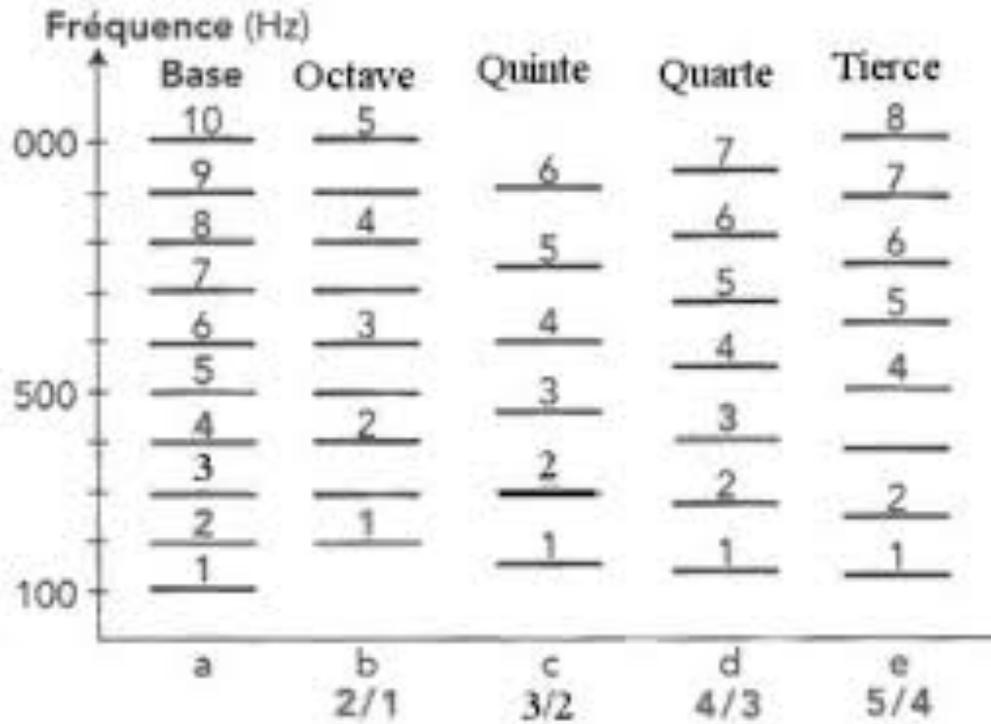
Nous avons jusqu'ici supposé de façon tacite que les sons que l'on joue ensemble n'ont aucun harmonique, ou seulement de très faibles harmoniques, comme c'est effectivement le cas du diapason par exemple. Nous n'avons par conséquent pris en considération que les sons fondamentaux et leurs battements. Mais lorsque plusieurs sons, désaccordés l'un par rapport à l'autre, sont émis en même temps, les sons partiels les plus aigus de l'un produisent également des battements perceptibles avec les sons partiels les plus aigus de l'autre.



III) Réception de l'œuvre de Helmholtz

III.1) Chez les physiciens

Lecture de la *Théorie physiologique de la musique* par Ernst Mach



III) Réception de l'œuvre de Helmholtz

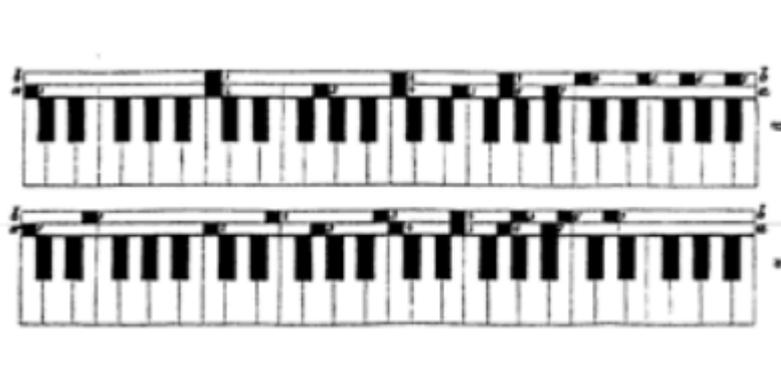
III.1) Chez les physiciens

Lecture de la *Théorie physiologique de la musique* par Ernst Mach

On trouve une explication correcte de l'harmonie et des dissonances par les battements dans l'ouvrage déjà cité de Robert Smith (1749).

Mais ce livre a fait l'objet de si peu d'attention et a été si peu connu que l'on peut dire d'Helmholtz qu'il a conduit l'acoustique sur la bonne voie pour la deuxième fois et de façon entièrement indépendante.

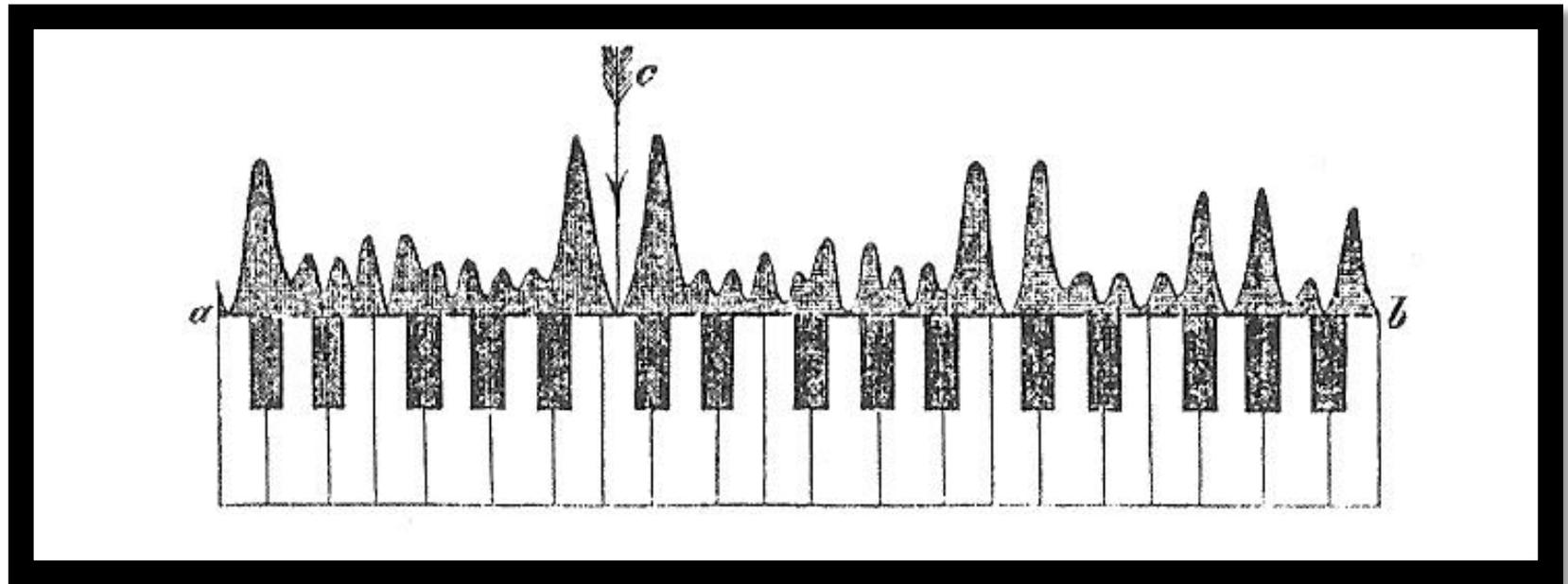
Selon Helmholtz, la *consonance* est un accord *sans battement remarquable*, la dissonance au contraire est un accord qui devient rude du fait des battements engendrés. Que seuls certains sons qui se trouvent à des intervalles déterminés les uns des autres produisent des consonances tient aux intervalles particuliers que les sons partiels de la note forment avec le son fondamental. Cela se laisse aisément démontrer.



III) Réception de l'œuvre de Helmholtz

III.1) Chez les physiciens

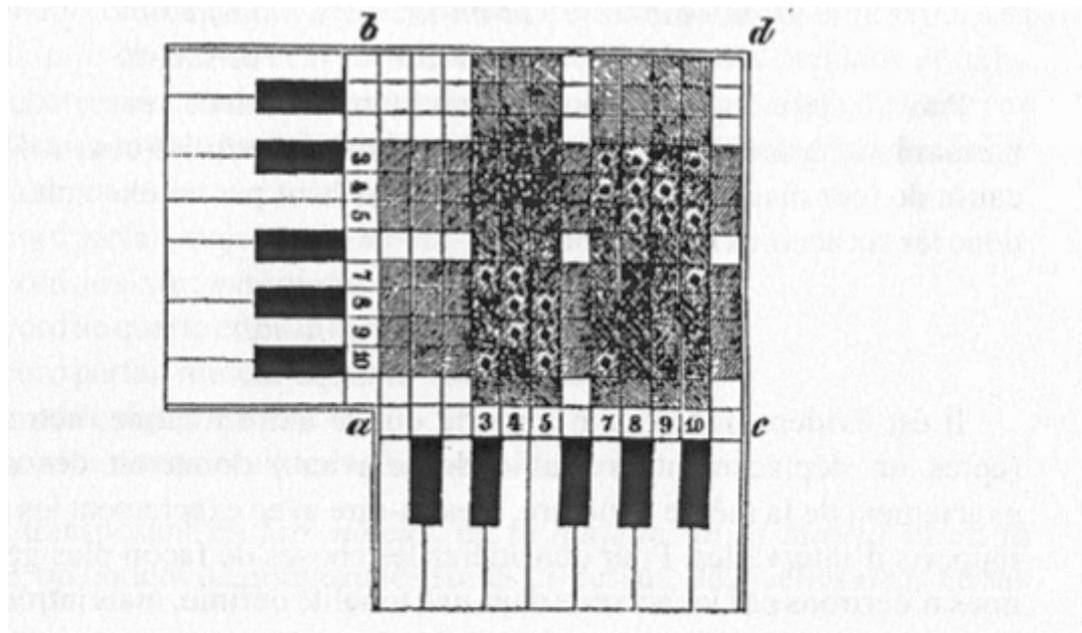
Lecture de la *Théorie physiologique de la musique* par Ernst Mach



III) Réception de l'œuvre de Helmholtz

III.1) Chez les physiciens

Lecture de la *Théorie physiologique de la musique* par Ernst Mach

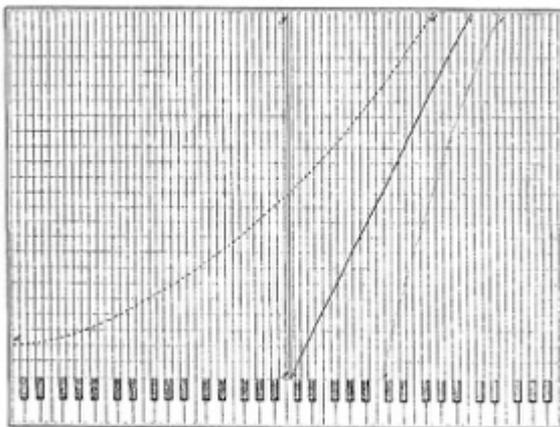


III) Réception de l'œuvre de Helmholtz

III.1) Chez les physiciens

Lecture de la *Théorie physiologique de la musique* par Ernst Mach

Annexe 1 : Tableau des sons résultants



Annexe 2 : Système de l'intonation pure



III) Réception de l'œuvre de Helmholtz

III.2) Chez les musiciens ou musicologues

Musiciens romantiques, traités d'orchestration et positivistes

Le mot, dans son sens moderne, est désormais entré dans l'usage écrit, mais le XIX^e siècle l'emploie encore peu. La sixième édition du *Dictionnaire de l'Académie* (1835) donne ce sens en ajoutant : « Il se dit quelquefois¹⁵. » Le *Dictionnaire de musique moderne* de Castil-Blaze (1821) reprend presque littéralement la définition de Rousseau¹⁶. Les écrivains français, eux, l'utilisent essentiellement par rapport à la voix. En italien, le mot français tarde à entrer dans l'usage, on lui préfère *colore de' suoni*¹⁷. En langue allemande, *Klangfarbe* et parfois *Tonfarbe* s'imposent petit à petit : en 1838, dans son Encyclopédie, Gustav Schilling note pour *Tonfarbe* : « plus couramment *Klangfarbe*¹⁸ », tandis que *Klangfarbe*, comme on le verra, devient un mot-clef dans le célèbre traité de Helmholtz¹⁹. Quant à l'anglais, un dictionnaire musical plurilingue de 1871 note que « timbre » est un mot français signifiant la « qualité du son²⁰ ».

Dans leurs écrits, les musiciens romantiques n'intègrent le mot que petit à petit. On l'attendrait dans l'exceptionnelle analyse par Schumann de la *Symphonie fantastique* de Berlioz (1835), puisque, à côté de l'esprit, de la mélodie et de l'harmonie, elle traite de l'art d'orchestrer inauguré par Berlioz. Il est vrai que cette dernière partie est limitée, car Schumann prend le soin de préciser : « Avant d'entrer en matière, je ferai remarquer que je ne puis juger que sur la réduction pour le piano », tout en ajoutant que, dans cette réduction, « les instruments ont été indiqués aux

III) Réception de l'œuvre de Helmholtz

III.2) Chez les musiciens ou musicologues

De la musique au son

la cohérence n'est pas au rendez-vous, on navigue à vue dans un paysage sonore morne et dévasté, parfois ennuyeux¹⁹². »

Bruit et son

Avec la musique électroacoustique, la *Noise* ou les recherches sur les timbres et modes de jeu de la musique contemporaine instrumentale, avec le rap, les héritiers du free jazz... l'utilisation du bruit en musique, même si elle reste encore confinée à des tendances expérimentales, tend à se répandre. Il est probable que les deux histoires de la musique évoquées au début de ce chapitre finiront par se rejoindre. On peut parier que nous entrons dans une civilisation où sons musicaux et bruits (musicaux) feront bon ménage, où il sera de plus en plus difficile de les distinguer.

La métaphysique du son qui s'était construite avec les Grecs autour de la notion d'harmonie postulait une essence du son qui, progressivement, s'est décentrée dans la construction de la notion de hauteur, de note. Cette construction est métaphysique au sens littéral : la note y renvoie à autre chose qu'elle-même. Vécue comme langage de l'âme, la musique s'empara de et développa cette notion, sans pourtant exclure le bruit : l'exclure aurait tout simplement signifié réaliser une musique immatérielle, intérieure au sens littéral, sans instruments, sans voix, sans son – seule la partition approche de cette « pure intériorité », pour reprendre le langage hégélien. L'acoustique helmholtzienne constitua le point d'aboutissement de cette construction : en postulant que le son musical est fondé sur l'identité (la répétition, la périodicité), Helmholtz tente d'accorder une existence physique à une abstraction mathématique.

L'acoustique du ^{xx}e siècle s'est chargée de démonter cette construction. À vrai dire, les tout premiers travaux acoustiques sur le timbre, dès le début du ^{xix}e siècle, étaient prêts à partir dans une autre voie. Dans son *Traité d'acoustique* (1809), Ernst Chladni, proposant une des premières réflexions sur le timbre, explique que la différence de timbre entre des sons dont « la manière de vibration, la vitesse et la force sont les mêmes » « semble être causée par un peu de bruit mêlé au son appréciable ; par exemple, dans le chant on entend, outre les vibrations de l'air, le frottement de ce fluide sur les organes de la voix ; sur le violon, outre les vibrations des cordes, on entend le frottement de l'archet sur les cordes, etc.¹⁹³ ». Il faudra cependant attendre le développement d'instruments (tels que le sonographe, apparu dans les années 1940) permettant de mesurer l'évolution du son dans le temps pour étayer cette hypothèse. L'acoustique moderne pourra alors remettre en

• 192 – Trimalcion (pseudonyme de Julien Mariant), <http://www.gatosofdarkness.com/god/objet.php?objet=0960>, texte daté du 4 octobre 2005, consulté en novembre 2010.

• 193 – Cité par François Joseph Fétis, « Du son considéré dans le timbre », *Revue musicale*, t. XIII, 1833, p. 194.

Du bruit

- 169 -

cause le modèle de type mécaniste : « au lieu de stabiliser le son dans une forme et de le diviser en catégories distinctes et bien séparées, l'acoustique contemporaine en vient à reconnaître la valeur intrinsèque des états transitifs du son ainsi que l'intelligibilité des processus dynamiques¹⁹⁴ ». Dès que l'on intègre la dimension du *temps*, la différence entre bruit et son musical tend à s'estomper.

C'est de cette vision du son et de la musique dont nous convainc la musique récente par la convergence progressive de ses deux histoires : il ne s'agit pas tant d'introduire du bruit, que de reconnaître que, sans ce dernier, la musique n'existe pas. Que, pour accentuer la démonstration, la musique soit devenue plus bruiteuse, est peut-être une question secondaire – rien ne nous empêche désormais d'entendre, dans les musiques supposées non bruiteuses, leur part de bruit implicite. En somme, il convient d'abandonner non seulement l'opposition bruit/son, mais également la notion même de bruit, musical ou non-musical – on devra bien sûr la conserver pour les bruits nuisibles.

Cette évolution a été rendue possible parce que la civilisation musicale qui est en train de s'établir se centre sur le *sonore*. S'il s'avère de plus en plus difficile de distinguer son musical et bruit, c'est que nous entrons progressivement dans un univers où il n'existe plus qu'une seule catégorie : le *son*. Comme il en allait avec le timbre, le bruit est l'un des éléments qui conduisent à cette nouvelle civilisation. Cependant, la dissolution du timbre et du bruit dans le sonore ne survient que si l'on veut bien l'entendre : c'est dire que la prochaine histoire menant vers le son sera l'histoire de l'*écoute*.

Makis Solomos, *De la musique au son. L'émergence du son dans la musique des XXe-XXIe siècles*, PUR, 2013

III) Réception de l'œuvre de Helmholtz

III.2) Chez les musiciens ou musicologues

Fig) **I Exposition Farben**

Mäßige Viertel

2 kleine Flöten
2 große Flöten
3 Oboen
Englisch Horn
1 II in B
3 Klarinetten III in D
Baßklarinette in B
1 II.
3 Fagotto III.
Kontrafagott
1 II.
4 Hörner in F III. IV.
1 II.
3 Trompeten in B III.
1 II.
4 Posaunen III. IV.
Baßtuba
Harfe
Celeste
I.
Violinen II.
Viola
Violoncello

Mäßige Viertel

III) Réception de l'œuvre de Helmholtz

III.2) Chez les musiciens ou musicologues

➤ Schoenberg, *Traité d'Harmonie*, 1911 [Mediamusique, 2008] :

« On reconnaît au son trois dimensions : sa hauteur, sa couleur, son intensité. Or, jusqu'à présent, on ne s'est attaché qu'à la mesure d'une seule de ses trois dimensions : celle qu'il est convenu de noter sa hauteur sonore. C'est à peine, en effet, si des essais de mesure ont été entrepris jusque-là dans les autres dimensions, jamais en tout cas leurs résultats n'ont été encore ordonnés en un système. (...). Quoi qu'il en soit, l'attention que nous portons aux timbres est de plus en plus vive, et le moment n'est plus très loin où la possibilité de les décrire et de les ordonner entraînera aussi vraisemblablement l'établissement de théories étroites. (...). Nous ne connaissons donc pas le rapport du timbre à l'essence même du son naturel, c'est à peine si nous le pressentons. (...).

Je ne puis admettre sans réserve la différence que l'on a coutume d'établir entre couleur sonore (timbre) et hauteur sonore. C'est en effet par sa couleur sonore - dont une dimension est la hauteur - que le son se signale. La couleur du son est donc le grand territoire dont une région est constituée par la hauteur du son. Cette dernière n'est rien d'autre que la couleur du son mesurée dans une direction. S'il est possible maintenant, à partir de timbres différenciés par la hauteur, de faire naître des figures sonores que l'on nomme mélodies - successions de sons dont la cohérence même suscite l'effet d'une idée - alors il doit être également possible, à partir de pures couleurs sonores - les timbres - de produire ainsi des successions de sons dont le rapport entre eux agit avec une logique en tout point équivalente à celle qui suffit à notre plaisir dans une simple mélodie de hauteurs. Il semblerait que cela soit une fantaisie futuriste, et c'est sans doute le cas. Mais une fantaisie dont j'ai la ferme conviction qu'elle se réalisera. Je suis fermement convaincu qu'elle est en mesure de porter bientôt à un suprême niveau les jouissances sensorielles, intellectuelles et spirituelles que l'art nous offre. Fermement convaincu qu'elle nous rapprochera de ce qui demeure encore pour nous le miroitement d'un rêve et que nos rapports à ce qui nous semble encore inanimé seront par elle étendus, alors que nous éveillerons ces choses de notre vie que seule notre misérable relation à l'existence avait maintenues mortes en nous.

Mélodies du timbre ! Bien fins ceux qui peuvent discerner ici la mélodie du timbre !
Quel esprit hautement cultivé saura trouver plaisir à de telles subtilités !

Qui oserait réclamer ici une théorie ! »