

de leurs orifices, et par le jeu de l'*anche*. Sans ce brisement du souffle, il n'y aurait pas cause de vibration. Remplacez un archet par un bâton d'ivoire parfaitement poli, soigneusement enduit de savon et ne présentant aucune aspérité : vous pourriez le promener indéfiniment sur une corde sans qu'il en résultât aucun son. Au contraire, l'archet en crin, déjà rugueux par lui-même, est frotté de colophane, de résine, et c'est par son agrippement qu'il ébranle la corde. De même un courant d'air parfaitement égal, ne rencontrant aucune obstacle qui le brise, passerait au-dessus d'un tuyau sans le mettre en vibration ; il est nécessaire que l'air soit déjà dans un état de frémissement, pour que le tuyau puisse trouver à choisir dans ce frémissement même des chocs correspondant à l'une ou l'autre de ses périodes de vibration.

L'*anche* est une languette souple, en bois ou en métal, disposée de telle façon que l'air ne puisse pénétrer dans le tuyau sans la déranger de sa position d'équilibre, et provoquer chez elle, par conséquent, des pulsations plus ou moins rapides, selon sa longueur, sa largeur et sa densité. Par elle-même elle ne donnerait qu'un son nul, imperceptible ; elle n'est donc pas le corps sonore, qui reste, comme dans tous les tuyaux, la colonne d'air, mais seule-

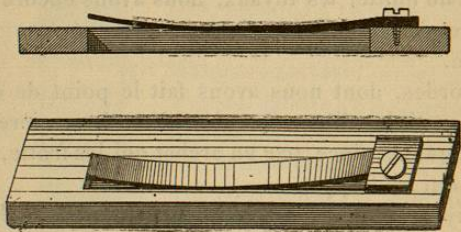


Fig. 21.

ment un procédé particulier de mise en vibration de cette colonne.

On distingue l'*anche battante*, qui ferme entièrement l'ouverture et vient frapper ses bords à chaque pulsation, en ajoutant un bruit assez désagréable au son musical, et l'*anche libre*, que nous venons de décrire, et dont voici la figure, en coupe et en perspective (fig. 21).

Une paille de 15 à 20 centimètres, si on en soulève une partie voisine d'un nœud, de façon à former une petite languette de 2 à 3 centimètres, comme on le voit ci-dessous (fig. 22), donne un son déjà musical, et nous offre



Fig. 22.

le type le plus simple et le plus rudimentaire de l'*anche libre*. Le modèle du genre, c'est le *larynx* ; car la voix humaine n'est pas autre chose qu'un merveilleux instrument à *anche*, dont la perfection n'a été atteinte par aucun facteur.

Pour en finir avec les *anches*, disons que dans le jeu de certains instruments, appelés instruments à embouchure (cors, trompettes, etc.), les lèvres de l'exécutant font office d'*anche double* ; leur pression contre les parois de l'embouchure modifie leur tension, qui à son tour détermine le mode de subdivision de la colonne d'air qu'elles commandent.

Dans le hautbois et le basson, l'air ne peut pénétrer dans le tube sonore qu'en passant *entre* deux *anches* en roseau, appuyées l'une contre l'autre et pressées par les lèvres de l'artiste.

Nous reviendrons en temps et lieu sur ces diverses applications du principe *anche*.


Les *membranes* ou peaux parcheminées, tendues circu-

lairement, font entendre des sons d'autant plus aigus qu'elles sont plus fortement tendues et de plus petite dimension. Je ne crois pas qu'on ait jamais déterminé les lois de rapports exacts de leurs vibrations, ce qui n'aurait d'ailleurs aucune importance pour nous, les sons qu'elles donnent étant toujours confus, sans netteté, et se rapprochant plus du bruit que du son musical. Une exception doit être faite pourtant en faveur des timbales, qu'on arrive réellement à accorder, au moyen de nombreuses vis de tension disposées à leur périphérie.

La seule particularité que nous ayons à noter ici, parce que nous aurons un parti à en tirer plus tard, c'est qu'une membrane est apte à produire simultanément ou successivement beaucoup de sons différents, plus ou moins justes ou faux, et souvent d'une grande intensité.

Il en est un peu de même des *plaques métalliques*, quoique chez elles les sons soient sensiblement plus nets; leur note fondamentale est généralement accompagnée d'harmoniques très élevés et discordants entre eux, d'où résulte leur timbre spécial, qu'on est libre de trouver plus ou moins agréable. D'une façon générale, on peut dire que leurs vibrations sont en raison directe de leur épaisseur et en raison inverse de leur étendue, de leur surface.

Plus intéressantes sont les vibrations des *verges* ou *lames* métalliques, qui rendent, dans beaucoup de cas, des sons musicaux parfaitement déterminés.

Qu'elle soit frappée par un marteau ou ébranlée par le frottement d'un archet, une lame varie d'intonation en raison inverse du carré de sa longueur; ainsi, en supposant que l'*ut*  de 1,034 vibrations soit produit par une lame de 18 centimètres de longueur, une autre lame du même métal et de la même épaisseur, mais de longueur moitié moindre, soit 9 centimètres, donnera non l'octave

au-dessus, ce qui serait si les verges suivaient la loi des cordes tendues, mais un son situé deux octaves au-dessus, l'*ut* de 4,138 vibrations.

Il va sans dire que l'épaisseur de la lame exerce aussi une action; en ce cas on peut considérer que le nombre des vibrations est en raison directe de l'épaisseur du corps vibrant.

La plus importante application du principe des verges vibrantes est le *diapason*, instrument donnant un seul son fixe, unique et à peu près invariable, et dont on se sert pour mettre d'accord entre eux les divers éléments de l'orchestre.

Théoriquement, le diapason est une verge d'acier fixée au milieu, qui est par conséquent un point nodal, et libre à ses extrémités. Son mode de vibration le plus simple est donc représenté ainsi (fig. 23) :

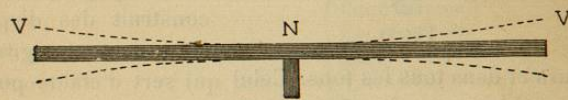


Fig. 23.

un nœud au milieu, un ventre à chaque bout, deux demi-segments vibrants, donc, son fondamental. (L'analogie avec le tuyau ouvert est remarquable). La figure 24 ci-après fait bien comprendre comment ce barreau peut être courbé et amené à la forme usuelle sans que son système vibratoire en soit altéré.

Il est facile d'obtenir d'un diapason qu'il écrive lui-même l'histoire de ses vibrations; il suffit pour cela d'armer une de ses branches d'une petite pointe telle qu'une aiguille, ou l'extrémité du bec d'une plume d'oie, qu'on fixe avec une gouttelette de cire, et de le promener doucement, après l'avoir excité, à la surface d'une plaque de verre recouverte de noir de fumée. Il y tracera, non pas une ligne

droite, mais une ligne sinueuse, qui n'est autre que la représentation graphique de ses vibrations (fig. 25).

En raison des lois qui régissent les lames vibrantes,

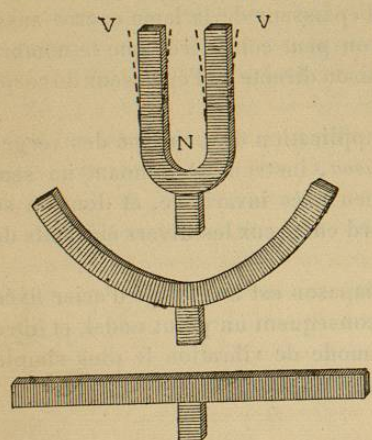


Fig. 24.

plus un diapason est grand et plus ses branches sont grosses, plus le son est grave; donc, pour hausser le ton d'un diapason, il suffit de limer ses branches de façon à en diminuer la hauteur; pour le baisser, il faut en diminuer l'épaisseur

Pour des expériences de physique, on construit des diapasons de toutes grandeurs et dans tous les tons.

Celui qui sert d'étalon pour les orchestres et les facteurs d'instruments est encore loin d'être le même dans tous les pays; en France, depuis l'année 1859, on a adopté officiellement, sous le nom de

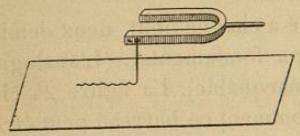
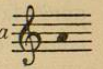


Fig. 25.

diapason normal, le *la*



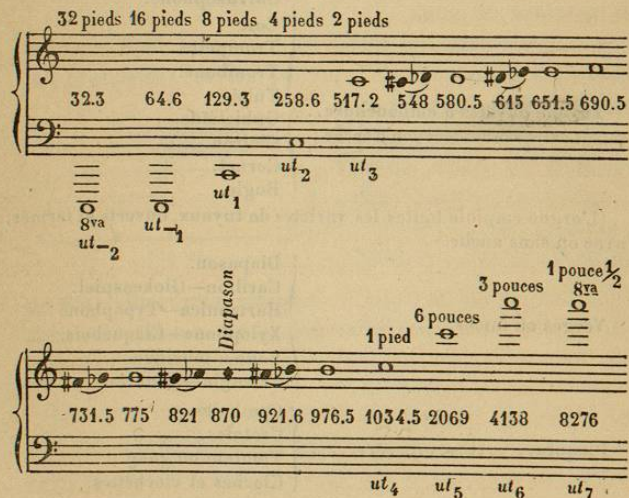
de 870 vibrations simples. C'est d'après ce chiffre que sont calculés tous les nombres de vibrations dans le courant de cet ouvrage.

Les instruments employés en musique obéissent tous aux lois que nous avons précédemment étudiées; le classement suivant montre à laquelle de ces lois est soumis chacun d'eux en particulier.

Cordes frottées	{ Violon. Alto. Violoncelle. Contrebasse.
Cordes pincées	{ Harpe. Guitare. Mandoline.
Cordes frappées.....	{ Piano. Tympanon—Cembalo.
Tuyaux ouverts.....	{ Flageolet ou flûte à bec Flûte traversière. Petite flûte.
Tuyaux fermés.....	{ Flûte de Pan. (Souvent aussi en tuyaux ouverts.)
Tuyaux à anche ouverts.....	{ Saxophone.
Tuyaux à anche fermés.....	{ Clarinette. Cor de basset. Clarinette basse.
	{ Voix humaine. Hautbois. Cor anglais.
Tuyaux ouverts à anche double	{ Basson. Contrebasson. Sarrusophone.
	{ Cor. Trompette. Trombone.
Tuyaux ouverts à embouchure..	{ Tuba. Ophicléide. Clairon. Cornet. Bugle.
(Lèvres faisant fonction d'anche.)	
	{ (L'orgue emploie toutes les variétés de tuyaux, ouverts et fermés, avec ou sans anche.)
Verges ou lames.....	{ Diapason. Carillon—Glockenspiel. Harmonica—Typophone Xylophone—Claquebois. Boîte à musique. Triangle—Timbres.
Plaques.....	{ Cymbales. Crotales. Tamtam ou gong. Cloches et clochettes.

Membranes.....	{	Timbales.
		Tambourin.
		Tambour de basque.
		Tambour.
		Grosse caisse.

Quelle que soit la catégorie à laquelle il appartient, chacun de ces instruments occupe une région quelconque de l'échelle musicale générale. Je donne ici, à titre de renseignement, le tableau complet des nombres de vibrations pour tous les *do* de l'échelle musicale, ainsi que celui de toutes les notes de l'octave moyenne, celle qui contient le *la* du diapason. Ces chiffres étant connus, il est aisé d'obtenir, par une simple multiplication ou division, le nombre de vibrations d'un son quelconque; je le place entre les deux portées. Au-dessus, on trouve en *pieds*, selon l'usage des facteurs d'orgues, la longueur du tuyau ouvert correspondant à chaque *ut*. Les *indices* placés au-dessous sont ceux par lesquels les physiciens ont coutume de désigner chaque octave :



Au moyen de ce tableau, il deviendra facile aux lecteurs qui se trouveront en présence d'ouvrages spéciaux, appartenant à des techniques diverses, de saisir d'une façon précise la corrélation qui existe, en ce qui concerne la hauteur du son musical, entre les nomenclatures adoptées par les physiciens, par les musiciens et par les constructeurs d'instruments.

B. — Transmission du son par l'air.

Autour du point où le son est produit par l'un ou l'autre des procédés que nous venons de décrire, les molécules d'air se trouvent déplacées et forcées d'exécuter des mouvements de va-et-vient absolument semblables à ceux du corps vibrant lui-même; dans ces mouvements, elles viennent heurter les molécules contiguës, qu'elles obligent à vibrer comme elles et à transmettre à leurs voisines l'impulsion qu'elles ont reçue, et ainsi de suite. Voilà comment le son se propage, non seulement dans l'air, mais dans tous les milieux gazeux, liquides ou solides, qui sont, tout comme lui, composés de molécules.

Il est très important de bien comprendre que l'air lui-même ne s'agit pas, qu'il n'est pas transporté d'un point à un autre, sans quoi les sons constitueraient de véritables courants d'air, et le voisinage d'un instrument de musique serait dangereux pour les personnes sujettes au rhume de cerveau. Chaque molécule se borne à reproduire exactement le mouvement du corps vibrant qui a causé l'excitation première, et revient au repos après l'avoir communiqué à ses voisines, qui agissent de même, à leur tour, à l'égard des molécules suivantes. C'est un mouvement moléculaire.

Pour bien saisir cette transmission, je signale la démonstration suivante : prenez cinq ou six pions d'un jeu de dames, et rangez-les à la suite les uns des autres, à

plat et se touchant, sur le couvercle à rainure qui sert ordinairement à les enfermer; séparez le dernier de la rangée, et lancez-le doucement, en le faisant glisser horizontalement, contre son voisin; le mouvement se transmettra de proche en proche jusqu'au dernier pion, qui seul, n'en ayant aucun autre devant lui à actionner, avancera de quelques millimètres ou même centimètres, selon la force de l'impulsion donnée.

Les autres n'auront pas bougé d'une façon appréciable;

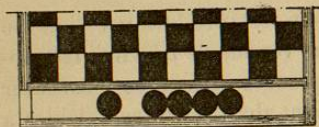


Fig. 26.

il n'auront fait chacun que le très petit mouvement nécessaire pour communiquer la force à leurs voisins. Cette expérience se fait encore mieux avec une série de billes d'ivoire,

telles que les billes de billard. C'est ainsi qu'agissent les molécules.

Disons en passant que la transmission se fait de la même manière pour les vibrations lumineuses et calorifiques dont nous avons parlé au début, avec cette différence que ces dernières sont des phénomènes vibratoires atomiques, tandis que les vibrations sonores sont des phénomènes moléculaires; l'atome est le dernier élément constitutif des corps, les molécules sont des agglomérations d'atomes, il est facile de concevoir que des vibrations qui se chiffrent par trillions doivent affecter des parties infiniment plus petites que les vibrations musicales.

L'onde sonore correspondant à une vibration et engendrée par elle se compose donc, comme elle, d'une condensation et d'une dilatation successives. Quand la première molécule s'en vient pousser la deuxième, il y a entre elles condensation; quand elle s'en retourne à son point de repos, pendant que la deuxième se dirige vers

la troisième, elles s'écartent l'une de l'autre, il y a dilatation, tandis qu'à ce même moment il y a condensation entre la deuxième et la troisième, etc. Ces pulsations s'en vont ainsi propager le son à travers l'air, *sans que lui-même soit déplacé*; et comme chacune d'elles n'est que la reproduction, la copie, pour ainsi dire, de l'oscillation du corps vibrant, elles s'en vont le transportant partout, avec ses qualités d'intonation et de timbre. Quant à l'intensité, elle va en décroissant; car toutes ces transmissions ne peuvent se faire sans des frottements moléculaires qui amoindrissent graduellement l'amplitude, jusqu'au point où elle devient imperceptible, négligeable, puis nulle.

Nous verrons bientôt selon quelle loi, très simple, s'accomplit cette déperdition d'intensité; mais auparavant, une nouvelle comparaison trouve ici sa place utile, presque indispensable.

Quand on jette une pierre dans l'eau, il se produit immédiatement, autour du point de sa chute, une sorte de bourrelet liquide qui est une première onde; à celle-ci en succède bientôt une deuxième, plus large, mais absolument concentrique, puis une troisième, puis une multitude d'autres, formant autour du point central une vaste auréole. Tous ces cercles sont des *ondes circulaires*. Au lieu d'une pierre, jetez-en deux ou plusieurs à quelque distance l'une de l'autre, et vous verrez leurs ondes se rencontrer, se croiser, passer les unes sur les autres, sans jamais se confondre; vienne à passer un bateau à vapeur, qui produit des sillons ou des ondulations d'un autre genre; vienne la pluie, dont chaque goutte ébranle la surface de l'eau, vous pourrez toujours suivre de l'œil ces divers mouvements ondulatoires qui se traversent, s'entre-croisent et poursuivent leur marche régulière sans que jamais l'un d'eux vienne anéantir un autre. Arrivés au bord, ils s'y réfléchissent comme des

rayons lumineux sur un miroir et reprennent, bien qu'affaiblis par ce choc, leur course en sens inverse, sans être dérangés par la rencontre des nouveaux cercles qui se dirigent vers le rivage, formant ainsi le guillochage le plus varié et le plus imprévu.

C'est ce qu'on appelle en mécanique la *superposition des petits mouvements*. Au moment de la rencontre de deux ou plusieurs systèmes d'ondes, les pulsations s'ajoutent les unes aux autres, s'additionnent algébriquement; mais la série alternative de condensations et de dilatations se transmet fidèlement de molécule à molécule, jusqu'à épuisement de la force initiale.

C'est ainsi qu'on peut s'instruire en faisant des ronds dans l'eau, et c'est ainsi aussi qu'on peut se représenter l'atmosphère d'une salle de concert, sillonnée en tous sens par des ondes régulières se rencontrant et s'entrecoupant en tout sens, sans que jamais aucune d'elles perde, à tous ces contacts, son individualité propre.

Mais avec cette différence que les ondes sonores donnent lieu à des combinaisons autrement compliquées que les ondes liquides et superficielles que nous venons de décrire. L'ébranlement causé par un corps qui tombe dans l'eau ne s'y manifeste d'une façon visible qu'à l'intersection de l'air et de l'eau, et les ondulations auxquelles il donne naissance se meuvent toutes dans ce même plan horizontal; c'est pourquoi nous les avons appelées des ondes *circulaires*. Les ondes sonores, se produisant au sein de l'atmosphère, se répandent symétriquement dans tous les sens, aussi bien en haut et en bas qu'à droite ou à gauche, tout autour enfin du corps sonore dont elles émanent; ce sont des ondes *sphériques*. La déperdition de force est donc en raison directe du carré de la distance qui sépare l'auditeur de la cause première du son; autrement dit, l'intensité décroît en proportion de la masse d'air ébranlée.

En plein air, par un temps calme, un son entendu à la distance de deux mètres est déjà quatre fois plus faible que si on avait l'instrument à l'oreille; à trois mètres, neuf fois; à quatre mètres, seize fois. (C'est ce que démontre la théorie mathématique; mais dans la pratique on verra que certains sons sont doués d'une plus grande portée que d'autres, d'une plus grande pénétration, ce qui doit tenir à la présence d'harmoniques élevés, qui rendent leur timbre perçant.)

Si, par un moyen quelconque, on évite la diffusion latérale des ondes sonores, on augmente dans des proportions considérables la portée du son; dans les tuyaux vides des conduites d'eau de la ville de Paris, le célèbre physicien Biot a constaté qu'en parlant à voix basse on pouvait s'entendre à plus d'un kilomètre. M. Regnault a trouvé que les ondes se propagent plus loin dans les tuyaux d'un fort diamètre que dans ceux de section étroite, ce qui prouve qu'une partie de la force s'use sur les parois du tuyau.

Un coup de pistolet chargé d'un gramme de poudre s'entend à 1,159 mètres dans un tuyau dont le diamètre est 0^m,108; dans un tuyau de 0^m,300, il porte jusqu'à 3,810 mètres; enfin, si ce tuyau a 1^m,100, ce même bruit est encore perceptible à 9,540 mètres. C'est sur ce principe que sont construits les tuyaux acoustiques.

Mais il y a d'autres moyens de diriger les ondes sonores. Tout comme les rayons lumineux, les rayons sonores jouissent de la propriété d'être réfléchis et réfractés; le mur auquel est adossé un orchestre et les voûtes du plafond constituent pour le son de véritables miroirs. Le son se reflète sur une surface polie exactement comme la lumière, et pour lui, aussi bien que pour elle, l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion.

Le son le plus faible d'un diapason, ou même le tic tac d'une montre, placés à l'un des foyers d'un réflecteur

elliptique, convergent vers l'autre foyer, où ils sont perçus nettement. Remplacez le réflecteur elliptique par un autre de forme parabolique, et tous les rayons seront renvoyés parallèlement, selon l'axe de la parabole. Tout naturellement, un son peut subir plusieurs réflexions successives sur des parois disposées convenablement, agissant sur lui comme un jeu de glaces agit sur la lumière. C'est à cette propriété que sont dus les échos, dont nous parlerons plus loin, ainsi que le roulement du tonnerre, au moins en grande partie; dans ce dernier cas, les nuages constituent des surfaces réfléchissantes.

Le son peut également être réfracté en traversant des milieux d'inégale densité, et, bien que cette propriété n'ait reçu jusqu'à présent aucune application artistique, nous allons décrire un moyen facile de s'en assurer : à quelques centimètres d'un diapason vibrant suspendez un ballon de baudruche dans lequel vous aurez introduit du gaz acide carbonique, plus dense que l'air; éloignez-vous

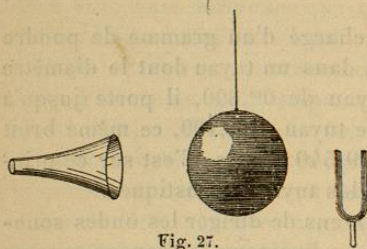


Fig. 27.

graduellement jusqu'à un mètre ou un mètre cinquante, en tenant près de l'oreille un entonnoir formant cornet acoustique (fig. 27). Vous trouverez aisément dans ces parages un point où le son du diapason atteindra un maximum d'intensité; à ce moment, faites remplacer le diapason par une montre, et vous en percevrez tous les bruits aussi distinctement que si vous la teniez près de l'oreille. Le ballon aura fait converger les rayons sonores comme une lentille de verre aurait fait converger les rayons lumineux.

Cet effet est dû à la différence d'élasticité et de densité

qui existe entre le gaz acide carbonique et l'air atmosphérique. La réfraction des rayons est un effet du ralentissement de leur marche dans l'épaisseur du ballon.

Plus l'élasticité est grande par rapport à la densité, et plus grande est la vitesse de la transmission. Dans le fer, cette vitesse est de 5,127 mètres environ; dans le plomb, 1,228 mètres; dans les fibres de l'acacia, 4,714; dans celles du pin, 3,322; dans l'eau de mer, 1,453; dans l'eau douce, 1,436; dans l'alcool rectifié, 1,159; dans l'hydrogène, 1,269; dans l'acide carbonique, 261.

(Au bord de la mer, et par un temps calme, un baigneur placé près d'une jetée peut entendre trois fois un coup de canon ou tout autre bruit violent produit à terre : une première fois en appliquant l'oreille contre les parois de la jetée, une deuxième en mettant sa tête dans l'eau, la troisième par l'air.)

Les chiffres ci-dessus ne sont qu'approximatifs, et varient assez sensiblement selon la température. En ce qui concerne l'air, qui seul a pour nous, au moins actuellement, une importance réelle¹, la vitesse exacte est 332.8 quand le thermomètre centigrade marque zéro², et elle augmente de 60 centimètres environ à chaque degré de chaleur. Il semble qu'il y ait ici une contradiction, car en élevant la température on dilate l'air, et la vitesse devrait diminuer, tandis qu'elle augmente; cela tient à ce que cette dilatation est accompagnée d'un accroissement encore plus considérable de l'élasticité, dont l'importance ne saurait être négligée dans le fait de la transmission des vibrations. Expérimentalement et mathématiquement, on a établi cette loi; la vitesse du son dans l'air est direc-

1. La transmission par les parois solides est à considérer dans la construction des édifices destinés à la musique, salles de spectacles ou de concerts.

2. Ce chiffre est exact, pour Paris, à la pression barométrique de 760.

tement proportionnelle à la racine carrée de l'élasticité, et inversement proportionnelle à la racine carrée de la densité : une densité nulle entraînerait la suppression de toute élasticité; aussi le son ne peut-il se propager dans le vide. Dans les cours de physique les plus élémentaires, on vous montre un timbre mû par un mouvement d'horlogerie, qui vibre *silencieusement* sous la cloche d'une machine pneumatique; on a enlevé l'air, il n'y a plus de molécules pour transmettre les vibrations.

Chaque son correspond à un chiffre quelconque de vibrations par seconde; mais tous sont transmis par l'air avec une vitesse égale de 340 mètres à la température moyenne de 15 degrés. On appelle *longueur d'onde* la distance parcourue par le son pendant *une* des vibrations du corps sonore. S'il n'y avait qu'une seule vibration par seconde, la longueur d'onde serait 340 mètres; avec deux vibrations, 170 mètres; le diapason normal de 870 vibrations fournit donc une longueur d'onde de $\frac{340}{870} = 0^m,390$, ce qui revient à dire que l'onde a déjà parcouru 39 centimètres quand les branches n'ont encore exécuté qu'une seule oscillation.

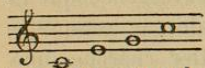
La longueur d'onde varie nécessairement avec la vitesse de transmission dans divers milieux.

Quand le son est produit par la colonne d'air contenue dans un tuyau, on conçoit que l'air ambiant soit mis en vibration par la masse assez considérable du corps sonore. Il n'en est pas de même pour les cordes; la surface très fine d'une corde ne déplacerait que peu de molécules voisines, et ne leur communiquerait que des oscillations très faibles et musicalement insuffisantes. L'art utilise ici un phénomène du plus haut intérêt, qui s'appelle la *résonance*.

Certains corps, le bois notamment, entrent en vibration

avec une facilité extrême; on en construit des caisses, des tables, sur lesquelles les cordes sont tendues; par les points d'attache, et surtout par le chevalet, les vibrations sont transmises à la table, qui, au moyen de sa large surface, les communique avec force à l'air environnant.

La résonance ne se manifeste pas seulement lorsque le corps sonore est directement en contact avec l'organe renforçant, mais dans une multitude de cas que chacun discernera quand nous en aurons signalé quelques-uns. Un violoncelle, ou une guitare avec ses cordes, suspendue au mur d'une chambre, vibrera énergiquement, sans que personne y touche, si une voix bien timbrée fait entendre à quelque distance un son correspondant à l'une de ses cordes, ou ayant seulement avec elle quelque affinité par les harmoniques. — Ouvrez le couvercle d'un piano, abaissez la pédale qui soulève les étouffoirs¹, et, vous penchant au-dessus des cordes, vocalisez fortement l'accord



ou tout autre; aussitôt vous entendrez les cordes dont la période de vibration est la même que celle des sons que vous aurez chantés reproduire le même accord. — Prenez deux diapasons bien d'accord ensemble et montés sur des boîtes de résonance; ébranlez l'un des deux avec un archet, et son camarade, fût-il même placé assez loin, entrera *tout seul* en vibration. L'air aura transmis son mouvement à la masse d'air contenue dans la caisse résonnante du deuxième diapason, qui aura eu assez de force pour ébranler ce lourd barreau d'acier courbé. — Séparez l'un des diapasons de sa boîte, et, en le frappant avec un corps dur, mettez-le en vibration; tenu à la main, vous l'entendrez à peine; approchez-le d'un vase quelconque ou d'un tuyau ayant 39 centimètres de hauteur, et le son sera considérablement renforcé, parce qu'un tuyau

1. Celle de droite.

de 39 centimètres est juste à l'unisson d'un *la* de 870 vibrations¹. Dans ce cas, c'est la colonne d'air qui est mise en mouvement par les oscillations régulières des branches du diapason. — Deux pianos étant à côté l'un de l'autre, mettez la pédale de l'un, et jouez une gamme sur l'autre; vous aurez un horrible charivari. — J'avais autrefois une petite lampe au pétrole qui n'a jamais voulu me permettre de jouer sur le piano la marche de *Tannhauser*. Dès que

j'arrivais à l'accord $\left\{ \begin{array}{l} \text{fa} \sharp \\ \text{ré} \sharp \\ \text{si} \end{array} \right.$ de la sonnerie de trompettes du

début :  elle

s'éteignait comme par enchantement. Il est évident que cet accord correspondait aux modes de division du verre, et y mettait l'air dans un tel état d'effervescence que la flamme était comme soufflée; c'était subit, et lorsque je voulais jouer ce morceau, je devais aller chercher une autre lampe. — Il n'est personne qui n'ait remarqué que certains corps, qui ne sont pas des instruments de musique, les bobèches notamment, les cristaux des lustres, entrent intempestivement en vibration sous l'influence de certaines notes, tandis que les autres ne les tirent pas de leur repos. — Toutes ces manifestations reconnaissent une seule et même cause, la *vibration par influence* ou *par sympathie*. Quelque faibles et petites que soient les ondes aériennes, elles arrivent, en s'ajoutant les unes aux autres, et grâce à leur parfaite régularité, à mettre en mouvement des corps relativement pesants, à cette condition seule, mais indispensable, que lesdits corps soient constitués de façon à pouvoir emboîter le pas avec

1. On peut faire ce tuyau avec du carton, ou même du papier un peu fort.

elles, c'est-à-dire à s'accommoder de leur période de vibration. Tel est le phénomène de la résonance.

Lorsqu'une personne inaccoutumée à cet exercice veut mettre en mouvement la grosse cloche d'une église, elle y dépense beaucoup de force inutile; le petit enfant de chœur, instruit par une expérience naïve renouvelée plusieurs fois par jour, se suspend instinctivement à la corde d'une manière cadencée, selon un rythme régulier, et patiemment attend que ces faibles pulsations, s'ajoutant les unes aux autres, ébranlent le lourd bourdon. C'est ainsi que les condensations et dilatations alternatives des ondes sonores parviennent, par leur persistant isochronisme, à contraindre des corps souvent très massifs à subir leur influence.

Si nous reprenons maintenant notre monocorde, en le montant, cette fois, de deux cordes tendues de façon à donner l'unisson, nous pourrons, par de jolies expériences, étudier plus complètement cet intéressant phénomène des vibrations par sympathie. A cet effet, disposons, comme nous l'avons fait précédemment, trois cavaliers blancs aux points 25, 50 et 75, et quatre autres, de couleur différente, dans les intervalles, sur une seule des deux cordes, à laquelle nous ne toucherons plus. Cela fait, pinçons l'autre corde à l'un des points 12.5, 37.5, 62.5 ou 87.5, tout en l'effleurant à 25 ou 75, de manière, enfin, à lui faire produire l'harmonique 4; les quatre cavaliers de couleur placés sur la corde voisine sauteront. — Amortissons à 50, pinçons à 25 ou 75, le cavalier du milieu résistera seul. — Attaquons enfin la corde en son milieu, il sera désarçonné à son tour.

Pour qui se rappelle bien la théorie des segments vibrants, des nœuds et des ventres, cela démontre jusqu'à l'évidence que la corde impose à sa voisine l'obligation non seulement de vibrer, mais encore de vibrer

comme elle, en adoptant jusqu'à son mode de subdivision.

Replaçons les cavaliers et recommençons l'expérience dans les mêmes conditions, mais après avoir abaissé d'une petite quantité, un demi-ton environ, la deuxième corde, celle que nous ébranlons directement; le phénomène ne se produira plus, les nombres de vibrations n'étant plus en concordance. — Continuons à abaisser la deuxième corde jusqu'à ce qu'elle soit à une quinte juste au-dessous, et à ce moment amenons-la à produire le son partiel 6, en l'effleurant à l'un de ses sixièmes (16.5 par exemple); les cavaliers colorés seront fortement agités. En effet, le 6^e harmonique de la deuxième corde sera à l'unisson du 4^e harmonique de la première :

Première corde. 

Deuxième corde. 

Ces expériences peuvent être variées à l'infini, et le phénomène qu'elles révèlent est d'une importance capitale dans l'étude de l'acoustique musicale, ainsi qu'on le verra quelques pages plus loin.

Les membranes, qui, ainsi que nous l'avons déjà dit, vibrent sans donner une note bien déterminée, jouissent par cela même de la propriété d'entrer en vibrations sympathiques sous l'influence d'une infinité de sons différents; du sable fin, répandu à leur surface, en décèle les moindres mouvements. Aussi ont-elles été l'objet d'études approfondies de la part du célèbre Helmholtz; mais pour ce qui est de l'analyse du son, du timbre spécialement, rien n'égale en précision et en simplicité les résonnateurs imaginés par ce même savant. Ce sont de simples globes

de verre, ou de cuivre, dont la dimension a été calculée d'avance de façon à fournir tel ou tel son déterminé, et possédant deux ouvertures, la plus grande destinée à communiquer avec l'air libre, la plus petite en forme d'entonnoir, pouvant s'introduire dans l'oreille (fig. 28).

L'air qu'ils contiennent vibre par influence toutes les fois que le son propre au résonnateur entre dans la composition du son complexe qu'il s'agit d'analyser, et produit dans l'oreille une sorte de bourdonnement musical qui, par sa prépondérance, efface presque entièrement le son fondamental, au bénéfice de l'harmonique qu'il a pour mission d'isoler et de renforcer.

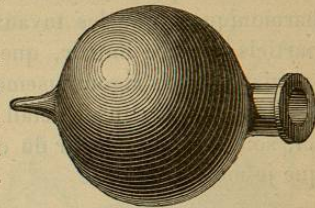
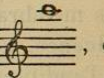
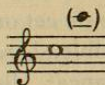
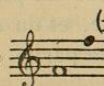
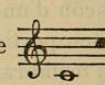
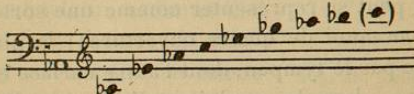


Fig. 28.

Muni d'un tel résonnateur, accordé en , on percevrait nettement, même avec une oreille peu exercée,

ce son comme 2^e harmonique de  comme 3^e har-

monique de  comme 4^e de , etc., et encore peut-être, en y apportant quelque attention,

comme 10^e de 

Les résonnateurs sont des sortes d'isolateurs qui permettent de fixer l'attention sur un des éléments constitutifs d'un son composé et de le dégager de la masse so-

nore que nous avons l'habitude de considérer comme un son unique.

Avec une série de tels appareils, on vérifie expérimentalement et indiscutablement ce que nous avons exposé en théorie : que les tuyaux ouverts possèdent tous leurs harmoniques, que les tuyaux fermés n'ont que les sons partiels d'ordre impair, que les cordes ne fournissent jamais des sons rigoureusement simples, et une quantité d'autres choses dans le détail desquelles je ne puis entrer ici, sous peine de sortir du cadre exclusivement musical que je me suis imposé

C. — Perception du son.

Au moyen des connaissances que nous possédons sur la nature du son, ses éléments constitutifs, son mode de propagation dans les milieux élastiques, les propriétés des membranes, des résonateurs, et les vibrations par influence, nous allons arriver à expliquer le mécanisme de l'audition, le mystérieux fonctionnement de l'oreille.

Mais auparavant, il est nécessaire d'examiner la structure anatomique de cet organe (fig. 29).

La partie visible, l'*oreille externe*, est celle qui a le moins d'importance ; elle se compose du *pavillon*, qui agit à la façon d'un cornet acoustique, et du *conduit auditif*, tube en partie cartilagineux, en partie osseux, qui aboutit à la membrane du *tympan*.

Au delà de cette membrane se trouve l'*oreille moyenne*, qu'on peut se représenter comme une sorte de *caisse* ou *tambour* muni de quatre ouvertures ; la plus grande est fermée par le tympan, dont l'autre surface est en communication, dans le conduit auditif, avec l'air extérieur ; dans la paroi opposée se trouve la *fenêtre ronde*, et à peu près au-dessus d'elle, la *fenêtre ovale*, toutes deux également fermées par des membranes très fines et très élas-

tiques ; la seule ouverture qui ne soit pas entièrement close est la *trompe d'Eustache*, sorte de conduit conique

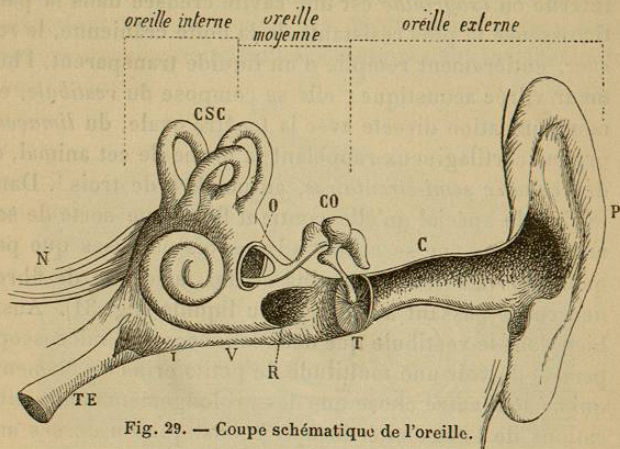


Fig. 29. — Coupe schématique de l'oreille.

Oreille externe : P, pavillon ; C, conduit auditif ; T, tympan. — Oreille moyenne : T, tympan ; CO, chaîne des osselets ; O, fenêtre ovale ; R, fenêtre ronde. — Oreille interne. — V, vestibule ; L, limaçon ; CSC, canaux semi-circulaires ; N, nerf acoustique, TE, trompe d'Eustache.

qui met l'oreille moyenne en rapport avec le pharynx,

dans lequel il s'ouvre à chaque mouvement de déglutition. A l'intérieur de cette caisse se trouve la curieuse *chaîne des osselets*, qui est tendue entre le tympan et la membrane de la fenêtre ovale (fig. 30) ; elle se compose de quatre petits os auxquels on a donné des noms rappelant leurs formes : le *marteau* est fixé par son manche au centre du tympan ; après lui vient l'*enclume*,

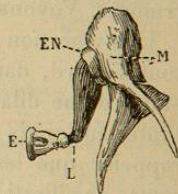


Fig. 30. — Les osselets. E, étrier ; L, os lenticulaire ; EN, enclume ; M, marteau.

puis un petit os presque rond, appelé l'*os lenticulaire*, et enfin l'*étrier*, dont la base recouvre presque entièrement la fenêtre ovale.