

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 λ , 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

ouverture D percée dans la paroi latérale et dont le bord supérieur, sur lequel le courant d'air vient se briser, est taillé en biseau. Le frottement du courant d'air produit un sifflement particulier qui met en vibration, par influence, l'air du tuyau qui agissant comme une sorte de résonateur renforce considérablement le son qui correspond à ses dimensions.



Fig. 383.



Fig. 384.

Il importe de remarquer que l'air envoyé par la soufflerie ne traverse pas le tuyau, mais s'échappe en vibrant par la lumière et entretient ainsi par influence la vibration de l'air du tuyau. Le sifflet est un tuyau court à embouchure de flûte : on retrouve la même disposition avec des conditions un peu différentes dans la flûte, lorsqu'on siffle dans une clef forée, etc. Il y a dans ces divers cas un courant d'air qui vient se briser contre un bord solide. On fait aussi parler un tuyau à l'aide d'une *anche*, sorte de languette élastique qui vibre sous l'influence du courant d'air qui, dans ce cas, traverse le tuyau. Voici l'une des dispositions adoptées : soit BC (fig. 384) une ouverture pratiquée dans une paroi solide; une lame métallique FD faisant ressort et qui est fixée à une de ses extrémités, ferme presque exactement cette ouverture; en vibrant, cette languette ferme et démasque alternativement l'ouverture, soit qu'elle passe de part et d'autre en *d* et *d'* dans le cas de l'*anche libre*, comme l'indique la figure, soit qu'elle vienne s'appliquer contre les bords de l'ouverture qu'elle ne peut traverser, dans le cas de l'*anche battante*. La longueur de la partie vibrante peut être réglée entre certaines limites par le mouvement de la *rasette* EF, pièce métallique qu'on peut faire monter ou descendre.

L'*anche* est placée, à l'une ou l'autre des extrémités du tuyau, dans une position telle que l'air ne puisse s'échapper qu'en passant par l'ouverture BC. Sous l'influence du courant d'air, l'*anche* est écartée de sa position d'équilibre autour de laquelle elle oscille ensuite en produisant dans ce courant des vibrations qui se communiquent à la masse d'air contenue dans le tuyau qui, vibrant à son tour, renforce le son produit. Il faut évidemment qu'il y ait certaines relations entre le mouvement que prendrait l'*anche* si elle était seule et le mouvement que peut prendre la masse d'air : le cas le plus simple se présente lorsque les mouvements vibratoires sont de même durée; mais cette condition n'est pas indispensable et l'*anche* est contrainte, entre certaines limites, de vibrer synchroniquement avec l'air.

On trouve des dispositions qui se rattachent au système précédent dans quelques instruments de musique, le hautbois, la clarinette, le basson, etc.; il n'y a pas lieu d'insister sur les différences de forme, le procédé est le même au fond.

C'est également par l'action d'*anches* que l'on fait parler les instruments dits à *bocal*, comme la trompette, le cor : ce sont les lèvres de l'exécutant qui font fonction d'*anches*; on dit alors que ce sont des *anches membraneuses*. Cette forme est intéressante et nous aurons à signaler plus loin d'autres *anches membraneuses*.

763. — Nous avons déjà indiqué comment on peut reconnaître que l'air vibre dans un tuyau sonore; il est utile de vérifier que les parois ne jouent aucun rôle dans la production du son, au moins tant qu'elles sont rigides. On le reconnaît en prenant des tuyaux dont les dimensions intérieures sont les mêmes, mais dont les parois sont de nature différente, en bois, en métal, ou, tout en étant de même nature, ont des épaisseurs différentes. En faisant parler ces tuyaux, on entend des sons à l'unisson, par conséquent des sons correspondant à un même nombre de vibrations.

764. — Nous avons indiqué (710 et 711) quelles sont les conditions qui correspondent à un état vibratoire stable des tuyaux sonores; nous pouvons maintenant étudier la même question au point de vue acoustique, c'est-à-dire au point de vue des sensations auditives. Pour cela, il suffit de déterminer les nombres de vibrations qui peuvent prendre naissance dans un tuyau donné, ce qui fera connaître les sons correspondants.

Pour obtenir ces indications, nous avons à utiliser la relation $n\lambda = u$ (703), d'où l'on déduit :

$$n = \frac{u}{\lambda}.$$

En introduisant dans cette relation les valeurs de λ qui permettent un mouvement vibratoire stable, on arrive immédiatement aux énoncés suivants :

Un tuyau ouvert peut, dans des conditions convenables, rendre successivement des sons différents; les sons qu'il peut rendre correspondent à des nombres de vibrations qui sont respectivement :

$$\frac{2u}{4l}, \frac{4u}{4l}, \frac{6u}{4l}, \dots \text{ ou } \frac{2u}{4l}, \frac{2^2u}{4l}, \frac{3^2u}{4l}, \dots$$

Un tuyau fermé peut, dans des conditions convenables, rendre successivement des sons différents; les sons qu'il peut rendre correspondent à des nombres de vibrations qui sont respectivement :

$$\frac{u}{4l}, \frac{3u}{4l}, \frac{5u}{4l}, \dots$$

De ces énoncés, nous déduisons les lois suivantes :

Un tuyau ouvert peut rendre successivement des sons dont les nombres de vibrations sont dans les rapports 1, 2, 3..., c'est-à-dire que le son le plus grave étant considéré comme un son fondamental, les autres sons forment la série complète des harmoniques de celui-ci.

Un tuyau fermé peut rendre successivement des sons dont les nombres de vibrations sont dans les rapports 1, 3, 5..., c'est-à-dire que le son le plus grave étant considéré comme un son fondamental, les autres sons forment la série des harmoniques impairs de celui-ci.

Pour un même tuyau, on peut, d'ailleurs, passer du son fondamental à un harmonique, soit en augmentant la pression de l'air, soit en modifiant la forme ou les dimensions de l'embouchure ou de l'anche.

765. — On vérifie ces lois directement par la sensation en produisant successivement les divers sons et reconnaissant qu'ils correspondent bien aux intervalles que présentent les harmoniques entre eux (740). On peut également faire une vérification plus exacte, en accordant successivement la sirène pour chacun des sons, et déterminant, comme nous l'avons indiqué, les nombres de vibrations correspondants.

On peut aussi reconnaître que lorsqu'un tuyau rend un des harmoniques du son fondamental, il se subdivise en concamérations égales qui se comportent comme si elles vibraient isolément. On prend, par exemple, un tuyau ouvert formé de segments égaux qui se vissent à la suite et dont la longueur a été prise égale à celle qui sépare deux ventres; on fait parler le tuyau de manière à produire l'harmonique correspondant à cette distance, puis on enlève successivement un ou plusieurs segments, et l'on reconnaît que la hauteur ne change pas.

Pour le cas des tuyaux fermés, on prend un tube dans lequel se déplace un piston et on lui fait rendre un son qui correspond à un des harmoniques lorsque le piston est à la partie supérieure. En enfonceant brusquement le piston d'une quantité égale à une ou plusieurs fois la longueur d'une concamération, c'est-à-dire de la distance qui sépare deux nœuds voisins, on reconnaît que la hauteur du son ne change pas.

766. — En comparant les nombres de vibrations du son fondamental correspondant à un tuyau ouvert $2 \frac{u}{4l}$ et à un tuyau fermé $\frac{u}{4l}$, on voit que le premier son doit être à l'octave aiguë du second; c'est ce que l'on reconnaît en faisant parler deux tuyaux de même longueur, l'un ouvert et l'autre fermé. On voit également que pour qu'un tuyau ouvert de longueur l produise le même son qu'un tuyau fermé de longueur l' , il faut que l'on ait :

$$\frac{2u}{4l} = \frac{u}{4l'} \text{ ou } l = 2l',$$

c'est-à-dire qu'un tuyau fermé et un tuyau ouvert de longueur double produisent le même son.

On vérifie directement qu'il en est ainsi en se servant d'un tuyau ouvert présentant en son milieu une planchette pouvant glisser et dont une moitié est pleine, tandis que l'autre présente une ouverture; suivant que ce diaphragme est poussé d'un côté ou de l'autre, on a un tuyau ouvert ayant la longueur même du tube considéré ou un tuyau fermé de longueur moitié. On reconnaît directement que les sons produits dans les deux cas ont la même hauteur.

Enfin, on voit encore que, pour une même espèce de tuyaux, les nombres de vibrations correspondant au son fondamental sont en raison inverse des longueurs des tuyaux; le son est d'autant plus aigu que le tuyau est plus court. On vérifie également ce résultat en prenant des tuyaux de longueurs différentes et appréciant les intervalles directement, ou en évaluant les nombres de vibrations à l'aide de la sirène.

Ajoutons encore que la relation $n = 2 \frac{u}{4l}$ pour les tuyaux ouverts est applicable si l'on fait parler le tuyau avec un gaz quelconque; u représente alors la vitesse de propagation dans ce gaz. Si donc on mesure n à l'aide de la sirène et si on connaît l longueur du tuyau, on pourra déterminer u : c'est ainsi qu'on a pu trouver la vitesse de propagation dans les divers gaz.

On peut même appliquer cette méthode aux liquides, en faisant parler un tuyau plongé dans un liquide à l'aide d'un courant du même liquide.

767. **Vibrations longitudinales des solides.** — Comme les gaz, les solides élastiques peuvent vibrer quelle que soit leur forme; mais on n'utilise guère que des solides ayant une dimension petite par rapport aux deux autres, ou deux dimensions petites par rapport à la troisième: ces solides peuvent vibrer longitudinalement ou transversalement; occupons-nous d'abord du premier cas.

Pour qu'un solide puisse vibrer longitudinalement, il faut qu'il soit rigide, soit qu'il s'agisse d'une *plaque* si une dimension est petite, ou d'une *verge* si deux dimensions sont petites. On provoque ces vibrations en produisant un frottement longitudinal, par exemple, s'il s'agit d'une verge en la frottant dans un sens déterminé à l'aide d'un morceau de drap saupoudré de colophane. L'expérience réussit également avec un verre de cristal, en appuyant sur le bord avec le doigt mouillé que l'on fait tourner d'une manière continue dans le même sens.

Les vibrations longitudinales n'ont pas d'applications, nous ne nous y arrêterons donc pas. Nous dirons seulement, en ce qui concerne les verges, que les vibrations suivent des lois analogues à celles des tuyaux sonores, et que comme pour ceux-ci on a pu déterminer la vitesse de

propagation dans les solides par une méthode entièrement analogue à celle que nous avons signalée pour les gaz et les liquides.

768. **Vibrations transversales des solides.** — Au point de vue des applications, les vibrations transversales présentent un plus grand intérêt que les vibrations longitudinales; aussi donnerons-nous quelques détails. Les vibrations transversales peuvent se manifester même si le corps considéré n'est pas rigide; on considère alors les *membranes* si une seule dimension est petite, et les *cordes* si deux dimensions sont petites. Mais, alors, pour pouvoir vibrer, le corps doit être tendu.

Les vibrations transversales peuvent être obtenues par la transmission directe du mouvement vibratoire de l'air, au moins pour les membranes et les plaques. Plus souvent on les produit par un choc bref, s'il s'agit de cordes ou de verges en les écartant de leur position d'équilibre, en les pinçant et les abandonnant à elles-mêmes. Enfin, dans tous les cas, sauf pour les membranes, on peut utiliser l'action d'un archet saupoudré de colophane que l'on fait glisser transversalement en appuyant plus ou moins fortement.

Nous n'avons guère de résultats précis à signaler relativement aux membranes et aux plaques qui peuvent présenter des modes divers de vibrations en se subdivisant de façons différentes en concamérations. Dans le cas de plaques de forme régulière, les concamérations sont limitées par des lignes présentant des dispositions simples, par exemple des diamètres ou des circonférences concentriques pour les plaques circulaires, des parallèles aux côtés ou aux diagonales pour le cas de plaques carrées, etc.

D'une manière générale, on peut dire que le son est d'autant plus aigu pour une même plaque que le nombre des concamérations est plus grand.

769. — Pour les verges, les lois qui lient les dimensions aux nombres de vibrations ne sont pas assez simples pour que nous les indiquions.

Les verges sont employées fréquemment sous la forme de diapasons comme nous l'avons déjà indiqué (fig. 385). Mais les sons auxquels ces diapasons donnent naissance sont peu intenses et ne

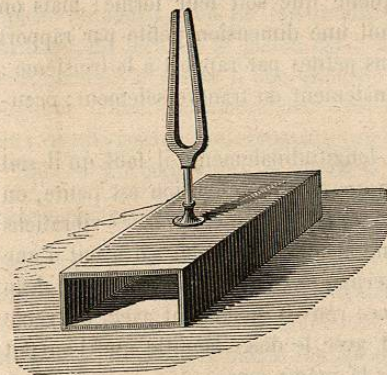


Fig. 385.

peuvent être perçus qu'à petite distance, ce qui tient à ce que la verge en vibrant met en mouvement une petite masse d'air seulement. Le son prend une intensité plus considérable si, pendant que le diapason vibre, on place

la tige qui lui sert de pied sur une lame élastique, une planche, une table. Le mouvement vibratoire du diapason est communiqué à cette lame qui entre en vibration et, à cause de sa grande surface, met en mouvement une grande masse d'air dont tous les points agissent comme des centres vibratoires pour envoyer à l'oreille une quantité d'énergie bien supérieure à celle que communiquait directement le diapason. Il est vrai que, par là même, le mouvement vibratoire du diapason s'épuise plus rapidement, le son dure moins longtemps.

On obtient un effet plus satisfaisant encore en montant le diapason sur une caisse en bois élastique renfermant une quantité d'air dont les dimensions ont été choisies de manière que le son que peut produire cette masse gazeuse en vibrant soit le même que celui du diapason. Il y a un renforcement notable dans ce cas, et, en réalité, ce n'est plus le son du diapason que l'on entend, mais celui produit par les vibrations de la masse d'air.

770. **Des cordes vibrantes.** — Les cordes vibrantes présentent un certain nombre d'applications et obéissent à des lois simples; aussi devons-nous insister quelque peu.

Disons d'abord que, comme pour les verges, les sons perçus sont peu intenses; aussi pour pouvoir faire les expériences plus commodément, on fixe les extrémités de la corde en deux points reliés invariablement à une *table d'harmonie*, lame en bois mince, élastique, qui agit comme nous l'avons expliqué précédemment. Souvent même cette lame est une des parois d'une caisse d'harmonie soutenant de l'air qui peut vibrer également et ajouter son effet à ceux de la corde et de la table.

Les expériences comparatives sur les cordes se font également à l'aide du *sonomètre* (fig. 386); c'est une caisse d'harmonie rectangulaire montée sur des pieds et sur laquelle on peut tendre, entre des chevilles placées aux extrémités, une ou deux cor-

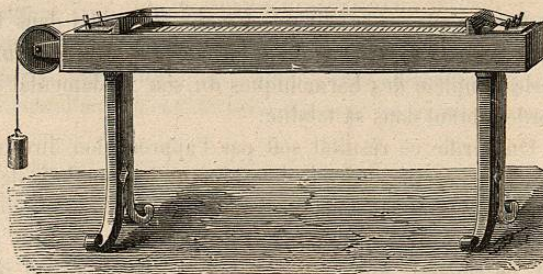


Fig. 386.

des; en faisant tourner ces chevilles, on modifie la tension de la corde. Généralement une troisième corde fixée à une de ses extrémités passe sur une poulie et supporte à l'autre extrémité un poids qui la tend; on peut produire ainsi une tension variable, mais de plus, on connaît la valeur de la tension. Des chevalets mobiles sous les cordes permettent de limiter la partie qui vibrera; une échelle graduée en donne immédiatement la longueur.

771. — Comme nous l'avons déjà indiqué, une corde peut vibrer de diverses manières; occupons-nous d'abord du cas où elle vibre dans sa totalité sans se subdiviser.

En faisant varier les éléments qui caractérisent une corde, savoir : la longueur, le diamètre, le poids spécifique, la tension, et évaluant les sons produits dans les divers cas, soit directement en appréciant les intervalles à l'aide de l'oreille, soit en déterminant les nombres de vibrations par la sirène, on parvient aux lois suivantes :

1^{re} LOI. *Les nombres de vibrations sont en raison inverse de la longueur.*

2^e LOI. *Les nombres de vibrations sont en raison inverse du diamètre.*

3^e LOI. *Les nombres de vibrations sont en raison inverse de la racine carrée du poids spécifique.*

4^e LOI. *Les nombres de vibrations sont proportionnels à la racine carrée des poids tenseurs¹.*

Ces diverses lois sont appliquées dans la construction et le mode de fonctionnement de divers instruments de musique.

Lorsqu'une corde se divise en concamérations, chacune de celles-ci vibre comme si elle était seule; on doit donc prévoir, et l'expérience vérifie, que la 1^{re} des lois précédentes est applicable. Si l est la longueur d'une corde, les concamérations qui prennent naissance quand il se forme 1, 2, 3... nœuds intermédiaires ont pour longueurs respectivement $\frac{l}{2}$, $\frac{l}{3}$,

$\frac{l}{4}$... Les nombres qui correspondent à la vibration de la corde en totalité ou lorsqu'elle se subdivise, doivent être alors dans les rapports, 1, 2, 3, 4... C'est-à-dire que les sons obtenus successivement constituent la série complète des harmoniques du son fondamental correspondant à la corde vibrant dans sa totalité.

On vérifie ce résultat soit par l'appréciation directe des intervalles à l'aide de l'oreille, soit en déterminant les nombres de vibrations correspondant aux divers sons par l'emploi de la sirène.

772. **Production de sons simultanés.** — D'après ce que nous avons dit, en général, une corde, un tuyau, ne prennent pas un mouvement vibratoire simple (713); mais il y a superposition des divers modes de vibrations que le corps vibrant peut prendre séparément. L'existence

1. Ces diverses lois sont comprises dans la formule :

$$n = \frac{1}{l} \sqrt{\frac{Pg}{\pi \delta}}$$

où n est le nombre de vibrations, l la longueur, r le rayon, δ le poids spécifique, P le poids tenseur, g l'accélération de la pesanteur et π le rapport de la circonférence au diamètre.

simultanée de ces divers modes de vibrations a une influence sur l'audition; elle explique le fait que nous avons signalé (725) que, en écoutant attentivement le son produit par une corde ou un tuyau, on peut entendre, si l'oreille est musicalement sensible, divers sons qui accompagnent le son fondamental. Ces sons correspondent aux modes divers de vibrations ajoutés à la vibration de totalité.

Pour les cordes, par exemple, ces sons directement entendus sont pour une corde donnant le son fondamental *ut*, par exemple, en nous arrêtant au 6^e :

$$ut_1, ut_2, sol_2, ut_3, mi_3, sol_3,$$

qui, comme nous l'avons dit, ont été appelées harmoniques parce que ce sont les notes de l'accord parfait.

Mais si n est le nombre de vibrations du son fondamental, en se reportant aux valeurs indiquées dans la gamme (733), on voit que ces sons correspondent respectivement aux nombres

$$n, 2n, 3n, 4n, 5n, 6n,$$

c'est-à-dire qu'ils ne diffèrent pas des sons que nous avons indiqué comme ayant aussi reçu le nom d'*harmoniques* (725).

On voit d'autre part que ces sons sont ceux qui correspondent à la corde vibrant dans sa totalité ou par moitié, ou par tiers, ou par quart.... c'est-à-dire que ce sont les sons que la corde pourrait rendre isolément, que ce sont ceux qui correspondent aux modes vibratoires qui peuvent exister superposés.

773. — En écoutant avec soin des sons produits par des instruments différents, par exemple, on ne retrouve pas toujours les mêmes conditions. Pour le diapason, par la flûte, on n'entend rien autre chose que le son fondamental; dans d'autres cas, la série des sons ne paraît pas complète, etc.

L'observation directe est délicate et ne peut être appliquée par tout le monde. Mais on peut mettre en évidence d'une manière incontestable l'existence de ces sons, on peut les déterminer, les comparer. Il suffit pour cela d'employer des résonnateurs; en produisant un son à l'aide d'un instrument quelconque et plaçant successivement à l'oreille une série aussi complète que possible de résonnateurs, on reconnaît que le renforcement se produit toujours pour l'un d'eux qui correspond au son fondamental que l'on entendait directement, et que de plus, en général, le renforcement se produit pour un ou plusieurs autres résonnateurs, ce qui prouve la coexistence avec le son fondamental d'un ou de plusieurs autres sons. Si le corps sonore est une corde ou un tuyau, les sons accessoires ainsi mis en évidence sont des harmoniques du son fondamental.

Sous la forme que nous venons d'indiquer, la démonstration du fait que nous étudions est personnelle, propre à l'observateur. Mais il est facile de l'objectiver, de la rendre appréciable à un auditoire : il suffit pour cela d'adapter le résonnateur à une capsule manométrique et d'examiner la flamme dans un miroir tournant ; lorsque la bande lumineuse sera dentelée pour un résonnateur, c'est que le son correspondant existera.

Au lieu d'examiner successivement l'effet de divers résonnateurs, on

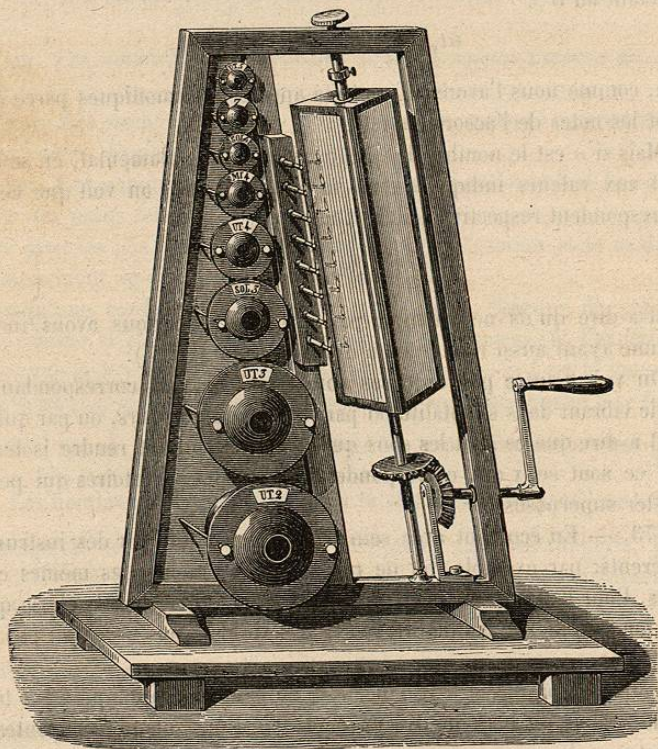


Fig. 387.

peut disposer l'expérience de manière que l'on voie immédiatement tous les sons qui coexistent.

Pour cela on prend une série de résonnateurs montés sur un même bâti, chacun d'eux communiquant par un tube de caoutchouc avec une capsule manométrique ; toutes les flammes placées sur une même ligne sont dans le voisinage d'un miroir tournant dans lequel on voit autant de bandes lumineuses (fig. 387).

Pour pouvoir étudier ainsi tous les sons il est bon que l'appareil comprenne le plus grand nombre de résonnateurs possible. Souvent, au moins

pour les expériences de démonstration, la série des résonnateurs correspond à un son déterminé, qui sera celui qu'on produira toujours, et à ses harmoniques successifs.

Il est facile de comprendre alors comment on se sert de l'appareil ; on met en action un corps sonore quelconque dans le voisinage des résonnateurs de manière à produire un son de même hauteur que celui de l'un des résonnateurs. On voit alors nécessairement la bande lumineuse correspondante présenter des dentelures profondes ; mais de plus, en général, d'autres bandes lumineuses présentent également des dentelures, quoique moins profondes ; il faut en conclure que les sons correspondants existent en même temps que le son fondamental, quoique avec une intensité moindre.

En général, les sons accessoires qui sont ainsi mis en évidence sont des harmoniques du son fondamental, mais il n'en est pas toujours ainsi.

La méthode que nous venons d'indiquer et qui est due à Helmholtz, montre que les sons que nous percevons, en général au moins, ne correspondent pas à un phénomène simple ; la sensation que nous éprouvons est complexe, quoique le plus souvent nous ne nous en apercevions pas.

Cet appareil, qui permet ainsi de reconnaître les sons simples qui existent dans un son, ou dans un bruit quelconque, fait en réalité l'analyse des sons, en dissociant la sensation complexe en sensations simples, élémentaires.

774. Origine du timbre. — L'étude de sons divers, produits par des corps sonores différents, montre que la série des sons accessoires n'est pas la même dans tous les cas. Comme d'autre part, les *timbres* des sons produits par des corps sonores différents ne sont pas les mêmes en général, il est naturel de rechercher s'il n'y a pas une relation entre ces deux indications : il suffit d'analyser, comme nous venons de le dire, des sons de même timbre ou de timbres différents et de noter dans ce cas, le nombre, la nature et l'intensité relative des sons accessoires existants.

Si on opère sur des sons de même timbre, on trouve toujours les mêmes harmoniques avec la même intensité relative ; si on opère sur des sons de timbre différent, on observe qu'il y a des différences dans les sons accessoires qui accompagnent le son principal, soit que le nombre des sons accessoires ne soit pas le même, soit que les sons accessoires existants ne présentent pas les mêmes intervalles avec le son fondamental, soit enfin que les sons accessoires n'aient pas la même intensité relative.

Il résulte de là que le timbre est lié à l'existence de sons accessoires joints au son fondamental, sons accessoires que nous n'entendons pas en général et dont nous n'avons conscience que lorsque nous écoutons attentivement. Nous pouvons donc dire :

Le timbre d'un son résulte de la fusion inconsciente des sensations dues à la coexistence de sons accessoires joints au son fondamental.

Nous avons dit précédemment que le timbre est lié à la forme de la vibration : il importe d'indiquer qu'il n'y a pas contradiction entre cette idée et celle que nous venons d'exprimer.

En effet, la forme, la loi d'une vibration simple étant connue, on peut trouver la loi du mouvement vibratoire résultant de l'addition à cette vibration d'un ou de plusieurs mouvements vibratoires, et la loi est changée par cette addition, la forme de la vibration est modifiée. Il se passe quelque chose d'analogue à ce que nous avons dit pour les vibrations des cordes, où l'on voit, matérialisé, le changement de forme de la vibration.

Donc, en disant que des sons accessoires sont joints au son fondamental, nous disons par là même que la forme de la vibration change; les deux énoncés relatifs aux causes desquelles dépend le timbre ne sont pas contradictoires : le second énoncé entraîne nécessairement le premier.

Une question doit se poser cependant, car si les deux énoncés ne sont pas contradictoires, ils ne sont pas identiques. En effet, considérant un son fondamental et un seul son accessoire, pour simplifier; la coexistence de ces deux sons donnera des mouvements vibratoires dont la loi, la forme dépendront de la concordance ou de la non-concordance entre les instants du début des vibrations correspondant à ces deux sons. A plus forte raison en sera-t-il ainsi s'il y a plus d'un son accessoire.

Ainsi un son fondamental et des sons accessoires déterminés étant donnés, il peut y avoir des formes différentes de vibration. On doit se demander si à chaque forme absolument correspond un timbre différent; ou si, malgré la différence de forme, le son conserve le même timbre tant qu'il n'y a pas de variation dans les sons accessoires.

Sur cette question les expérimentateurs ne sont pas d'accord : nous ne pourrions, sans être entraîné trop loin, indiquer les expériences qui ont été faites en vue d'arriver à une solution. Il y a donc là un point douteux, mais il porte sur un détail, et le doute qui existe ne peut infirmer les résultats principaux auxquels nous sommes arrivés :

Des sons de timbre différent ont nécessairement des vibrations de forme différente.

Le timbre est lié aux sons accessoires qui accompagnent le son fondamental.

On peut se demander, à un autre point de vue, quelle est l'origine de ces sons accessoires. La réponse est contenue implicitement dans le fait que nous avons signalé, pour les cordes notamment, qu'un corps sonore qui peut vibrer successivement de diverses manières, peut aussi avoir un mouvement qui résulte de la superposition, de l'addition de ces divers modes simples de vibrer. Les sons accessoires sont dus aux modes de

vibration qui se sont ajoutés au mode simple qui donne le son fondamental.

775. — En reproduisant les conditions qui correspondent à un timbre donné, c'est-à-dire en faisant entendre simultanément un son fondamental et les sons accessoires dont on a reconnu l'existence et en donnant à chacun d'eux une intensité convenable, on devrait arriver à reproduire le son avec son timbre propre. En un mot on devrait pouvoir faire la synthèse des timbres après en avoir fait l'analyse.

On y est arrivé dans quelques cas : c'est ainsi que dans l'orgue, afin d'avoir des sons d'un timbre éclatant, on a établi des *jeux de fourniture*, c'est-à-dire des jeux dans lesquels on fait parler pour une note, en même temps que le tuyau qui donne cette note, d'autres tuyaux donnant ainsi des sons accessoires que l'auditeur ne distingue pas aisément, mais par lesquels il est impressionné d'une manière particulière, il perçoit un timbre spécial.

Helmholtz a construit un appareil permettant de combiner à volonté dans des conditions variées un son donné et ses harmoniques. Cet appareil est formé d'une série de résonateurs correspondant à un son et à ses premiers harmoniques : l'ouverture de chacun d'eux est fermée par une lamelle métallique qu'on peut déplacer en agissant sur les touches d'un clavier de manière à démasquer plus ou moins complètement cette ouverture. Enfin, devant chacune de celles-ci se trouve un diapason entretenu électriquement de manière à vibrer d'une manière continue; chaque diapason vibre à l'unisson de la masse d'air du résonateur correspondant.

Les diapasons étant tous en vibration produisent un son très peu perceptible tant que les ouvertures des résonateurs restent masquées; mais dès que l'une d'elles est démasquée le phénomène du renforcement se produit, le son du diapason devient très perceptible à distance, et il est perçu par l'observateur avec une intensité d'autant plus grande que l'ouverture est plus complètement démasquée.

On démasque alors complètement l'ouverture du résonateur correspondant au son fondamental et on fait fonctionner un ou plusieurs autres résonateurs avec une intensité moindre que celle du son fondamental. A chaque combinaison des sons accessoires correspond un timbre particulier; mais il faut reconnaître que l'appareil ne donne pas tous les résultats qu'on pouvait espérer, et que les différences de timbre observées sont bien loin d'être aussi nettes que celles qui correspondent à des sons produits par des instruments différents.