réflexion en PQ, suivant toutes les directions, telles que CB, émanées du point A. Il en résulte qu'un observateur placé en B entendra, outre le son parti du point A, un deuxième son qui lui semblera émis dans la direction CB.

On nomme *écho* [1] ce phénomène de la répétition d'un son dans l'air par l'effet de sa réflexion sur quelque obstacle.

Pour un son très bref, comme un choc, il peut y avoir écho lorsque la surface réfléchissante est distante seulement de 17 mètres. Cela résulte de ce fait physiologique qu'une sensation sonore persiste au moins un dixième de seconde. En effet, pendant cet

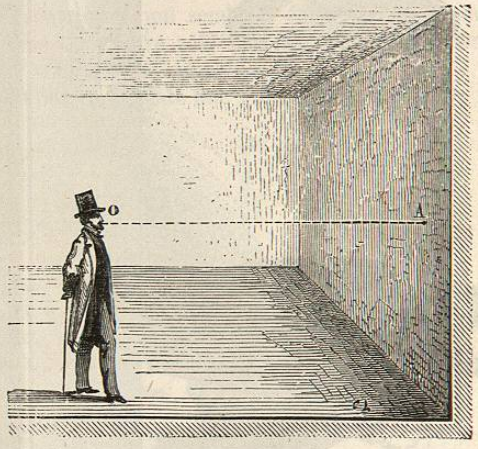


Fig. 383.

intervalle de temps le son parcourt environ 34 mètres; si donc un observateur est placé en O, à plus de 17 mètres d'un obstacle, tel qu'un mur A, servant de réflecteur au son (fig. 383), le son réfléchi parviendra à son oreille après que la sensation du son direct sera éteinte, et il pourra être perçu, sans aucune confusion, pourvu qu'il possède une intensité suffisante.

Pour les sons articulés il faut au moins une distance double, c'est-à-dire 34 mètres, pour que l'écho soit perçu nettement. Cela est une conséquence de ce fait, facile à constater, qu'on ne peut prononcer ou entendre bien distinctement plus de cinq syllabes par seconde. Or, la vitesse du son étant de 340 mètres par

1. Du grec ἠχώ, son.

seconde, il s'ensuit que dans un cinquième de seconde le son parcourt 68 mètres. Par conséquent, si l'obstacle réfléchissant est à une distance de 34 mètres, le son, tant pour aller jusqu'à l'obstacle que pour en revenir, aura 68 mètres à parcourir. Le temps écoulé entre le son articulé et le son réfléchi sera donc d'un cinquième de seconde; dès lors les deux sons ne se confondront pas, et le son réfléchi sera entendu distinctement.

Résonnances. — Lorsque la distance de la surface réfléchissante est moindre que 34 mètres pour les sons articulés et que 17 mètres pour les bruits isolés, le son direct et le son réfléchi tendant à se confondre, on ne peut les entendre séparément; mais le son se trouve renforcé et d'autant plus confus qu'une foule de réflexions partielles, émanées de divers points de la même salle, viendront s'ajouter au son principal : on dit alors qu'il y a *résonnance*. C'est ce qu'on observe dans les grands appartements. Les salles nues sont très retentissantes; au contraire, les tentures, les draperies, qui réfléchissent mal le son, rendent les appartements *sourds*.

Échos monosyllabiques et polysyllabiques. — D'après ce qui précède, si l'on parle à voix haute devant un réflecteur distant de 34 mètres, l'écho ne répétera que la dernière syllabe prononcée; l'écho est donc *monosyllabique*. Si le réflecteur est distant de deux fois, trois fois 34 mètres, l'écho sera *dissyllabique*, *trissyllabique* : il répétera deux, trois syllabes successives.

Échos multiples. — On nomme *échos multiples* ceux qui répètent plusieurs fois le même son : c'est ce qui arrive lorsque deux obstacles placés l'un vis-à-vis de l'autre, deux murs parallèles par exemple, se renvoient successivement le son. Il existe des échos qui répètent ainsi jusqu'à vingt ou trente fois le même son. On cite particulièrement celui du château de Simonetta, près de Milan, qui répète *quarante fois* un mot prononcé entre les deux ailes parallèles de l'édifice.

Remarques. — 1° L'existence des échos est une conséquence et dès lors une preuve expérimentale de la réflexion du son. Ce n'est pas seulement sur des surfaces planes, comme les murs des édifices, qu'elle s'opère; dans plusieurs circonstances, la réflexion se produit sur des surfaces courbes, telles que des voûtes d'églises ou d'édifices, et y donne naissance à des échos très nets.

Ainsi, il arrive quelquefois que, lorsqu'on parle sous une arche d'un pont de pierre, la face tournée contre l'une des piles, la voix se reproduit près de l'autre pile avec assez d'intensité pour qu'on puisse entretenir une conversation à voix basse sans être entendu par les personnes placées dans l'espace intermédiaire.

La figure 384 représente une crypte d'église, à voûte elliptique, dans laquelle ce genre d'écho est à la fois indiqué et expliqué par la réflexion des rayons sonores, qui viennent de l'un des foyers de l'ellipse et sont renvoyés à l'autre

foyer. Le musée des Antiques au Louvre possède une salle de ce genre. Il existe également au rez-de-chaussée du Conservatoire des Arts et Métiers de Paris une salle carrée, à voûte elliptique, où l'on constate ce phénomène d'une manière remarquable, lorsqu'on se place aux deux foyers de l'ellipse.

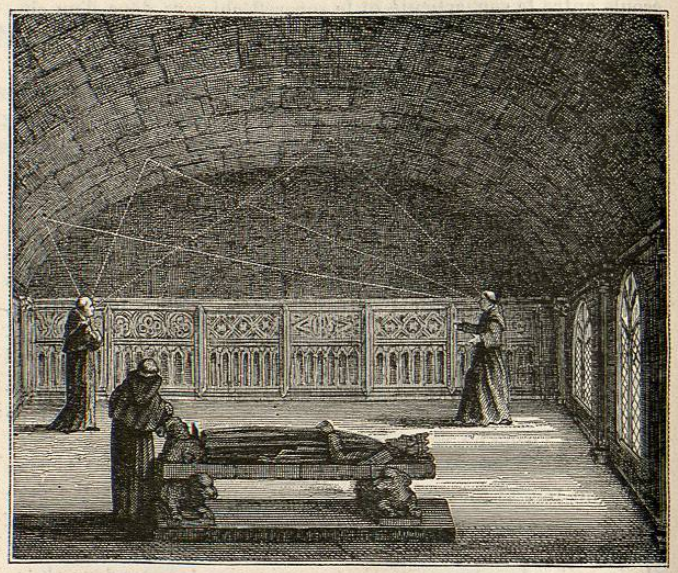


Fig. 384.

2° *Réflexion atmosphérique du son.* — Du reste, le son ne se réfléchit pas seulement à la surface des corps solides : il se réfléchit aussi sur les nuages, à la rencontre d'une couche d'air de densité différente de celle qu'il vient de traverser, enfin sur les vésicules mêmes des brouillards. On observe, en effet, que, si l'air est brumeux, les sons subissent une foule de réflexions particlles et s'éteignent rapidement. C'est la nuit, lorsque l'air est calme et d'une densité uniforme, que les sons peuvent être entendus de plus loin.

342. **Réfraction du son.** — On verra plus loin qu'on entend par *réfraction* un changement de direction qu'éprouvent la lumière et la chaleur en passant d'un milieu dans un autre. Or Sondhauss a constaté que les ondes sonores se réfractent comme la chaleur et la lumière.

Lentille de Sondhauss. — On coupe sur un grand ballon de collodion deux segments égaux, et on les fixe sur les deux faces d'un anneau de tôle ayant 31 centimètres de diamètre (fig. 385), de manière à former une lentille biconvexe, creuse, dont l'épaisseur

au centre est d'environ 12 centimètres. Puis, remplissant d'acide carbonique la lentille ainsi formée, on place une montre sur la direction de l'axe, et on cherche ensuite, de l'autre côté de la lentille, le point où le bruit de la montre est entendu avec le plus d'intensité. On observe ainsi que, tant que l'oreille est éloignée de l'axe, le son est à peine perceptible; mais que, lorsqu'elle est sur

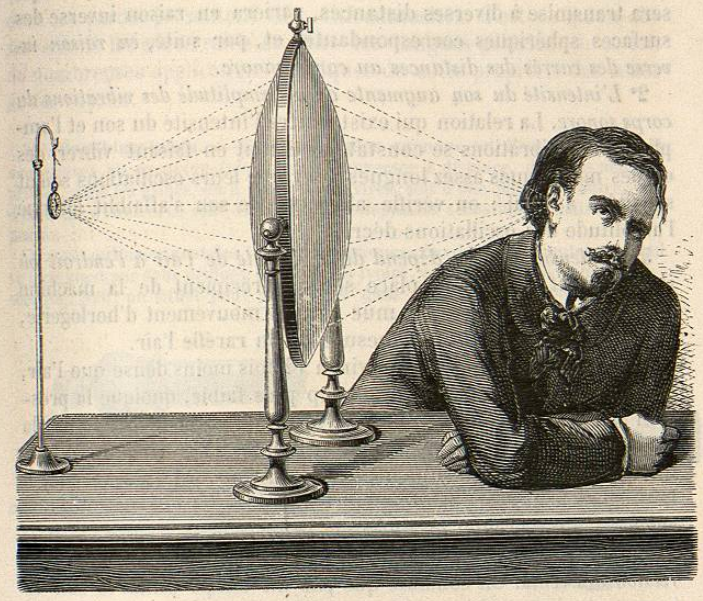


Fig. 385.

l'axe, à une distance convenable de la lentille, le son est entendu très distinctement : les ondes sonores, à leur sortie de la lentille, viennent donc concourir vers l'axe : ce qui montre non seulement qu'elles ont changé de direction, mais qu'elles se sont réfractées suivant les lois que nous verrons plus tard pour la lumière et la chaleur.

343. **Circonstances qui font varier l'intensité du son.** — Ce sont : la distance du corps sonore, l'amplitude des vibrations, la densité de l'air dans le lieu où le son se produit, la direction des courants d'air, et enfin le voisinage d'autres corps sonores.

1° *L'intensité du son varie en raison inverse du carré de la dis-*

tance du corps sonore. Cette loi est une conséquence théorique du mode de propagation du son dans un milieu indéfini (339, 2°). On a vu, en effet, que l'ébranlement moléculaire, produit par le corps sonore vibrant dans l'air, se propage sur des sphères concentriques, dont les surfaces varient proportionnellement au carré de leurs rayons. Par conséquent, sur une surface déterminée, telle que l'oreille d'un expérimentateur, la quantité de force vive qui sera transmise à diverses distances, variera en raison inverse des surfaces sphériques correspondantes et, par suite, *en raison inverse des carrés des distances au corps sonore.*

2° *L'intensité du son augmente avec l'amplitude des vibrations du corps sonore.* La relation qui existe entre l'intensité du son et l'amplitude des vibrations se constate aisément en faisant vibrer des cordes métalliques assez longues pour que leurs oscillations soient sensibles à l'œil : on vérifie alors que le son s'affaiblit lorsque l'amplitude des oscillations décroît.

3° *L'intensité du son dépend de la densité de l'air à l'endroit où il se produit.* Lorsqu'on place sous le récipient de la machine pneumatique une sonnerie mue par un mouvement d'horlogerie, l'intensité du son décroît à mesure qu'on raréfie l'air.

Dans l'hydrogène, qui est environ 14 fois moins dense que l'air, les sons ont une intensité beaucoup plus faible, quoique la pression soit la même. Dans l'acide carbonique, au contraire, dont la densité, par rapport à l'air, est de 1,529, les sons deviennent plus intenses. Sur les hautes montagnes, où l'air est très raréfié, il faut parler avec force pour se faire entendre, et l'explosion d'une arme à feu n'y produit qu'un faible bruit.

4° *L'intensité du son est modifiée par l'agitation de l'air et la direction des vents.* On constate que par un temps calme le son se propage toujours mieux que lorsqu'il fait du vent, et qu'en ce dernier cas le son est plus intense, à distance égale, dans la direction du vent que dans la direction contraire.

5° *Le son est renforcé par le voisinage d'un corps sonore.* Une corde d'instrument tendue à l'air libre et loin de tout corps sonore ne rend qu'un son faible; mais qu'elle soit tendue au-dessus d'une caisse sonore, comme dans la guitare, le violon ou la basse, elle rend un son plein et intense. Cela est dû à ce que la caisse et l'air qu'elle contient vibrent à l'unisson avec la corde. De là l'emploi des caisses sonores dans les instruments à cordes.

344. **Renforcement du son par les tuyaux.** — L'intensité du son ne varie plus en raison inverse du carré de la distance lorsque la transmission s'effectue dans des tuyaux, surtout si ceux-ci sont cylindriques et droits. Les ondes sonores ne se propageant plus

alors sous la forme de sphères concentriques croissantes, le son peut être porté à une distance considérable sans diminution bien sensible. Biot a constaté que, dans un tuyau de conduite des eaux de Paris, long de 951 mètres, la voix perd si peu de son intensité, que d'une extrémité à l'autre de ce tuyau on peut entretenir une conversation à voix basse. Toutefois l'affaiblissement du son devient sensible dans les tubes d'un grand diamètre, ou dans ceux dont les parois présentent des anfractuosités. C'est ce qu'on observe dans les souterrains et dans les longues galeries. On a fait de nombreuses applications pratiques de cette propriété des tubes et des tuyaux.

345. **Speaking-tubes.** — L'une des plus connues est l'emploi des *tubes acoustiques* ou *speaking-tubes*, pour converser à distance, dans les maisons privées, dans les usines, ou à bord des navires, soit d'une pièce à l'autre, soit d'un étage à l'autre. Ce sont de véritables *téléphones* acoustiques, mais à courte portée.

Ce sont ordinairement des tubes cylindriques, flexibles, en caoutchouc, qui se terminent par deux orifices, en os ou en ivoire, en forme d'embouchures évasées (fig. 386); un sifflet peut s'emboîter dans chacune des embouchures. On

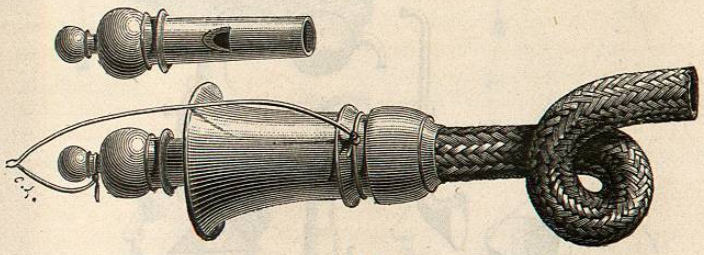


Fig. 386.

souffle d'abord dans le tube, pour prévenir, par un coup de sifflet, la personne avec qui l'on veut converser. Celle-ci siffle de la même manière, pour répondre qu'elle est à son poste, puis place l'embouchure à son oreille, pendant que l'interlocuteur parle à voix basse dans l'autre embouchure.

346. **Porte-voix.** — C'est un instrument fondé à la fois sur le renforcement et sur la facile transmission du son par les tuyaux.

Le porte-voix, ainsi que l'indique son nom, est destiné à transmettre la voix à distance. C'est un tube de fer-blanc ou de laiton (fig. 387), légèrement conique et très évasé à l'une de ses ouvertures, qu'on nomme *pavillon.* L'instrument s'embouche par l'autre extrémité; il porte la voix d'autant plus loin que ses dimensions sont plus grandes.

Les porte-voix en usage dans la marine ont jusqu'à 2 mètres de longueur, avec un pavillon dont le diamètre atteint 0m,30. Un bon porte-voix peut faire entendre des sons à 5 ou 6 kilomètres, surtout des sons non articulés. On explique, en général, les effets du porte-voix par une suite de réflexions succes-

sives des ondes sonores sur les parois du tube, réflexions en vertu desquelles les ondes tendent à se propager de plus en plus suivant une direction parallèle à l'axe de l'instrument.

On a objecté à cette théorie que les sons émis dans l'instrument ne sont pas renforcés seulement dans la direction de son axe, mais dans toutes les directions. On a dit encore que le pavillon est inutile pour obtenir le parallélisme

Fig. 387.

des rayons sonores, tandis qu'au contraire il exerce une influence considérable sur l'intensité des sons transmis. Enfin, lorsqu'on double d'une étoffe de laine l'intérieur du porte-voix, la force en est peu diminuée. Les effets de cet instrument seraient donc dus plutôt à un renforcement produit par la colonne d'air qui vibre dans le tube à l'unisson du son émis dans l'embouchure. Quant à l'effet du pavillon, on n'en a point donné jusqu'ici d'explication satisfaisante.

347. **Cornet acoustique.** — Le cornet acoustique sert aux personnes qui ont l'oreille *dure*. C'est un tube conique de métal, dont l'une des extrémités, ter-

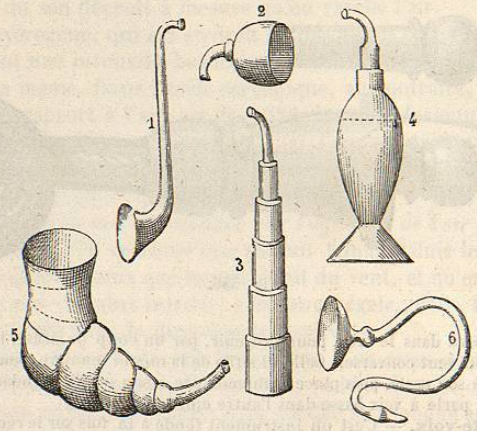
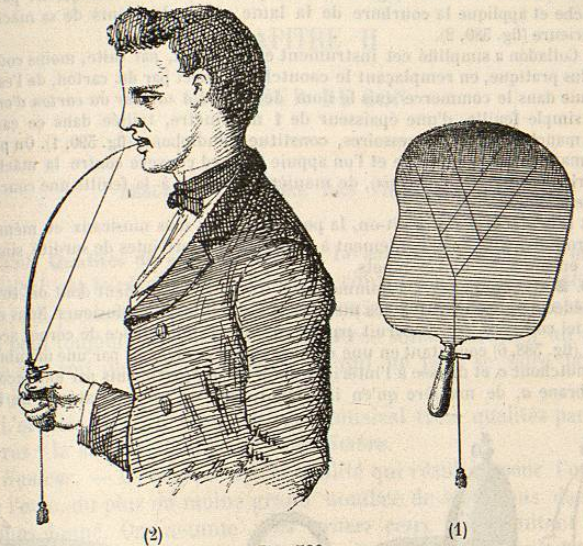


Fig. 388.

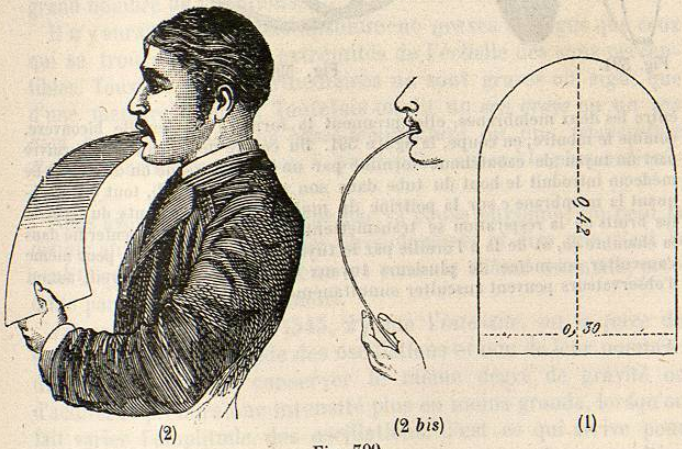
minée en pavillon, est destinée à recevoir le son, tandis que l'autre extrémité est introduite dans l'oreille. Le pavillon sert ici d'embouchure, c'est-à-dire qu'il reçoit les sons venant de la bouche de la personne qui parle. Ces sons se transmettent par une suite de réflexions dans l'intérieur du cornet, en sorte que les ondes qui eussent pris un grand développement se trouvent concentrées dans l'appareil auditif, et y produisent un effet beaucoup plus sensible que ne l'eussent fait des ondes divergentes. La figure 388 (1, 2, 3, 4, 5 et 6) montre une série de cornets de formes différentes.

348. **Audiphone.** — C'est un petit appareil destiné, comme le cornet acoustique, à faciliter, et même à *permettre* l'audition aux personnes plus ou moins



(2) (1)

Fig. 389.



(2) (2 *bis*) (1)

Fig. 390.

atteintes de surdité. Il est fondé sur la grande conductibilité des corps solides pour le son.

Le premier instrument de ce genre est dû à un Américain, M. R. G. Rhodes, de Chicago. C'est une sorte d'écran en caoutchouc durci, dont la lame est courbée à son extrémité (fig. 389, 1). La personne tient l'instrument par son manche et applique la courbure de la lame contre les dents de sa mâchoire supérieure (fig. 389, 2).

M. Colladon a simplifié cet instrument et l'a rendu, par suite, moins coûteux et plus pratique, en remplaçant le caoutchouc durci par du carton, de l'espèce connue dans le commerce sous le nom de *carton à satiner* ou *carton d'orties*. Une simple feuille, d'une épaisseur de 1 millimètre, taillée dans ce carton, sans manche ni autres accessoires, constitue l'audiphone (fig. 390, 1). On prend à la main le bord rectiligne et l'on appuie le bord convexe contre la mâchoire supérieure (fig. 390, 2 et 2 *bis*), de manière à donner à la feuille une courbure convenable.

Cet instrument permet, dit-on, la perception des sons musicaux et même de la parole articulée, non seulement à des personnes atteintes de surdité simple, mais encore à des sourds-muets.

349. **Stéthoscope.** — On nomme ainsi un petit instrument dont on se sert en médecine pour ausculter les malades. On en a imaginé plusieurs. Nous donnons ici celui qui est construit par Kœnig. C'est une espèce de cornet acoustique (fig. 388, 6) consistant en une capsule de cuivre fermée par une membrane de caoutchouc *c*, et divisée à l'intérieur en deux compartiments par une seconde membrane *a*, de manière qu'en insufflant, par un robinet latéral, de l'air

Fig. 391.

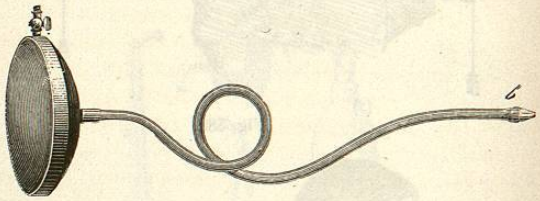


Fig. 392.

entre les deux membranes, elles prennent la forme d'une lentille biconvexe, comme le montre, en coupe, la figure 391. Du centre de la capsule de cuivre part un tuyau de caoutchouc terminé par un bout de corne ou d'ivoire *b*. Le médecin introduit le bout du tube dans son oreille (fig. 392), tout en appliquant la membrane *c* sur la poitrine du malade : les battements du cœur et les bruits de la respiration se transmettent fidèlement à l'air renfermé dans la chambre *ca*, et de là à l'oreille par le tuyau de caoutchouc. On peut même s'ausculter soi-même. Si plusieurs tuyaux sont adaptés à l'appareil, autant d'observateurs peuvent ausculter simultanément le même sujet.

CHAPITRE II

HAUTEUR DU SON

—

MESURE DU NOMBRE DES VIBRATIONS.

350. **Qualités du son musical.** — Le *son* proprement dit, ou *son musical*, est le résultat de vibrations continues, rapides et isochrones, qui produisent sur l'organe de l'ouïe une sensation prolongée. On peut toujours le comparer à d'autres sons et trouver un autre son qui soit de même hauteur, ce qui ne peut se faire pour le bruit.

L'oreille distingue dans tout son musical trois qualités particulières : la *hauteur*, l'*intensité* et le *timbre*.

Hauteur. — La *hauteur* est la qualité qui résulte, pour l'organe de l'ouïe, du plus ou moins grand nombre de vibrations dans un temps donné. On nomme *sons graves* ceux qui résultent d'un petit nombre de vibrations, et *sons aigus* ceux qui résultent d'un grand nombre de vibrations.

Il n'y aurait donc de sons absolument graves ou aigus que ceux qui se trouveraient aux extrémités de l'échelle des sons perceptibles. Tous les sons intermédiaires ne sont graves ou aigus que d'une manière relative. Toutefois on dit un *son grave* ou un *son aigu*, comme on dit une *basse température* ou une *température élevée*, en comparant le son à ceux qu'on entend le plus ordinairement.

Nous avons défini la *hauteur* par sa cause physique; on peut la définir aussi par la sensation physiologique, et dire que c'est la qualité qui distingue entre eux les sons de même intensité, produits par un même instrument.

Intensité. — On a vu (343, 2°) que l'*intensité*, ou la *force* du son, dépend de l'amplitude des oscillations et non de leur nombre : un même son peut conserver le même degré de gravité ou d'acuité, et prendre une intensité plus ou moins grande, lorsqu'on fait varier l'amplitude des oscillations. C'est ce qui arrive pour une corde tendue, qu'on écarte plus ou moins de sa position d'équilibre.

Timbre. — Le *timbre* est la qualité par laquelle deux sons