

CHAPITRE V

TIMBRE DES SONS. — PHONOGRAPHES.

I. — NOTIONS SUR LE TIMBRE DES SONS.

680. **Sons composés. — Causes générales du timbre.** — Lorsqu'on écoute avec attention le son rendu par une corde de piano ou par une corde de violon, vibrant dans toute sa longueur, on entend généralement, en même temps que le son fondamental, un ou plusieurs de ses harmoniques : en d'autres termes, la sensation perçue par l'oreille est celle d'un *son composé*.

Pour se rendre compte de ce phénomène, il suffit de répéter l'expé-

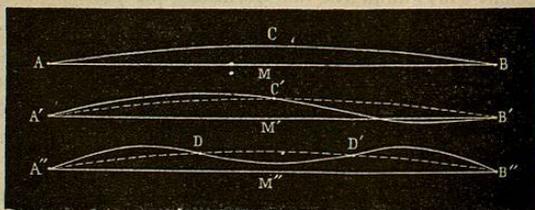


Fig. 571.

rience sur la corde d'un sonomètre : il n'est pas difficile de constater que la corde, tout en exécutant ses mouvements de totalité, se subdivise en un certain nombre de parties, dont les mouvements propres se superposent au mouvement d'ensemble. — Lorsque, par exemple, la corde donne *simultanément* les sons 1 et 2, elle vibre tout d'une pièce comme la corde AB (fig. 571) et produit ainsi le son fondamental ; mais, en même temps, elle se partage en deux parties A'C', C'B', dont chacune vibre en même temps comme une corde de longueur moitié moindre :

ces deux mouvements simultanés sont représentés sur la corde A'B'. — De même, quand on entend à la fois les sons 1 et 3, la corde se subdivise, comme A'B'', en trois parties égales, qui exécutent trois vibrations pendant que la corde tout entière en fait une seule (*).

Dans ces divers cas, l'impression dominante est celle du son fondamental ; mais l'oreille attribue, à chacun de ces sons de même hauteur, un caractère spécial, une sorte de *timbre* particulier, résultant de la superposition de tel ou tel harmonique avec le son fondamental.

C'est l'extension de ces remarques qui a conduit M. Helmholtz à considérer les caractères de timbre, qui distinguent entre eux les sons de divers instruments, comme dus à des causes de cette nature. — La méthode qu'il a employée pour manifester, dans un son complexe, l'existence des harmoniques, est fondée sur le phénomène du *renforcement des sons*.

681. **Renforcement des sons.** — Voici une expérience qu'il est facile de répéter. On se place auprès d'un piano, dont on éloigne les étouffoirs en appuyant sur la pédale, et on fait entendre, avec un violon ou avec la voix, une note déterminée : on constate que, parmi les cordes du piano, celles qui sont à l'unisson, soit avec cette note, soit avec l'un de ses harmoniques, entrent en vibration ; le son acquiert alors pour l'oreille une *renforcement* remarquable. — Or, dans cette expérience, la transmission du mouvement s'est effectuée par l'air, mais elle n'a pas mis toutes les cordes en vibration. Donc, pour qu'un son se transmette à des corps voisins et leur fasse jouer le rôle de renforçants, il faut toujours qu'il y ait, entre ce son et ceux que ces corps peuvent rendre, certains rapports déterminés, les rapports d'un son à ses harmoniques.

Quand un corps sonore est en contact avec les parois d'une cavité contenant de l'air, cet air peut entrer en vibration et résonner comme

(*) Les mouvements vibratoires sont toujours de sens contraire dans deux segments consécutifs de la corde ; on le démontrerait en répétant, sur une corde entièrement libre entre ses extrémités, l'expérience de Duhamel (Note de la page 625). — Par là s'explique l'observation suivante, faite par Delezenne : quand on attaque une corde exactement en son milieu, on n'obtient aucun son ; c'est que l'archet imprime aux points situés de part et d'autre du milieu, et très près de ce point, des vitesses de même sens : ces vitesses ne peuvent se concilier avec la production de l'harmonique 2, et dès lors le son fondamental ne peut pas se produire. — Marloye a généralisé la remarque de Delezenne, en montrant qu'on ne peut pas non plus faire vibrer transversalement une corde en l'attaquant exactement au tiers, au quart, au cinquième de sa longueur. — On conçoit, d'après ces remarques, que le rang des harmoniques qui se produisent en même temps que le son fondamental dépend de la position particulière du point où la corde est attaquée. C'est pour cette raison que, dans le piano, les marteaux sont disposés de manière à frapper chacune des cordes exactement au septième de sa longueur. L'harmonique qui correspondrait à la division de la corde en sept parties égales produirait, avec le son fondamental, une *dissonance* : grâce à cette disposition, cet harmonique ne peut se produire.

un tuyau sonore, à la condition que les dimensions de la cavité soient

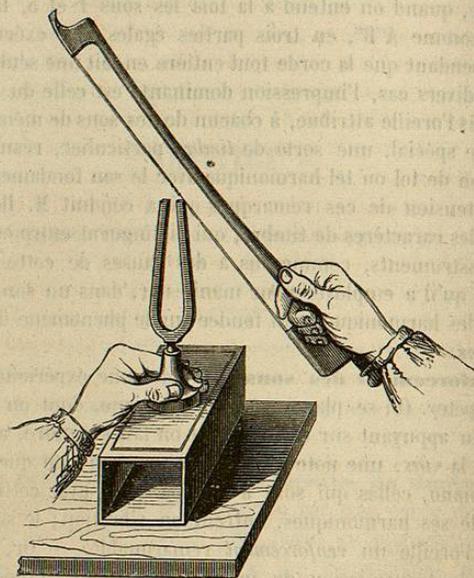


Fig. 572. — Diapason avec caisse sonore.

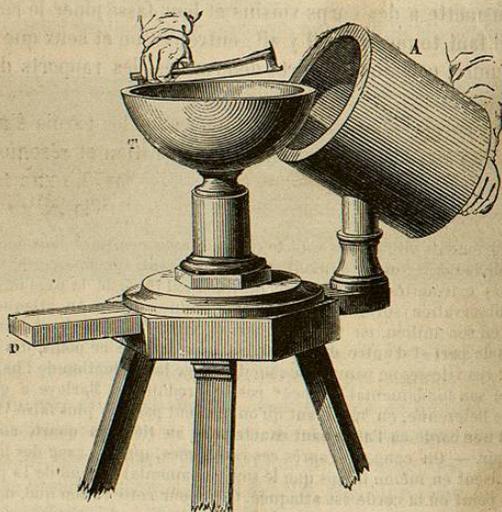


Fig. 573. — Timbre avec tuyau renforçant.

convenables. — C'est le principe des *caisses sonores*, qui entrent dans

la construction des instruments à cordes. — C'est ce qui conduit aussi à placer les diapasons sur des caisses rectangulaires de bois (fig. 572), dont les dimensions dépendent du son rendu par le diapason lui-même. Le diapason étant mis en vibration, on constate, en le plaçant sur la caisse, que le son acquiert une intensité beaucoup plus grande. Au moment où les vibrations du diapason commencent à s'éteindre, la caisse peut encore rendre le son perceptible, alors qu'il serait impossible de l'entendre sans ce moyen de renforcement.

Voici encore une expérience destinée à montrer que les colonnes d'air doivent offrir des dimensions déterminées, pour renforcer tel ou tel son. — On fait vibrer un timbre de bronze T (fig. 573) au moyen d'un archet. On en approche l'ouverture d'un tuyau A, fermé à son autre extrémité par un piston que l'on fait mouvoir avec la main, de manière à donner des longueurs variables à la partie du tuyau qui regarde le timbre. On constate que, pour certaines positions du piston, le son rendu par le timbre est considérablement renforcé; pour d'autres positions du piston, le renforcement est à peu près nul.

682. **Emploi des résonateurs pour l'analyse des sons composés.** — Voici maintenant la méthode qui a été employée par M. Helmholtz pour analyser les sons composés.

On prend une série de tuyaux, dits *résonateurs*, de dimensions diverses. L'expérience a montré que la forme la plus favorable, pour le but qu'on se propose, est celle de cavités *sphériques* S (fig. 574), présentant une ouverture AB, et, à l'opposé de cette ouverture, un conduit MN que l'on introduit dans l'oreille. Dans cette forme de tuyaux sonores, le son *fondamental* est, pour chaque tuyau en particulier, le seul qui puisse prendre naissance d'une manière nettement perceptible, lorsqu'on produit, dans le voisinage, des sons de diverses hauteurs.

Pour faire l'analyse d'un son produit à l'extérieur, l'observateur bouche exactement l'une de ses oreilles; dans son autre oreille, il introduit, l'un après l'autre, les conduits de divers résonateurs dont les dimensions sont telles, que leurs sons fondamentaux correspondent aux diverses notes de l'échelle musicale. A chacune de ces expériences, les sons qui diffèrent du son fondamental du résonateur ne sont perçus par l'oreille que d'une manière confuse. Au contraire, dès que le son fondamental du résonateur apparaît dans celui qui est soumis à l'analyse, l'oreille entend éclater ce son, avec une intensité presque assourdissante.

C'est ainsi que l'on a pu constater l'existence du son fondamental de tel ou tel résonateur, dans les sons qui sembleraient d'abord les plus

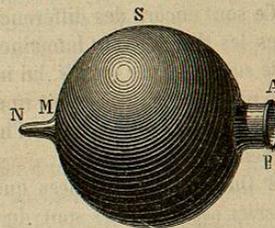


Fig. 574. — Résonateur.

difficiles à analyser, comme le bruit d'une voiture, le sifflement du vent, le murmure de l'eau, etc.

685. Résultats relatifs aux timbres des divers instruments ou de la voix humaine. — La méthode des résonateurs, appliquée à l'analyse comparative des sons produits par les divers instruments de musique, ou par la voix humaine, a fourni un certain nombre de résultats : nous indiquerons les principaux.

1° Lorsque des instruments de diverses espèces donnent une même note musicale, ils donnent un même son fondamental ; mais chacun d'eux superpose à ce son tel ou tel *groupe d'harmoniques*, avec telle ou telle *intensité relative* : c'est là ce qui produit, entre les divers instruments, les *différences de timbres*. — Ainsi, le son d'un diapason, ou ceux que rendent les gros tuyaux fermés de l'orgue, sous l'action d'un courant d'air faible, sont des sons simples, ou presque dénués d'harmoniques : le timbre de ces sons est sourd et sans éclat. — La présence des six premiers harmoniques, que l'on constate dans les notes graves du piano ou dans celles des tuyaux ouverts dans l'orgue, donne aux sons de la plénitude et de l'éclat. — Dans le violon ou le violoncelle, le nombre des harmoniques superposés est généralement assez considérable, et d'autant plus grand que la corde est plus fine. De là, cette espèce de caractère d'acuité que présente le timbre de ces instruments, et qui arrive à en rendre l'audition désagréable lorsqu'ils sont maniés par des exécutants inhabiles (*).

Ce sont encore des différences du même genre qui distinguent entre elles les *diverses voix* humaines. — Diverses voix, émettant *une même note sur une même voyelle*, lui impriment chacune un timbre particulier, que notre oreille reconnaît immédiatement, et qui dépend de la coexistence de tel ou tel groupe d'harmoniques se superposant au son fondamental.

2° Quant aux différences qui distinguent, pour une même voix, les *diverses voyelles*, elles sont dues à une autre particularité. — D'après M. Helmholtz, chaque voyelle correspond à *un son de hauteur constante*, déterminé par la forme que prend la bouche en laissant passer l'air qui la traverse. — On peut donc dire que les voyelles se distinguent les unes des autres par un caractère qui offre quelque analogie avec celui du *timbre*. Mais ce caractère offre ceci de particulier, qu'au lieu d'être dû à l'addition de certains harmoniques du son fondamental, c'est-à-dire à un groupe de sons dont la hauteur dépendrait du son fondamental lui-même, il est dû à un son qui reste constant, tant que la voyelle reste la même (**).

(*) Avec des cordes *métalliques* très fines, l'emploi des résonateurs a permis de compter jusqu'à seize harmoniques superposés. C'est à la présence des harmoniques élevés qu'est dû le timbre sifflant des sons que rendent ces cordes.

(**) Dans la voix articulée, les *consonnes*, qui viennent s'ajouter aux voyelles, trans-

La pratique du chant a d'ailleurs montré depuis longtemps que l'émission des notes de diverses hauteurs ne se produit pas avec la même facilité sur les diverses voyelles : que, par exemple, les notes graves sont plus faciles à donner sur la voyelle O ou sur le son OU ; les notes moyennes, sur la voyelle A ; les notes élevées, sur la voyelle É ou È. — Ces résultats sont aujourd'hui faciles à expliquer. La cavité de la bouche se comporte, en effet, comme une caisse de résonance, renforçant plus ou moins les sons produits par le larynx, suivant les rapports que ces sons présentent avec le *son propre* de cette cavité. Or, suivant que la bouche prend la forme appropriée à l'émission de la voyelle allemande OU, ou à celle de nos voyelles O, A, E, I, on a pu constater que le son propre de sa cavité va successivement en s'élevant : par suite, la bouche devient apte à renforcer des sons de plus en plus élevés.

5° Enfin, l'emploi des résonateurs a montré que les *bruits* se distinguent des sons musicaux, en ce qu'ils sont formés par la superposition de sons élémentaires ne présentant pas entre eux de rapports simples. — Dans ce cas, l'oreille n'éprouve qu'une sensation vague, à laquelle elle peut difficilement attribuer un caractère de hauteur, quand elle compare ces bruits à des sons musicaux. Les rapports de hauteurs ne deviennent sensibles, que lorsqu'on produit successivement plusieurs bruits ayant des caractères analogues (631).

684. Méthode de synthèse des sons composés. — Les résultats qu'avait fournis l'analyse par les résonateurs ont été confirmés par M. Helmholtz à l'aide d'une véritable méthode de synthèse, consistant à recomposer des sons complexes au moyen des divers sons élémentaires qu'on y a reconnus.

L'appareil comprend une série de diapasons donnant les harmoniques successifs du son rendu par le plus grave d'entre eux, et disposés de façon que l'on puisse entretenir le mouvement vibratoire de chacun d'eux, à l'aide d'électro-aimants qui agissent périodiquement par attraction sur leurs branches. En présence de chaque diapason est placé un tuyau renforçant, que l'on peut ouvrir plus ou moins au moyen des touches d'un clavier sur lesquelles on appuie plus ou moins fortement. En faisant vibrer tous les diapasons à la fois et en ouvrant de quantités variables tels ou tels tuyaux renforçants, l'expérimentateur peut ainsi ajouter, au son fondamental, tels ou tels harmoniques, avec telle ou telle intensité.

L'expérience ainsi faite montre que l'on peut par ce procédé modifier le timbre du son fondamental perçu par l'oreille. « L'appareil permet, dit M. Helmholtz, de reproduire à volonté soit les *voyelles* de

ferment en sons plus complexes les sons additionnels qui caractérisent chacune des voyelles, sans modifier la hauteur de l'impression dominante.

la voix humaine, soit les différents registres de l'orgue, pourvu qu'ils ne présentent pas d'harmoniques trop aigus : il manque cependant, aux sons de l'orgue ainsi imités, le bruit sifflant que donne le courant d'air en se brisant contre les lèvres du tuyau. On peut encore reproduire le nasillement de la clarinette au moyen d'une série d'harmoniques impairs, et le son doux du cor au moyen du chœur complet des diapasons. »

II. — PHONOGRAPHES.

685. **Phonautographe de M. Scott. — Logographe de M. Barlow.** — M. Scott paraît avoir eu, le premier, vers 1857, l'idée d'employer les membranes pour produire une inscription permanente des sons transmis par l'air. L'appareil, auquel il a été donné le nom de *phonautographe*, est représenté par la figure 575, tel qu'il est construit

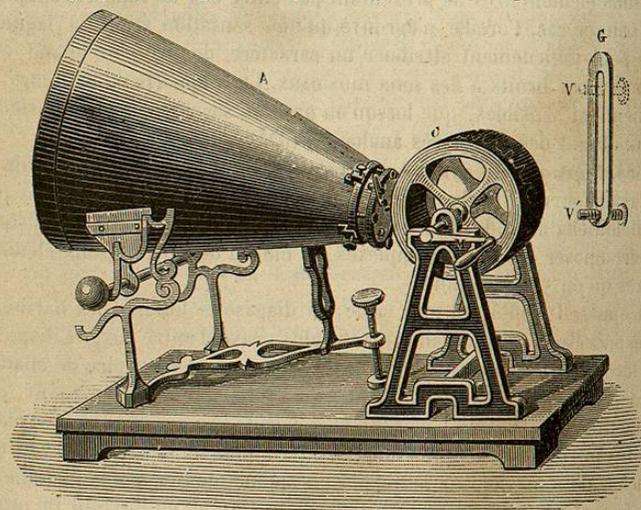


Fig. 575. — Phonautographe de M. Scott.

par M. R. Kœnig. Il se compose d'une sorte de vaste cornet acoustique A, ayant la forme d'un paraboléide de révolution, dont la surface intérieure réfléchit en son foyer les ondes sonores qui viennent la rencontrer parallèlement à son axe : une membrane tendue D, dont le plan passe par ce foyer, vibre sous l'influence de ces vibrations, et porte un style léger, formé par une soie de sanglier, terminée par une barbe de plume dont la pointe vient appuyer sur le cylindre C. L'axe du cylindre

est taraudé en pas de vis, de manière que, lorsqu'on fait tourner le cylindre au moyen de la manivelle M, il avance en même temps dans le sens de l'axe. — Le stylet laisse, sur le noir de fumée, une trace blanche sinueuse, qui reproduit les particularités du mouvement vibratoire imprimé à la membrane par l'air (*). L'inscription une fois faite, on coupe le papier avec un canif, suivant une génératrice du cylindre, et on peut fixer l'épreuve en la passant dans un bain d'alcool additionné de gomme-laque.

M. Kœnig a employé, en 1862, le phonautographe de Scott à l'étude graphique des sons composés produits par deux, trois ou quatre diapasons, donnant *simultanément* les notes d'un accord parfait. Les effets produits par ces diverses notes se combinent de telle sorte, que les courbes complexes, fournies par le phonautographe, peuvent être tracées géométriquement à l'avance, quand on connaît les courbes simples dont elles sont les résultantes. — M. Kœnig a même pu enregistrer, avec cet instrument, des phrases musicales chantées et prononcées distinctement.

Enfin, en 1864, M. Barlow présenta à la Société royale de Londres une disposition qui offrait une grande analogie avec celle de l'appareil de M. Scott. Le but de l'instrument, qui a reçu depuis le nom de *logographe*, était d'écrire le discours, de façon à permettre de le déchiffrer ensuite. — Voici la description de cet instrument, sous la dernière forme qui lui a été donnée : « Une sorte de trompette présente une embouchure ajustée sur un tube de 10 centimètres de long. L'extrémité de ce tube est fermée par une membrane de boudruche, de gutta-percha ou de caoutchouc très mince, qui a un diamètre d'environ 5 centimètres. Cette membrane porte un stylet formé d'un poil de chameau, mouillé d'encre à l'aniline. Une bande de papier, entraînée par un appareil d'horlogerie, court devant ce stylet, comme dans le récepteur de l'appareil Morse. » — En parlant devant l'embouchure, on fait vibrer la membrane : les courbes obtenues sont la représentation graphique des sons émis. — L'auteur fait observer qu'il se produit parfois de légères perturbations ; mais il ne considère pas comme improbable que de nouveaux perfectionnements permettent de déchiffrer les tracés aussi facilement que des signaux télégraphiques.

686. **Phonographe de M. Edison.** — Le *phonographe* construit par M. Edison se distingue des appareils précédents, en ce qu'il per-

(*) Comme la membrane ne vibre pas, avec une égale facilité, à l'unisson de tous les sons extérieurs, il est utile, pour obtenir des courbes nettes, de modifier un peu, au début de chaque série d'expériences, les conditions dans lesquelles elle se trouve. C'est à quoi l'on parvient au moyen d'une petite glissière G (représentée à part à une plus grande échelle), que l'on peut déplacer en desserrant la vis V qui la fixe à la monture métallique de la membrane : on peut ainsi faire appuyer, en tel ou tel point de la membrane, la seconde vis V', que la glissière porte à son autre extrémité et dont la pointe est mousse.

met, non seulement d'obtenir un tracé au moyen des sons ou de la parole, mais d'employer ce tracé à la production de nouveaux sons, imitant les premiers avec une fidélité presque parfaite.

Le phonographe (fig. 576) se compose d'un cylindre métallique C, mobile autour d'un axe AA'. Sur l'une des parties A' de cet axe, est pra-

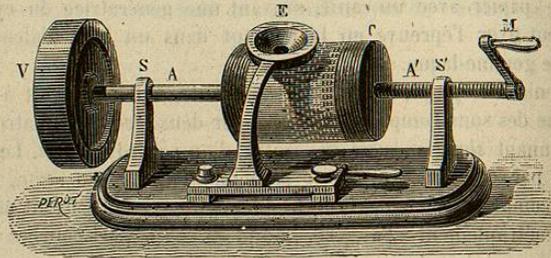


Fig. 576. — Phonographe de M. Edison.

tiqué un pas de vis, qui passe dans un écrou creusé dans le support S: lorsqu'on tourne la manivelle M, le cylindre éprouve un déplacement progressif dans le sens de son axe, en même temps qu'il tourne autour de cet axe lui-même. Sur la surface du cylindre, est creusée une rainure en forme d'hélice, dont le pas est le même que celui de la vis taillée sur l'axe: le cylindre est enveloppé d'une feuille de papier d'étain, qui s'applique sur les bords saillants de la rainure, sans pénétrer dans les parties creuses. — Sur le côté du cylindre est disposée, sur un support, une embouchure E, au fond de laquelle est une membrane métallique très mince *m* (fig. 577). Sous la membrane, est un petit style métallique très court, fixé à l'extrémité d'un ressort *a*: la membrane presse légèrement sur ce ressort, par l'intermédiaire de deux petits morceaux de tubes en caoutchouc, qui servent d'étouffoirs pour amortir les vibrations.

Avant de commencer l'expérience, on place le support de la membrane de manière que la pointe du style corresponde à l'un des points où la feuille d'étain passe au-dessus de la cavité de la rainure. — Puis, on fait tourner le cylindre, d'un mouvement aussi uniforme que possible, et l'on émet, à haute voix, les paroles ou le chant que l'on veut faire reproduire par l'appareil. Chacune des impulsions communiquées par l'air à la membrane refoule le style, qui imprime à la feuille d'étain une sorte de gaufrage, plus ou moins profond, selon l'amplitude de l'impulsion elle-même. Il en résulte, sur cette feuille, un sillon hélicoïdal dis-

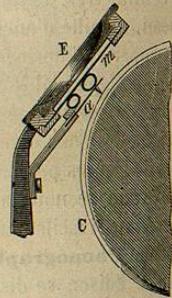


Fig. 577.

continu, dont les dépressions sont telles que, dans chaque région, leur nombre corresponde à la hauteur du son rendu par la membrane, et leur profondeur à l'intensité de ce son. — Pour faire répéter à l'appareil la phrase ou le chant qui lui a été confié, on écarte d'abord le support qui porte la membrane et le style, et l'on ramène le cylindre en arrière, jusqu'à sa position primitive; enfin, on rapproche le support, de manière que toutes les pièces se retrouvent dans leur position initiale. Le cylindre étant alors remis en mouvement, avec la même vitesse que précédemment, le style, commandé maintenant par les dépressions de la feuille d'étain, communique successivement à la membrane toutes les impulsions qu'il en avait reçues, avec toutes les particularités de rythme et d'intensité relative. — Le son produit peut être entendu dans toute une salle, par plusieurs centaines de personnes à la fois, surtout si l'on a soin de munir la membrane d'un cornet, rassemblant les sons comme une espèce de porte-voix (*).

Indépendamment de ce que cette reproduction des sons offre de saisissant, il est permis d'espérer que l'étude des sinuosités tracées sur la feuille métallique permettra de compléter les résultats que possède déjà la science sur les particularités qui distinguent les sons des divers instruments ou de la voix humaine.

(*) L'intensité absolue des sons rendus par l'appareil est beaucoup moindre que celle des sons qui ont servi à l'impressionner. C'est ce qu'on s'explique sans peine, si l'on tient compte de la faiblesse des amplitudes des vibrations de la membrane.

En outre, ceux de ces instruments que nous avons pu entendre en France, tout en reproduisant les diverses variations de timbre qui distinguent les voyelles et les consonnes, ne rendent qu'imparfaitement le timbre caractéristique de la voix de la personne qui a fait l'expérience. M. Edison annonce cependant qu'il a perfectionné son appareil, de manière à lui faire reproduire le timbre de la voix humaine, et même à lui faire rendre le chuchotement ou le bruit de la respiration.

Quant à la conservation du rapport des hauteurs des sons, elle exige expressément que la vitesse de rotation du cylindre reste absolument la même. C'est pour assurer, autant que possible, ce résultat, qu'on place sur l'axe un lourd volant V. On a construit, d'ailleurs, des appareils à mouvement d'horlogerie, assurant mieux encore l'uniformité du mouvement. — Pour la reproduction de phrases *parlées*, les inégalités de vitesse ont seulement pour conséquence de faire monter ou baisser légèrement la voix. Pour la reproduction des sons musicaux, on conçoit que l'inconvénient est beaucoup plus grave, les variations de hauteur des sons successifs arrivant à produire des dissonances extrêmement désagréables.

CHAPITRE VI

MÉCANISME DE L'AUDITION

687. **Description de l'oreille.** — L'oreille peut être partagée, chez l'homme, en *oreille externe*, *oreille moyenne* et *oreille interne*.

L'*oreille externe* est une sorte d'entonnoir, destiné à recueillir les ondes sonores, à peu près comme un cornet acoustique. — Ses diverses parties sont faciles à distinguer : le *pavillon de l'oreille* (fig. 578, 1) est une lame fibro-cartilagineuse, de forme irrégulière, qui se continue avec une large excavation ou *conque* (*ibid.*, de 2 à 4), et avec le *conduit auditif externe* (5, 5) qui s'enfonce dans la portion temporale du crâne. — L'oreille externe est séparée de l'oreille moyenne par une cloison membraneuse, qu'on appelle la *membrane du tympan* (*ibid.*, 6).

L'*oreille moyenne* est une cavité pleine d'air, dont la partie la plus importante est la *caisse du tympan* (11), creusée dans la portion dure et profonde de l'os temporal, qu'on appelle le *rocher* : la caisse communique d'ailleurs avec plusieurs cellules, pratiquées dans l'épaisseur de l'os. De la partie inférieure de cette cavité, part un conduit long et étroit, la *trompe d'Eustache* (12), dont l'autre extrémité vient s'ouvrir à la partie postérieure des fosses nasales, au-dessus du voile du palais. — Dans la paroi osseuse de la caisse, en regard de la membrane du tympan, sont pratiquées deux ouvertures, masquées dans la figure 578, la *fenêtre ovale* et la *fenêtre ronde*; ces ouvertures correspondent aux diverses cavités de l'oreille interne, et chacune d'elles est fermée par une membrane. — Enfin, la caisse est traversée par une chaîne continue de quatre osselets, qui sont représentés à part dans la figure 579, le *marteau m*, l'*enclume e*, l'*os lenticulaire l* et l'*étrier g*; le premier os de cette chaîne, le *marteau*, adhère à la membrane du tympan (fig. 578, 8); le dernier, l'*étrier*, s'applique par sa base sur la membrane de la fenêtre ovale. Ces quatre os sont unis par des liga-

ments qui leur permettent de se mouvoir les uns sur les autres; de petits muscles peuvent tendre plus ou moins l'espèce de ressort formé par la série des osselets, et par suite aussi les membranes qu'elle réunit.

L'*oreille interne* est formée de plusieurs cavités, de formes assez

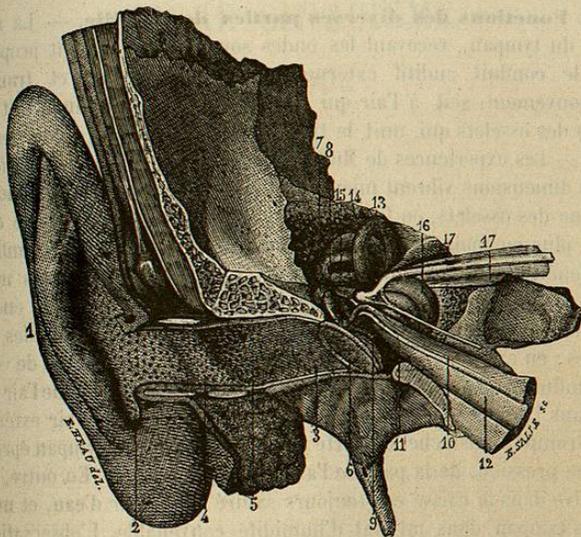


Fig. 578. — Coupe de l'oreille.

compliquées, qui sont remplies de liquides : on les désigne sous les noms de *vestibule*, de *canaux semi-circulaires*, et de *limaçon*. — Le *vestibule* est une cavité de forme ovoïde, séparée seulement de la caisse du tympan par la membrane de la fenêtre ovale : c'est une sorte de carrefour, servant d'entrée dans les deux autres parties de l'oreille interne, les canaux semi-circulaires au-dessus (fig. 578, 13, 14, 15) et le limaçon au-dessous (16). — Les *canaux semi-circulaires*, dont le nom même indique la forme, sont au nombre de trois, et situés à peu près, comme le montre la figure, dans trois plans perpendiculaires entre eux. Leurs extrémités, renflées en ampoules, communiquent avec l'intérieur du vestibule. — Le *limaçon* est une sorte de cône creux, enroulé en spirale, et subdivisé encore en deux cavités secondaires par une cloison longitudinale : sa base communique, comme les canaux semi-circulaires, avec l'intérieur du vestibule, et c'est en un point de sa paroi qu'est pratiquée la fenêtre ronde, dont



Fig. 579. — Osselets de l'oreille.

la membrane forme une cloison entre la cavité du limaçon et celle de l'oreille moyenne. — Toutes ces cavités sont tapissées par des membranes molles, flottantes dans le liquide qui remplit cette partie de l'organe. C'est sur ces membranes que viennent s'épanouir, en subdivisions d'une finesse extrême, les nerfs auditifs qui pénètrent dans le rocher (17).

688. **Fonctions des diverses parties de l'oreille.** — La membrane du tympan, recevant les ondes sonores qui se sont propagées dans le conduit auditif externe, entre en vibration et transmet son mouvement, soit à l'air qui remplit l'oreille moyenne, soit à la chaîne des osselets qui unit le tympan à la membrane de la fenêtre ovale. — Les expériences de Müller ont montré que les membranes de petites dimensions vibrent mieux quand elles sont faiblement tendues : la chaîne des osselets, en formant un ressort qui peut se tendre ou se fléchir plus ou moins, entre la membrane du tympan et la membrane de la fenêtre ovale, a pour effet de graduer la tension de ces membranes elles-mêmes. En exerçant sur elles une pression assez énergique, elle les empêche de vibrer trop fortement sous l'influence des sons intenses ; en exerçant une pression modérée, elle leur permet de vibrer sous l'influence des sons faibles. — Il faut remarquer enfin que l'air contenu dans l'oreille moyenne est en communication avec l'air extérieur par la trompe d'Eustache, en sorte que la membrane du tympan éprouve la même pression, de la part de l'air, sur ses deux faces. En outre, l'air qui arrive dans la caisse est toujours saturé de vapeur d'eau, et maintient le tympan dans un état d'humidité convenable. L'observation a montré que l'obstruction prolongée de la trompe d'Eustache entraîne une surdité plus ou moins complète.

La membrane de la fenêtre ovale, qui sépare l'oreille moyenne du vestibule, reçoit les vibrations qui lui sont transmises par la chaîne des osselets ; la membrane de la fenêtre ronde, qui est placée dans la paroi du limaçon, au voisinage du vestibule, est mise en vibration par l'air contenu dans la caisse du tympan : le mouvement vibratoire est ainsi communiqué au liquide qui remplit les cavités de l'oreille interne. C'est ainsi que le mouvement se transmet aux membranes molles qui flottent au sein de ce liquide, et que les ramifications des nerfs auditifs sont elles-mêmes ébranlées : elles transmettent à l'encéphale l'impression qui constitue la sensation du son.

Quant à la recherche du rôle de chacune des cavités de l'oreille interne, dans la perception des diverses *qualités* que notre oreille attribue aux sons, elle a été l'objet d'un grand nombre de travaux, de la part des physiologistes et des médecins. Nous ne pouvons donner ici le détail des résultats obtenus ; ils rentrent d'ailleurs plutôt dans le domaine de la Physiologie que dans celui de la Physique.

*Se llama luz un agente físico
que se nos revela por ser
nos luminoso*

LIVRE CINQUIÈME

OPTIQUE

CHAPITRE PREMIER

PROPAGATION DE LA LUMIÈRE. — PHOTOMÉTRIE.

I. — PROPAGATION DE LA LUMIÈRE.

689. **Sources de lumière. — Corps lumineux.** — Certains corps ont, par eux-mêmes, un éclat qui nous les rend visibles sans l'intervention d'aucune lumière étrangère. Tels sont le soleil, les étoiles, les flammes de nos bougies ou de nos lampes, le charbon incandescent, etc. — Nous désignerons ces corps sous le nom général de *sources de lumière*.

Au contraire, la plupart des objets qui nous entourent, et que nous distinguons à la lumière du jour, cessent d'être visibles quand ils sont placés de façon qu'aucune lumière étrangère ne puisse leur arriver. — Ces corps ne sont donc pas lumineux *par eux-mêmes* : ils ne deviennent visibles, qu'à la condition de pouvoir renvoyer la lumière qu'ils reçoivent d'une source lumineuse.

Pour ce qui concerne les phénomènes que nous avons à étudier, il n'existe aucune différence entre la lumière émise directement par les sources lumineuses, et celle qui est renvoyée par les corps éclairés. Nous désignerons donc sous le nom de *corps lumineux* tous les corps qui sont visibles à notre œil, soit par eux-mêmes, soit sous l'influence d'une lumière étrangère.

690. **Corps transparents et corps opaques.** — On appelle *corps transparents* les corps que la lumière peut traverser. — L'air est un