## CHAPITRE VI

ANALYSE ET SYNTHÈSE DES SONS. - TIMBRE. - PERCEPTION DES SONS.

389. Analyse des sons. — Méthode de M. Helmholtz: Résonnance et Résonnateurs. — C'est M. Helmholtz qui a démontré le premier, en 1865, que la plupart des sons que l'on regardait comme simples, sont composés. Sa méthode est fondée sur la résonnance, c'est-à-dire sur la propriété qu'ont les caisses sonores, quand elles sont de dimensions convenables, de vibrer spontanément à l'unisson d'un son donné, et de le renforcer. Les caisses de résonnance employées par M. Helmholtz sont des globes creux, de laiton, dont les dimensions varient de manière qu'ils puissent renforcer toutes les notes de la gamme: c'est ce qu'il a appelé des résonnateurs.



Fig. 430.

Chaque résonnateur est percé, aux deux extrémités d'un même diamètre, de deux trous circulaires (fig. 450); à l'un est fixée une tubulure cylindrique a, à l'autre une tubulure conique b. La hauteur du son avec lequel s'accorde un résonnateur dépend de ses dimensions et de la grandeur de l'ouverture a. L'opérateur reçoit le son extérieur par l'orifice a tandis qu'il introduit le cône b dans l'une de ses oreilles, et qu'il a soin de boucher l'autre. En expérimentant ainsi, l'oreille est sourde pour tout autre son que celui du

résonnateur, tandis que ce son est perçu distinctement dès qu'il est produit, quoique faible et mélangé avec d'autres harmoniques. De là un procédé très sensible pour reconnaître un son parmi un grand nombre d'autres.

C'est avec des résonnateurs diversement accordés que Helmholtz a décomposé les sons des différents instruments de musique et de la voix humaine et même certains bruits.

390. Résonnateurs et Appareil analyseur de Kœnig. — Le résonnateur de M. Helmholtz a été perfectionné par M. Kœnig, ainsi que la méthode d'analyse des sons. Le résonnateur de Kœnig est cylindrique et muni d'un tirage, comme une lunette; l'extrémité qui reçoit le son peut se tirer plus ou moins, de manière à faire varier à volonté le volume du gaz vibrant (fig. 431). Le son de-

venant alors de plus en plus grave, un même résonnateur peut servir à renforcer successivement plusieurs notes. Sur l'extrémité conique s'applique un tuyau de caoutchouc qui sert à conduire les vibrations de l'air du résonnateur à des flammes manométriques.

L'application successive à l'oreille de résonnateurs différents était une opération lente et pénible dans la méthode de M. Helm-

holtz. C'est pourquoi Kœnig a imaginé un appareil dans lequel une série de résonnateurs agissent sur des flammes manométriques : les sons deviennent alors visibles et ils peuvent être montrés à un nombreux auditoire.

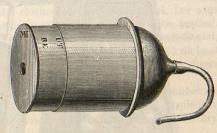


Fig. 431.

Cet appareil consiste en un châssis de fonte XY (fig. 432), sur lequel sont fixés, en deux séries parallèles, quatorze résonnateurs accordés pour donner toutes les notes de fa, à ut, c'est-à-dire quatre octaves et demie: les notes les plus élevées sont les harmoniques supérieurs des premières. A droite des résonnateurs est une chambre C, qui reçoit le gaz d'éclairage par un tuyau de caoutchouc D, et sur laquelle sont montés huit becs munis chacun d'une capsule manométrique (381, 4°). Chaque bec est en communication avec la chambre C par un tuyau de caoutchouc spécial, tandis que derrière l'appareil d'autres tuyaux relient chaque bec à l'un des résonnateurs. Enfin, à droite des becs est un système de miroirs tournants AB qui permet de manifester la dentelure des flammes vibrantes.

Supposons, par exemple, que le plus grand résonnateur à gauche soit accordé pour renforcer le son 1 et les sept autres avec les harmoniques de ce son, et que tous les huit soient en communication chacun avec un bec de gaz. Qu'on produise alors le son 1 devant l'appareil: si ce son est simple, le résonnateur inférieur parle seul, et la flamme correspondante est seule dentelée; mais si le son fondamental est accompagné d'un ou de plusieurs de ses harmoniques, les résonnateurs consonnants parlent en même temps, ce qu'on reconnaît aux dentelures de leurs flammes. Le son produit se trouve donc ainsi analysé.

391. Résultats généraux. — Cause du timbre. — A l'aide de ces appareils, M. Helmholtz a d'abord démontré l'existence de

sons simples, et puis analysé la composition des sons composés.

1º Les sons simples sont ceux qui résultent d'une seule espèce de vibrations, sans aucun mélange de sons harmoniques ni de sons accessoires. Un diapason, qu'on fait vibrer à l'orifice d'un

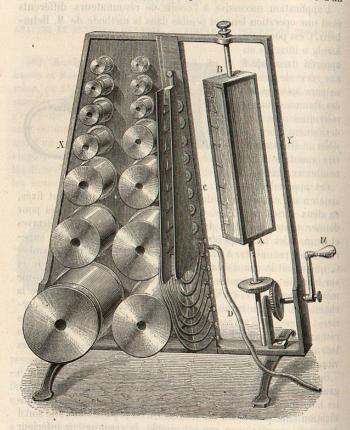


Fig. 452

tuyau sonore, rend un son simple. Une flûte, la voix humaine prononçant la syllabe ou, rendent des sons presque simples, parce que les harmoniques accompagnant le son fondamental ont une faible intensité. Le caractère physique des sons simples, c'est que, s'ils diffèrent entre eux par la hauteur et par l'intensité, ils ne se distinguent pas sensiblement par leur timbre; seuls les sons composés ont des timbres nettement distincts.

2º Parmi les sons composés, M. Helmholtz a établi deux catégories bien distinctes. Les uns ne sont pas formés par la superposition d'harmoniques véritables: leur son fondamental est accompagné de sons partiels, non harmoniques, qui sont plus ou moins persistants, plus ou moins réguliers; tels sont ceux qu'on tire des plaques métalliques, des cloches de verre ou de métal. Les sons composés de cette catégorie sont dépourvus du caractère musical. Ceux au contraire qui sont constitués par un son fondamental, accompagné d'harmoniques proprement dits, possèdent à un haut degré le caractère musical. Tels sont ceux que rendent les divers instruments de musique.

3° Pour les sons musicaux proprement dits, M. Helmholtz a démontré que les différences de timbre sont dues non seulement à la multiplicité plus ou moins grande des harmoniques supérieurs, mais à leur degré d'intensité plus ou moins élevé.

4º Timbres des voyelles. — En appliquant sa méthode d'analyse aux sons émis par la voix humaine, il a constaté dans ceux-ci l'existence des harmoniques: ce sont donc des sons musicaux. Les 6 ou 8 premiers harmoniques sont nettement perceptibles dans chacune des voyelles émises par la bouche humaine: mais ces divers harmoniques prénnent des degrés d'intensité divers suivant la forme qu'affecte la cavité buccale en les prononçant; or cette forme est déterminée par la voyelle qu'on veut prononcer. Ainsi la différence d'intonation des diverses voyelles tient à ce qu'elles ont chacune un timbre spécial, et ce timbre est déterminé par la prédominance de tel ou tel harmonique, de hauteur définie.

Par exemple, la voyelle a est caractérisée par la prédominance de la note  $si_4 b$ . Quand on prononce la voyelle a, à une hauteur quelconque, c'est le si b qui est le son dominant parmi les harmoniques rendus, dans cette émission, par la cavité buccale.

Le son caractéristique de la voyelle o, c'est le  $si_5 \flat$ ; celui de la diphthongue ou est le  $fa_2$ .

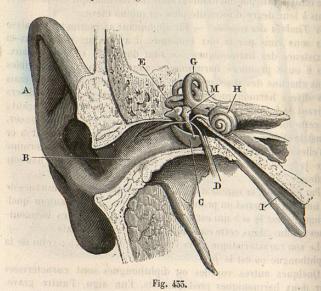
Quelques autres voyelles ou diphthongues sont caractérisées par deux harmoniques prédominants, l'un aigu, l'autre grave. Ainsi, pour la voyelle e, ce sont le  $fa_5$  et le  $si_5$ , simultanés; pour i, ce sont  $fa_2$  et  $r\acute{e}_6$ ; pour u,  $fa_2$  et  $sol_5$ ; pour la diphthongue ai, ce sont  $r\acute{e}_4$  et  $sol_5$  et pour eu,  $fa_5$  et  $ut_5^{-1}$ .

<sup>1.</sup> Ces indications ne sont exactes qu'autant qu'on suppose ces voyelles prononcées par un Allemand du Nord, comme dans les expériences de M. Helmholtz.

592. Synthèse des sons. — Helmholtz ne s'est pas borné à décomposer les sons, il a vérifié les résultats de son analyse par la synthèse, c'est-à-dire qu'il a reproduit un son donné, par la superposition des sons simples qu'il y avait découverts à l'aide de l'appareil analyseur. Il s'est servi, pour opérer cette synthèse, d'un autre appareil, très ingénieux, mais assez compliqué, et dont la description ne peut trouver place dans un traité élémentaire.

## PERCEPTION DES SONS.

595. **Description de l'oreille**. — La perception des sons est faite par le sens de l'ouïe, au moyen d'un organe spécial appelé oreille. L'oreille est représentée dans son ensemble par la figure 453, et dans ses détails par les figures 454 et 435.



On peut y distinguer trois régions: l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne.

Oreille externe. — Elle se compose de trois parties :

1° Le pavillon A, membrane cartilagineuse, externe : c'est ce qu'on appelle oreille dans le langage ordinaire;

2° et 5° Le conduit auditif B, qui part de la conque, ou fond évasé du pavillon, pour se terminer à l'oreille moyenne par la membrane du tympan C.

Oreille moyenne. — Elle est constituée par la caisse du tympan et ses accessoires.

Le tympan C est une membrane mince et délicate, qui est tendue obliquement sur l'axe du conduit auditif. Elle forme l'un des fonds d'une espèce de tambour sonore, appelé caisse du tympan, dont l'autre fond est une membrane élastique.

Cette caisse est munie de quatre ouvertures: la première est à sa partie supérieure; la deuxième, au bas du tympan, sert d'orifice à un canal, appelé trompe d'Eustache, qui fait communiquer



l'oreille moyenne avec l'air extérieur, par l'intermédiaire des fosses nasales. Les deux autres sont pratiquées dans la membrane qui est vis-à-vis du tympan et sont appelées, à cause de leurs formes respectives, l'une fenêtre ronde et l'autre fenêtre ovale. Les deux fonds du tambour sont reliés par une suite de petits os, la chaîne des osselets (fig. 434). L'un, le marteau M, s'appuie d'une part sur le tympan et de l'autre sur l'enclume E; puis viennent l'os lenticulaire L et l'étrier K dont la base est unie à la membrane de la fenêtre ovale. Deux petits muscles servent à mouvoir le marteau et l'étrier et à les appuyer plus ou moins sur les membranes voisines.

Oreille interne. — C'est la partie essentielle de l'organe, et elle est protégée par les parties les plus dures de l'os temporal, appelées rocher. Elle est composée de trois cavités: à la partie inférieure, le limaçon II (que la figure 435 représente en coupe); au milieu, le vestibule, et en haut les canaux semi-circulaires G. Leur ensemble constitue le labyrinthe, qui est tapissé intérieurement d'une membrane que baigne un liquide gélatineux. C'est dans ce liquide que viennent plonger les innombrables terminaisons du nerf

acoustique. M. de Corti a démontré qu'il y en avait environ trois mille; on les appelle fibres de Corti.

394. Mécanisme de l'audition. — Le pavillon recueille les ondes sonores venues de l'extérieur, les rassemble, les réfléchit et les dirige dans le conduit auditif.

Le conduit auditif externe transmet les ondes, en les renforcant. à la membrane du tympan. Celle-ci se met à vibrer et ses vibrations sont transmises par la chaîne des osselets jusqu'à l'oreille interne. Non seulement les osselets transmettent les vibrations plus fidèlement que ne le ferait un corps gazeux, mais ils règlent. en quelque sorte, la sensibilité des membranes de la caisse sonore en les tendant plus ou moins, suivant l'intensité ou l'acuité des sons extérieurs. Enfin la perception définitive du son se fait par l'intermédiaire des trois mille filets du nerf acoustique. M. Helmholtz admet que chaque fibre, accordée comme un petit résonnateur pour une note particulière, ne vibre qu'à l'unisson de cette note, et est sourde par toutes les autres. Chaque son simple ne fait donc vibrer qu'une seule fibre, tandis que les sons composés en font vibrer plusieurs. C'est par suite de cette perception propre des sons simples par chacune des fibres de Corti que l'oreille distingue un son entre plusieurs autres et perçoit, dans leur ensemble, les sons les plus complexes et les plus riches en harmoniques.

REMARQUE. — Les divers organes qui constituent l'oreille sont utiles à divers degrés pour rendre la sensation plus complète et le sens de l'ouïe plus délicat; mais il n'y en a qu'un parmi eux qui soit indispensable : c'est l'oreille interne et même le vestibule. Ainsi la perte ou la déchirure du tympan et la suppression des osselets n'entraînent pas la surdité complète.

Chez les crustacés et chez les céphalopodes <sup>1</sup>, le sens de l'ouïe n'a pas d'autre organe que le *vestibule*. Les autres parties de l'oreille interne n'apparaissent successivement que chez les êtres de plus en plus élevés dans l'échelle animale, et on ne les trouve au complet que chez l'homme.

le limagen, il eque la figure 155 exprésente au vanpe) e au suitau. Le restribule, et en haut les canaux s'entegrésaments de la carage. American and a silver LIVRE VII and absorbed to make

OPTIQUE

CHAPITRE PREMIER

PROPAGATION DE LA LUMIÈRE.

595. **Définitions générales.** — Lumière. — On appelle lumière la cause des phénomènes qui provoquent en nous, par l'intermédiaire du sens de la vue, les sensations de la vision. Ces phénomènes sont appelés eux-mêmes phénomènes lumineux.

Corps lumineux, corps éclairés. — On nomme corps lumineux ceux qui émettent de la lumière par eux-mêmes, comme le soleil, les étoiles et les corps en ignition. Les corps lumineux ne sont pas les seuls visibles pour nous; les corps non lumineux peuvent aussi le devenir, mais à la condition d'être éclairés, c'està-dire de recevoir, d'une source quelconque, de la lumière qu'ils renvoient ensuite dans toutes les directions. La lune, les planètes et presque tous les objets terrestres sont dans ce dernier cas.

Corps transparents, corps translucides. — Les corps transparents ou diaphanes sont ceux qui laissent facilement passer la lumière; à travers ces corps on distingue nettement les objets: tels sont l'eau, les gaz, le verre poli. Les corps translucides sont ceux au travers desquels on perçoit encore la lumière, mais sans pouvoir reconnaître la forme des objets: tels sont le verre dépoli, le papier huilé.

Corps opaques. — Enfin, on appelle corps opaques ceux qui ne se laissent nullement traverser par la lumière, comme le bois, les métaux. Toutefois il n'y a pas de corps absolument opaques. L'opacité des corps dépend de leur épaisseur : tous sont plus ou moins translucides lorsqu'ils sont réduits en feuilles assez minces. Foucault a fait voir qu'en argentant, sous une très faible épaisseur, la surface extérieure des objectifs de lunette, la couche d'argent est tellement transparente, qu'on observe très bien le soleil au travers; cette observation se fait alors sans danger pour

<sup>1.</sup> Chez les autres mollusques, il n'y a pas de sens auditif. On ne connaît pas non plus d'organe auditif chez les *insectes*; mais on sait que la fonction existe.