

Il y a là à considérer un certain nombre de phénomènes dont nous indiquerons les principaux.

Lorsqu'un corps solide élastique est placé dans une masse d'air en vibration, il est mis en vibration si sa masse n'est pas trop considérable : l'effet varie d'ailleurs avec la forme du corps et est le plus grand, à masse égale, lorsque l'épaisseur étant faible et la surface étant grande, celle-ci est parallèle ou à peu près aux ondes aériennes qui se propagent. C'est ce qui explique l'emploi des membranes pour enregistrer le mouvement vibratoire (695).

Si le corps élastique fait partie d'une paroi qui sépare deux masses gazeuses, par son intermédiaire le mouvement vibratoire de l'une peut être transmis à l'autre. Il en est de même si cette surface sépare une masse gazeuse d'une masse liquide, et, même, il semble que la transmission se fait mieux dans ce cas que par l'action directe de la masse gazeuse sur le liquide.

Ces faits de transmission directe du mouvement vibratoire sont mis en évidence par l'observation qu'on peut entendre le son correspondant à un mouvement vibratoire émis par un corps sonore lors même qu'on en est séparé par des corps de nature diverse, pourvu qu'ils soient élastiques. L'interposition de corps non élastiques empêche dans une mesure plus ou moins considérable la propagation du mouvement vibratoire : tel est l'effet des lourdes tentures, des couches d'étoupes que l'on utilise précisément pour empêcher le passage du son d'une pièce à une autre, etc.

755. — C'est sur le fait de la facile transmission par les corps élastiques de section limitée qu'est basée la construction des divers stéthoscopes, appareils destinés à pratiquer l'auscultation médiate pour étudier les bruits normaux ou pathologiques de la poitrine et des autres régions du corps.

Les stéthoscopes peuvent se diviser en deux groupes, les stéthoscopes rigides et les stéthoscopes flexibles; cette division correspond à une différence dans le mode d'action, comme nous allons le dire.

Un stéthoscope solide est constitué par une tige ou colonne en bois de 12 à 15 centimètres de hauteur que l'on interpose entre l'oreille et la partie que l'on veut explorer. La forme de l'appareil est indifférente; celui-ci peut être plein ou creux sans que l'effet paraisse changé. Les vibrations de la paroi solide sur laquelle on applique une extrémité du stéthoscope sont transmises sans affaiblissement sensible jusqu'à l'oreille de l'observateur appuyée sur l'autre extrémité.

Les stéthoscopes flexibles sont constitués par un tube flexible dont une extrémité, terminée ou non par un embout, est introduite dans le canal auditif de l'observateur; les modèles divers diffèrent par la manière dont les vibrations de la paroi solide sur laquelle est appliquée l'autre extrémité sont transmises à la colonne d'air contenue dans le tube, colonne

qui les transmet à l'oreille sans perte sensible d'intensité. Dans le stéthoscope du Dr C. Paul, le tube se fixe sur un pavillon solide comprenant deux cavités distinctes : une cavité centrale, légèrement évasée qui est la continuation du canal compris dans le tube, et une cavité annulaire reliée à une poire de caoutchouc; on applique le pavillon solide en un point du corps après avoir pressé sur la poire. Celle-ci reprend son volume primitif en raréfiant l'air dans la cavité annulaire; par suite de l'action de la pression atmosphérique, le pavillon se maintient ainsi appliqué sur les téguments sans que l'observateur ait à s'en occuper.

Dans d'autres modèles le tube *se* (fig. 377) se termine à une pièce métallique en forme de calotte sphérique *o* dans laquelle on place une sorte de lentille en caoutchouc *ll* remplie d'air que l'on maintient en place à l'aide de la bague métallique *ii*. Lorsque l'appareil est monté on l'applique sur la partie à examiner; la face externe de la lentille s'applique exactement sur la paroi dont les vibrations sont ainsi transmises à l'air compris dans la lentille, puis, par l'intermédiaire de la membrane qui forme la face interne, à la colonne d'air comprise dans le tube *se*.

A la lentille est adapté un tube muni d'un robinet *c* qui permet de faire varier la pression de l'air dans la lentille, ce qui peut être avantageux dans quelques cas.

Les stéthoscopes flexibles présentent un avantage réel sur les appareils solides; on peut relier au pavillon deux ou plusieurs tubes dans lesquels se transmettent également les vibrations. Il est ainsi possible de faire entendre simultanément un même bruit à divers auditeurs. On peut également utiliser deux tubes seulement et rendre l'appareil binauriculaire : les sons perçus prennent alors une grande netteté : aussi ce mode d'exploration doit-il être recommandé.

756. — Dans les cas de transmission de mouvement vibratoire dont nous venons de parler, le corps qui reçoit le mouvement ne vibre que tant que celui-ci existe et revient au repos quand cesse le mouvement initial. Mais il n'en est pas toujours ainsi, et il peut arriver que le corps

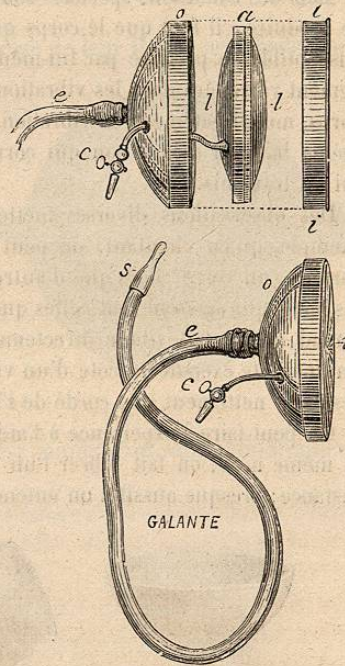


Fig. 377.



qui a été mis en vibration continue à vibrer après que le mouvement initial a cessé d'exister : ce corps est devenu un véritable corps sonore. On dit dans ce cas qu'il y a *résonance*.

Il est à remarquer que ce mot se trouve pris ici dans un sens différent de celui que nous avons indiqué plus haut (752).

Lorsqu'un corps vibrant ainsi par résonance devient un corps sonore, non seulement il continue à produire un effet après la cessation du mouvement initial, mais tant que celui-ci existe, il ajoute son effet, si bien que l'intensité du son perçu en est augmentée, il y a *renforcement* du son.

Mais des conditions spéciales sont nécessaires pour que cet effet puisse se produire : il faut que le corps qui reçoit le mouvement vibratoire soit susceptible de prendre par lui-même, sous d'autres influences, un mouvement vibratoire dont les vibrations aient la même durée ; il faut que ce corps, mis directement en vibration, puisse donner naissance à un son de même hauteur que le son qui correspond au mouvement vibratoire qui lui est transmis.

Des observations diverses mettent le fait en évidence : on sait, par exemple, qu'en chantant, on peut pour certaines notes faire vibrer un carreau, un verre, alors que d'autres notes ne produisent aucun effet ; et les notes qui agissent sont celles que le carreau ou le verre peut produire quand on les fait vibrer directement par un choc. On sait également qu'une note exécutée à côté d'un violon ou d'un piano ouvert peut faire résonner nettement une corde de l'instrument, etc.

On peut faire l'expérience à l'aide de diapasons accordés pour donner la même note ; on fait vibrer l'un d'eux et l'on place l'autre à quelque distance ; presque aussitôt on entend le son produit par celui-ci, et ce son

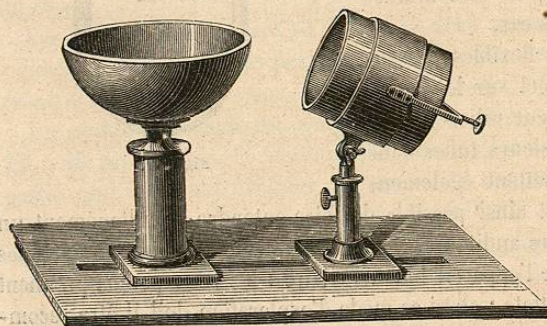


Fig. 378.

persiste, même si on arrête les vibrations du premier. Mais il suffit de surcharger l'un d'eux d'une boulette de cire, ce qui modifie le nombre de vibrations qu'il peut rendre, pour que la communication du mouvement vibratoire n'ait pas lieu, pour qu'il n'y ait pas résonance, renforcement.

Enfin, on peut également faire l'expérience à l'aide d'un timbre placé sur un pied (fig. 378) ; en face d'un cylindre ouvert à une extrémité et

dont le fond est mobile, de manière à ce que sa longueur puisse être modifiée à l'aide d'une vis. Si l'ouverture du cylindre est dirigée vers le timbre pendant que celui-ci résonne, on trouve une position du fond telle qu'il se produise un renforcement notable qui ne se manifeste pas pour les autres positions du fond. Une expérience directe montre que la position qui correspond au renforcement est telle que si l'on fait parler directement le tuyau, par un procédé quelconque, il rend seul précisément le son qu'il a renforcé.

757. — Comme nous l'avons indiqué dans quelques cas, un corps donné peut quelquefois être susceptible de vibrer de façons différentes ; dans ce cas, chacun des sons qu'il peut rendre est susceptible d'être renforcé lorsqu'il est émis à côté.

Mais il y a quelques corps qui, à cause de leur forme principalement, ne peuvent vibrer que d'une seule manière et qui ne sont capables de renforcer qu'un seul son.

C'est sur cette remarque que sont basés les appareils qu'Helmholtz a désignés sous le nom de *résonnateurs*.

Un résonnateur (fig. 379) est une sphère généralement en laiton présentant en des points diamétralement opposés des ouvertures dont l'une est munie d'un ajutage légèrement conique, et dont l'autre est munie d'un tube cylindrique de faible longueur.

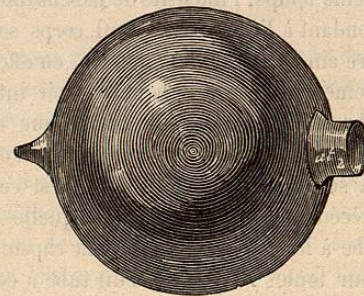


Fig. 379.

La masse d'air contenue dans un résonnateur est susceptible de vibrer, mais le calcul montre et l'expérience vérifie, comme nous allons le dire, qu'un seul mode de vibration est possible.

Pour se servir de l'appareil, on introduit l'ajutage conique dans une oreille, après avoir bouché l'autre aussi complètement que possible. Si alors dans le voisinage on produit successivement des sons différents, on reconnaît que, en général, ils sont à peine entendus, mais qu'il en existe un pour lequel la sensation sonore est très intense, le son éclate, pour ainsi dire, violemment. Pour ce son, et pour ce son seul, il y a donc renforcement.

L'action se produit de la même façon, et nous verrons que ce fait présente une grande importance, si l'on produit simultanément plusieurs sons. Il n'y a renforcement que si le son caractéristique existe parmi les sons produits.

L'expérience réussit également bien par la méthode objective, pour l'étude mécanique du mouvement vibratoire : au lieu de placer le réson-



nateur à l'oreille on adapte l'ajutage conique à un tube aboutissant d'autre part à une capsule manométrique placée dans le voisinage d'un miroir tournant ou d'un phénakistoscope. La bande lumineuse que l'on voit reste à bord lisse pour tous les sons en général et n'est dentelée que pour un seul son, le son caractéristique qui produisait le renforcement pour l'oreille.

Le son caractéristique dépend des dimensions des résonateurs pour chaque note.

Les résonateurs sont quelquefois cylindriques : les bases présentent alors des ouvertures petites relativement au diamètre du cylindre. Ils jouissent des mêmes propriétés que les résonateurs sphériques.

758. **Interférences.** — Nous avons dit que, en général, lorsque deux corps sonores produisant des sons de même hauteur étaient mis en action en même temps, l'intensité de la sensation était plus grande que celle correspondant à l'action d'un seul corps sonore. Mais il n'en doit pas toujours être ainsi; nous avons montré, en effet, que dans des conditions convenablement choisies, il peut y avoir interférence entre deux mouvements vibratoires, destruction réciproque de ces mouvements; dans ce cas, aucun son ne doit être perçu par un observateur qui a l'oreille à l'endroit où se produit l'interférence. C'est ce que montre l'expérience indiquée précédemment (707) dans laquelle on place l'oreille à l'extrémité du tube à laquelle on adaptait la capsule manométrique. Le son est perçu pour toutes les positions du tube à coulisse pour lesquelles l'examen de l'image de la flamme montre l'existence de dentelures; on ne perçoit aucun son pour la position du tube pour laquelle les dentelures ont disparu.

Dans ce cas, il suffit d'arrêter le passage des ondes d'un côté, par l'action d'un robinet, pour que l'observateur entende le son correspondant aux ondes parvenant par l'autre tube. Aussi énonce-t-on quelquefois d'une manière abrégée le résultat de cette expérience en disant que, dans des conditions convenables, un son ajouté à un son peut produire du silence<sup>1</sup>.

Le phénomène des interférences peut être mis encore en évidence à l'aide de l'expérience suivante indiquée par Lissajous.

Une plaque circulaire (fig. 380) est mise en vibrations de manière à ne présenter que des lignes nodales diamétrales : on taille un disque de carton de même diamètre (fig. 381) et on y dessine des secteurs en nombre égal à celui des concamérations de la plaque; puis on découpe ce disque de manière à enlever les secteurs de deux en deux. On suspend cet écran par un fil placé en son centre et on le place au-dessus

1. L'expression est fautive, car il n'y a pas un son, c'est-à-dire une sensation auditive, ajouté à un son; il y a un mouvement vibratoire, cause de la sensation, ajouté à un autre mouvement vibratoire.

de la plaque de manière que les secteurs correspondent aux concamérations de celles-ci; puis on fait tourner l'écran de telle sorte que les lignes nodales soient au milieu des secteurs; on observe que le son

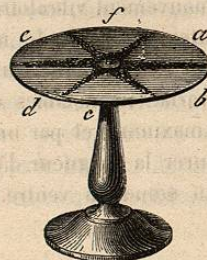


Fig. 380.

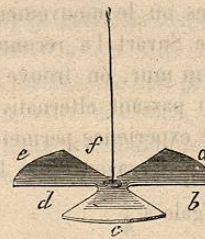


Fig. 381.

s'affaiblit lorsqu'on fait passer l'écran de la première position à la seconde.

Ce résultat s'explique aisément : nous savons en effet (715) que deux concamérations voisines vibrent toujours en sens contraire; la présence de l'écran, dans la première position, arrêtant la transmission des vibrations des concamérations de deux en deux, ne laissait parvenir à l'oreille de l'observateur que des vibrations concordantes qui devaient s'ajouter. Dans la deuxième position, par chaque découpe du disque, il arrive à l'oreille des vibrations provenant de deux demi-concamérations contiguës, c'est-à-dire des vibrations en discordance absolue; aussi l'effet sonore doit-il être diminué.

Dans certains cas, sans qu'il y ait absolument interférence, on observe des variations notables d'intensité du son, comme, par exemple, dans l'expérience suivante :

On a deux vases cylindriques A et B (fig. 382) de mêmes dimensions et un diapason D choisi de manière à ce que son mouvement vibratoire soit précisément celui que peut prendre la masse d'air contenue dans chacun des cylindres. Aussi, si on place le diapason vibrant au-dessus de l'un des cylindres, il y aura renforcement; le son perçu sera plus intense que lorsque le diapason vibre isolément. Mais si on répète l'expérience en plaçant le second cylindre perpendiculairement au premier, on entend à peine le diapason, au moins pour certaines positions de l'oreille : il y a interférence partielle entre les mouvements vibratoires des masses d'air des deux cylindres.

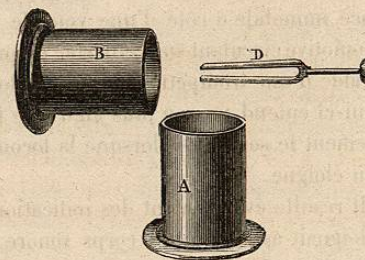


Fig. 382.



Les phénomènes d'interférence qui se produisent entre les ondes directes et les ondes réfléchies sur une surface plane peuvent également être observés à l'aide de l'oreille; nous avons dit qu'il se produit alors des nœuds fixes où il n'existe aucun mouvement vibratoire et des ventres fixes où le mouvement vibratoire atteint l'amplitude maxima. Or, comme Savart l'a reconnu, en déplaçant l'oreille entre un corps sonore et un mur, on trouve en effet des variations notables d'intensité, le son passant alternativement par un maximum et par un minimum; cette expérience permet même de mesurer la longueur d'ondulation  $\lambda$ , car nous savons que la distance d'un nœud au ventre le plus voisin est égale à  $\frac{\lambda}{4}$ .

759. **Hauteur.** — La distance à laquelle un corps sonore se trouve de l'observateur est sans influence sur la hauteur du son, au moins tant que cette distance est invariable. Il résulte en effet, de ce que nous avons expliqué sur la propagation du mouvement vibratoire, qu'il arrive dans un temps donné, en un point situé à une distance déterminée, autant de vibrations que le corps sonore en a émis.

Mais il n'en est plus ainsi si la distance du corps sonore à l'oreille varie. Supposons, par exemple, que le corps sonore étant fixe, l'observateur s'en rapproche. Il est clair qu'il recevra les diverses ondes plus tôt qu'il ne les aurait reçues s'il avait été immobile; il recevra donc dans un temps donné plus de vibrations, et le son paraîtra plus aigu. L'inverse se produira nécessairement si l'observateur s'éloigne du corps sonore et, par suite, le son paraîtra plus grave. Le résultat serait évidemment le même si l'observateur étant immobile, c'était le corps sonore qui se rapprochât ou qui s'éloignât.

C'est ce que des expériences diverses ont mis en évidence. Parmi celles-ci, nous signalerons seulement la suivante : un observateur est placé immobile à côté d'une voie de chemin de fer, tandis que sur une locomotive circulant sur cette voie on produit un son de hauteur invariable à l'aide d'une trompette. Lorsque la locomotive arrive vers l'observateur, celui-ci entend un son plus aigu que le son produit réellement, et brusquement le son baisse lorsque la locomotive, ayant dépassé l'observateur, s'en éloigne.

Il résulte évidemment des indications précédentes que si l'observateur s'éloignait assez vite du corps sonore, il n'entendrait plus aucun son. Il suffirait pour qu'il en fût ainsi que la vitesse fût supérieure ou seulement égale à la vitesse même de propagation du son.

760. **Timbre.** — D'une manière générale, on n'observe pas que le timbre d'un son soit changé par une variation de la distance à laquelle on se trouve du corps sonore.

Il semble en effet naturel que, si le mouvement vibratoire s'affaiblit

par suite de l'éloignement, la forme, la loi qui caractérise ce mouvement subsiste, puisque, à chaque instant, l'affaiblissement doit se produire dans les mêmes proportions.

Nous dirons plus loin que le timbre peut être rapporté à l'existence de sons accessoires joints au son fondamental, ce caractère dépendant du nombre, de la hauteur et de l'intensité relative de ces sons accessoires. A ce point de vue également, on voit que la distance ne doit pas modifier le timbre, puisqu'elle ne change pas le nombre des sons, qu'elle ne modifie pas la hauteur de chacun d'eux et qu'elle les affaiblit tous suivant la même loi, ce qui ne change pas les valeurs relatives de leurs intensités.

## CHAPITRE V

### ÉTUDE DES CORPS SONORES

761. **Tuyaux sonores.** — Ainsi que nous l'avons dit, on appelle *corps sonore* un corps susceptible de vibrer dans des conditions telles que ses vibrations transmises à l'oreille puissent donner naissance à la sensation auditive.

Quels sont les corps sonores? comment peut-on les mettre en action? de quels éléments dépend le mouvement vibratoire qu'ils prennent? Telles sont les principales questions que nous aurons à passer en revue dans ce chapitre.

Tous les corps élastiques peuvent être utilisés comme corps sonores; mais en réalité, dans la pratique, on se sert seulement des solides et des gaz; nous nous en occuperons exclusivement.

Bien que, dans quelques cas, on utilise des masses d'air ayant leurs trois dimensions égales ou à peu près, comme dans les résonateurs, c'est généralement sous la forme de colonnes dans lesquelles deux dimensions sont petites par rapport à la troisième, que l'air est employé comme corps sonore. Nous nous occuperons seulement de ce cas.

Les colonnes d'air qui vibrent sont contenues dans des tubes qui sont quelquefois rectilignes, mais qui peuvent être curvilignes : l'ensemble du tube et de la masse d'air qu'il renferme constitue un *tuyau sonore*.

762. — Il existe diverses manières de *faire parler* un tuyau sonore, c'est-à-dire de mettre en vibration l'air qu'il contient; nous allons indiquer les deux principales.

Les tuyaux à embouchure de flûte présentent à leur partie inférieure B (fig. 383) une ouverture que l'on adapte au tuyau porte-vent d'une soufflerie. Le courant d'air est dirigé par une surface inclinée vers une