

LIVRE V

ACOUSTIQUE

CHAPITRE PREMIER.

PRODUCTION, PROPAGATION ET RÉFLEXION DU SON.

192. **Objet de l'acoustique.** — L'acoustique a pour objet l'étude des sons et celle des vibrations des corps élastiques.

La musique considère les sons par rapport aux sentiments et aux passions qu'ils peuvent exciter en nous ; l'acoustique ne traite que des propriétés des sons, abstraction faite des sensations que nous en éprouvons.

193. **Son et bruit.** — Le son est une sensation particulière excitée dans l'organe de l'ouïe par le mouvement vibratoire des corps, lorsque ce mouvement peut se transmettre à l'oreille à l'aide d'un milieu élastique.

Tous les sons ne sont point identiques : ils présentent des différences assez sensibles pour qu'on puisse les distinguer entre eux, les comparer et déterminer leurs rapports.

On distingue, en général, le son d'avec le bruit. Le son proprement dit, ou *son musical*, est celui qui produit une sensation continue et dont on peut apprécier la valeur musicale ; tandis que le bruit est un son d'une durée trop courte pour être bien appréciée, comme le bruit du canon ; ou bien c'est un mélange confus de plusieurs sons discordants, comme le roulement du tonnerre, le bruit des vagues. Toutefois la différence entre le son et le bruit n'est pas nettement tranchée ; il est, dit-on, des oreilles assez bien organisées pour déterminer la valeur musicale du bruit produit par une voiture roulant sur le pavé.

194. **Cause du son.** — Le son est toujours le résultat d'oscillations rapides imprimées aux molécules des corps élastiques, lorsque sous l'influence d'un choc ou du frottement, l'état d'équilibre de ces molécules a été troublé. Elles tendent alors à reprendre

leur position première ; mais elles n'y reviennent qu'en exécutant, en deçà et au delà de cette position, des mouvements vibratoires ou de *va-et-vient* extrêmement rapides, dont l'amplitude décroît très-vite.

On nomme *corps sonore* celui qui rend un son, et on nomme *oscillation* ou *vibration simple*, le mouvement qui ne comprend qu'une *allée* ou qu'un *retour* des molécules vibrantes ; une *vibration double* ou *complète* comprend l'*allée* et le *retour*. Les vibrations sont faciles à constater par les expériences suivantes. Qu'on projette

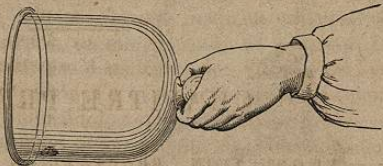


Fig. 135.

une poussière légère sur un corps qui rend un son, cette poussière prend un mouvement rapide, et rend ainsi visibles les vibrations du corps ; de même, si l'on pince une corde tendue un peu longue, ses vibrations sont apparentes à l'œil. Ou encore on prend une cloche de verre qu'on tient horizontalement d'une main par le bouton (fig. 135), et de l'autre on donne sur la cloche un coup sec avec le doigt pour la faire vibrer. Or, si l'on a placé au dedans un fragment de métal ou de tout autre corps dur, le petit corps est soulevé rapidement par les vibrations successives des parois, sur lesquelles il fait entendre des chocs répétés ; mais si l'on pose la main sur la cloche, ce qui arrête les vibrations, les chocs cessent aussitôt.

195. **Le son ne se propage pas dans le vide.** — Les vibrations des corps élastiques ne peuvent faire naître en nous la sensation du son que par l'intermédiaire d'un milieu pondérable, interposé entre l'oreille et le corps sonore, et vibrant avec lui. Ce milieu est ordinairement l'air ; mais les gaz, les vapeurs, les liquides, les solides, transmettent aussi le son.

Pour démontrer que la présence d'un milieu pondérable est nécessaire à la propagation du son, on fait l'expérience suivante. Sous la cloche d'une machine pneumatique on place un timbre métallique que frappe, d'une manière continue, un petit marteau mù par un mouvement d'horlogerie (fig. 136). Tant que la cloche est pleine d'air à la pression ordinaire, on entend distinctement résonner le timbre sous les coups du petit marteau ; mais, à mesure qu'on raréfie l'air, le son perd de son intensité, et il cesse d'être perceptible lorsque le vide est fait. Donc le son ne se propage pas dans le vide.

Pour que l'expérience réussisse bien, il faut disposer la sonnerie sur de la ouate; car les pièces métalliques dont cette sonnerie est formée peuvent transmettre leurs vibrations à la platine de la machine pneumatique, et celle-ci à l'air.

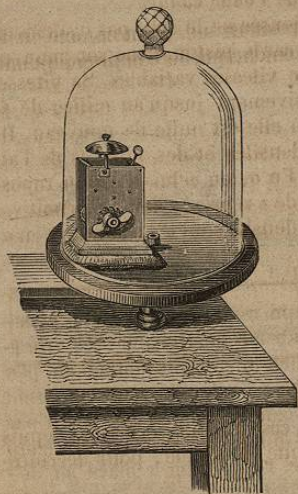


Fig. 139.

On peut faire la même expérience d'une manière plus simple, à l'aide d'un ballon de verre à robinet, contenant une petite sonnette suspendue à un fil. Si l'on agite le ballon lorsqu'il est plein d'air, on entend distinctement la sonnette; mais après qu'on a raréfié l'air qu'il renferme, au moyen de la machine pneumatique, on n'entend plus rien.

496. **Le son se propage dans tous les corps élastiques.** —

Si, dans les deux expériences ci-dessus, après avoir fait le vide, on laisse entrer, dans le récipient ou dans le ballon, un gaz quelconque ou une vapeur, on entend très-bien le son du

timbre ou de la sonnette, ce qui démontre que le son se propage dans les gaz et dans les vapeurs comme dans l'air.

Le son se propage également dans les liquides. En effet, lorsque deux corps se heurtent sous l'eau, on entend distinctement le choc. Un plongeur qui est au fond de l'eau peut distinguer ce qui se dit sur le rivage.

Quant aux solides, leur conductibilité est telle, qu'un bruit extrêmement léger, comme le frottement d'une barbe de plume, produit à l'extrémité d'une pièce de bois, est perçu à l'autre extrémité. Le sol conduit si bien le son, que, la nuit, en appliquant l'oreille contre terre, on peut entendre, à de grandes distances, des pas de chevaux ou tout autre bruit.

197. **Mode de propagation du son dans l'air.** — Pour simplifier la théorie de la propagation du son, considérons d'abord le cas où il se propagerait dans un tube cylindrique indéfini. Soit donc un tube MN (fig. 137), rempli d'air à une pression et à une température constantes, et, dans ce tube, un piston P oscillant avec une grande vitesse de A en a, et réciproquement. Ce piston, lorsqu'il

passé de A en a, comprime l'air que contient le tube. Or, en raison de la grande compressibilité de ce fluide, la condensation ne s'opère pas dans toute la longueur du tube, mais seulement sur une certaine longueur aH, qu'on nomme l'onde condensée.

Toutes les parties de l'onde condensée ne le sont pas également, et leur vitesse n'est pas la même; car le piston, dans son mouvement de va-et-vient, est animé de vitesses variables. Sa vitesse, d'abord nulle en A, croît progressivement jusqu'au milieu de sa course, puis décroît jusqu'en a, où elle est nulle de nouveau. De là résultent, dans l'onde aH, des densités et des vitesses de l'air variables avec la vitesse du piston. En a, où celui-ci est au repos, la vitesse de l'air est nulle, et ce fluide a repris sa densité primitive. En H, où finit l'onde, la vitesse et la densité sont les mêmes qu'en a;

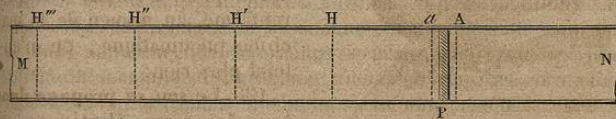


Fig. 137.

mais, dans les points intermédiaires, ces quantités croissent depuis le point a jusqu'à la section moyenne de l'onde, pour décroître ensuite jusqu'en H.

En concevant le tuyau MN divisé en longueurs égales à aH, et chacune de ces longueurs partagée en tranches parallèles au piston, on démontre, par le calcul, qu'au moment où la première tranche de l'onde aH arrive au repos, la première tranche de la partie HH' commence à participer au mouvement; puis, lorsque la seconde tranche de l'onde aH passe à l'état de repos, le mouvement se communique à la deuxième tranche de HH', et ainsi de suite de tranche en tranche dans les parties H'H'', H''H'''... L'onde condensée avance donc dans le tube, chacune de ses parties passant successivement par les mêmes degrés de vitesse et de condensation.

Le piston revenant ensuite sur lui-même dans la direction aA, il se produit derrière lui un vide dans lequel se dilate la couche d'air en contact avec sa face postérieure. Puis la couche suivante, se dilatant à son tour, ramène la première à son état primitif de condensation, et ainsi de suite de tranche en tranche; en sorte que, lorsque le piston est revenu en A, il s'est produit une onde dilatée de même longueur que l'onde condensée, et la suivant immédiatement dans le tube cylindrique, où elles se propagent ensemble, les tranches correspondantes des deux ondes possédant des vitesses égales et contraires.

L'ensemble de l'onde condensée et de l'onde raréfiée forme une *onde sonore*; c'est-à-dire qu'une onde sonore comprend la partie de la colonne d'air modifiée pendant une allée et un retour du piston; la *longueur de l'onde sonore* est l'épaisseur de l'onde condensée et de l'onde dilatée réunies, c'est-à-dire l'espace que le son parcourt pendant la durée d'une vibration complète du corps qui le produit. Cette longueur est d'autant moindre, que les vibrations sont plus rapides.

On passe facilement de la théorie du mouvement des ondes sonores dans un cylindre, à celle de leur mouvement dans un milieu indéfini dans tous les sens; il suffit, pour cela, d'appliquer dans toutes les directions, à chaque molécule des corps vibrants, ce qui vient d'être dit d'un piston mobile dans un tuyau. Il se produit, en effet, autour de chaque centre d'ébranlement, une suite d'ondes sphériques alternativement condensées et raréfiées. Ces ondes étant comprises entre deux surfaces sphériques concentriques dont les rayons croissent graduellement, tandis que la longueur d'ondulation reste la même, leur masse augmente à mesure qu'elles s'éloignent du centre d'ébranlement; il en résulte que la vitesse de vibration imprimée aux molécules s'affaiblit graduellement et que l'intensité du son diminue.

Ce sont ces ondes sphériques alternativement condensées et raréfiées qui, en se propageant dans l'espace, y transmettent le son. Si plusieurs points sont ébranlés en même temps, il se produit, autour de chacun, un système d'ondes semblable au précédent. Or, toutes ces ondes se transmettent les unes à travers les autres, sans modifier ni leur longueur ni leur vitesse. Tantôt les ondes condensées ou dilatées se superposent sur des ondes de même nature, de manière à produire un effet égal à leur somme; tantôt elles se rencontrent et produisent un effet égal à leur différence. Il suffit d'ébranler en plusieurs points la surface d'une eau tranquille pour rendre sensible à l'œil la *coexistence des ondes*.

198. **Causes qui font varier l'intensité du son.** — Plusieurs causes modifient la force ou l'intensité du son, savoir : 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^o *L'intensité du son est en raison inverse du carré de la distance du corps sonore à l'organe auditif.* Cette loi, à laquelle on est conduit par la théorie, peut aussi se démontrer expérimentalement. Concevons, en effet, plusieurs sons exactement d'égale intensité, par exemple des timbres identiques frappés par des marteaux de même poids, tombant de hauteurs égales. Si l'on place quatre de ces tim-

bres à une distance de 20 mètres de l'oreille, et un seul à une distance de 10 mètres, on observe que ce dernier, frappé seul, rend un son de même intensité que les quatre premiers timbres frappés simultanément; ce qui fait voir que, pour une distance double, l'intensité est quatre fois moindre.

2^o *L'intensité du son augmente avec l'amplitude des vibrations du corps sonore.* La liaison qui existe entre l'intensité du son et l'amplitude des vibrations se constate facilement à l'aide des cordes vibrantes; en effet, si les cordes sont un peu longues, les oscillations sont sensibles à l'œil, et l'on vérifie que l'amplitude des oscillations décroissant, le son s'affaiblit.

3^o *L'intensité du son dépend de la densité de l'air dans le lieu où il se produit.* Lorsqu'on place sous le récipient de la machine pneumatique une sonnerie mue par un mouvement d'horlogerie, on entend l'intensité du son décroître 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 1,529, les sons deviennent plus intenses. Sur les hautes montagnes, où l'air est très-raréfié, il faut parler avec effort pour se faire entendre, et l'explosion d'une arme à feu n'y produit qu'un son faible.

4^o *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^o Enfin, *le son est renforcé par le voisinage d'un corps sonore.* Une corde d'instrument, tendue à l'air libre, ne rend qu'un son faible lorsqu'on la fait vibrer loin de tout corps sonore; 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 : ce qui 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 pour les instruments à cordes.

* 199. **Appareil pour renforcer le son.** — Pour démontrer l'influence des caisses remplies d'air sur le renforcement du son, Savart a construit l'appareil représenté par la figure 138. C'est un vase hémisphérique d'airain A, qu'on fait vibrer à l'aide d'un fort archet; auprès est placé un cylindre creux B, de carton, ouvert à l'extrémité antérieure et fermé à l'autre. Au moyen d'une poignée, on tourne à volonté ce cylindre sur son support, qui est fixé sur une pièce C glissant librement dans le pied de l'appareil, en sorte qu'on

peut écarter plus ou moins le cylindre B du vase A. L'appareil étant disposé comme le montre la figure, lorsqu'on le fait vibrer, les sons qu'il rend prennent une force et une rondeur dont on ne peut se faire une idée qu'en les entendant. Mais le son perd presque toute son intensité si l'on tourne le cylindre, et il s'affaiblit graduellement lorsqu'on le recule; ce qui démontre que le renforce-



Fig. 138.

ment du son est dû aux vibrations de l'air contenu dans le cylindre. Dans cet appareil, le cylindre B doit avoir une profondeur déterminée, pour que l'air qu'il contient vibre à l'unisson avec le vase d'airain, sinon celui-ci vibrerait seul.

Vitruve rapporte que chez les anciens, on plaçait sur les théâtres des vases résonnants d'airain, pour renforcer la voix des acteurs.

200. **Influence des tuyaux sur l'intensité du son.** — La loi énoncée ci-dessus, que l'intensité du son est en raison inverse du carré de la distance, n'est pas applicable aux sons transmis par 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 altération 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 tube, on peut entretenir une conversation à voix basse. Toutefois l'affaiblissement du son devient sensible dans les tubes d'un grand diamètre, ou dont

les parois présentent des anfractuosités. C'est ce qu'on observe dans les souterrains et dans les longues galeries.

Cette propriété qu'ont les tubes de porter au loin les sons a été utilisée d'abord en Angleterre. Des *speaking tubes* (tubes parlants) y ont été appliqués à transmettre les ordres dans les hôtels et dans les grands établissements. Ce sont des tubes de caoutchouc, d'un petit diamètre, passant d'une pièce à l'autre au travers des murs. Si l'on parle d'une voix peu élevée à l'une des extrémités, on est entendu très-distinctement à l'autre.

D'après les expériences déjà citées de Biot, il est évident qu'on pourrait ainsi, à l'aide de tubes acoustiques, correspondre de vive voix d'une ville à l'autre. Le son parcourant en moyenne 337 mètres par seconde, une distance de 80 kilomètres serait parcourue en quatre minutes.

201. **Vitesse du son dans les gaz.** — La propagation des ondes sonores étant successive, le son ne peut se transmettre d'un lieu à un autre que dans un intervalle de temps plus ou moins long. C'est ce que démontrent un grand nombre de phénomènes. Par exemple, le bruit de la foudre ne se fait entendre qu'un certain temps après qu'on a vu l'éclair, bien que le bruit et l'éclair se produisent simultanément dans la nue.

De nombreuses tentatives ont été faites pour déterminer la vitesse du son dans l'air, c'est-à-dire l'espace qu'il parcourt en une seconde. La dernière fut faite dans l'été de 1822, pendant la nuit, par les membres du Bureau des longitudes. On avait choisi pour stations deux hauteurs situées, l'une à Villejuif, l'autre à Montlhéry, près de Paris. A chaque station, on tirait, de dix en dix minutes, un coup de canon. Les observateurs de Villejuif entendirent très-distinctement les douze coups tirés à Montlhéry; mais ceux de cette station n'entendirent que sept coups, sur douze tirés à Villejuif, la direction du vent étant contraire.

A chaque station, les observateurs notaient, au moyen de chronomètres, le temps qui s'écoulait entre l'apparition de la lumière, au moment de l'explosion, et l'audition du son. Ce temps pouvait être pris pour celui qu'employait le son pour se propager d'une station à l'autre, car l'intervalle des deux stations n'était que de 18 612^m,52, et l'on verra, en optique, que, pour parcourir cette distance, il faut à la lumière un temps inappréciable. On constata ainsi que la durée moyenne de la propagation du son d'une station à l'autre était de 54^s,6. Divisant par ce nombre l'intervalle des deux stations, on trouva que la vitesse du son, par seconde, est de 340^m,89, à la température de 16 degrés, qui était celle de l'atmosphère pendant l'expérience.

La vitesse du son dans l'air décroît avec la température : à 10 degrés, elle n'est que de 337 mètres ; à zéro, de 333 mètres. Mais, pour une même température, elle est indépendante de la densité de l'air, et, par conséquent, de la pression. A température égale, elle est la même pour tous les sons, forts ou faibles, graves ou aigus. En effet, Biot constata, dans les expériences ci-dessus mentionnées sur la conductibilité des tuyaux, que lorsqu'on jouait de la flûte à l'extrémité d'un tuyau de fonte de 951 mètres de longueur, les sons gardaient leur rythme à l'autre extrémité ; ce qui indique que les différents sons se propagent avec des vitesses égales. Cependant ceci ne doit pas être admis d'une manière générale pour les sons qui ont une origine dissemblable, comme le bruit du canon, par exemple, et le son d'un instrument ou de la voix humaine. C'est du moins ce que tend à prouver l'observation suivante, faite par le capitaine Parry, pendant son expédition dans les mers du Nord. Ayant un jour fait faire l'exercice du canon, et les artilleurs ne faisant feu qu'au commandement donné par l'officier, plusieurs personnes, placées à une assez grande distance des pièces, entendirent le bruit du canon avant d'avoir entendu le commandement de faire feu ; ce qui indiquerait que les sons produits avec violence se propagent plus vite.

La vitesse du son varie d'un gaz à un autre, quoique la température soit la même. A l'aide des formules sur les tuyaux sonores (238), Dulong a trouvé qu'à la température de zéro, la vitesse du son, dans les gaz suivants, est :

Acide carbonique.....	261 mètres.
Oxygène.....	317
Air.....	333
Oxyde de carbone.....	337
Hydrogène.....	1269

202. **Formules pour calculer la vitesse du son dans les gaz.** — Newton, le premier, a donné, pour calculer la vitesse du son dans les gaz, à la température de zéro, la formule

$$v = \sqrt{\frac{e}{d}},$$

dans laquelle v représente la vitesse du son, c'est-à-dire l'espace qu'il parcourt en une seconde, e l'élasticité du gaz à zéro, et d sa densité aussi à zéro.

On conclut de cette formule que la vitesse de propagation du son dans un gaz est directement proportionnelle à la racine carrée de l'élasticité du gaz, et inversement proportionnelle à la racine carrée de sa densité. On voit, en même temps, que cette vitesse reste constante, quelle que soit la pression, car l'élasticité augmentant, la densité augmente dans le même rapport, d'après la loi de Mariotte.

En représentant par g l'intensité de la pesanteur, par h la hauteur du baromètre ramenée à zéro, et par δ la densité du mercure aussi à zéro, il est évident que, pour un gaz soumis à la pression atmosphérique, l'élasticité e croissant comme chacune de ces quantités, on peut poser $e = gh\delta$. La formule de Newton devient donc, pour la température de zéro, $v = \sqrt{\frac{gh\delta}{d}}$.

Or, la température d'un gaz augmentant de 0 à t degrés, son volume croît, et sa densité varie en raison inverse du volume ; par conséquent, si l'on représente par 1 le volume du gaz à zéro, et par a l'accroissement que prend l'unité de volume en s'échauffant de 1 degré, le volume à t degrés sera $1 + at$ (CALORIQUE, chap. IV). Par suite, la densité, qui est d à zéro, sera $\frac{d}{1 + at}$ à t degrés. La formule de Newton, pour une température t , doit donc s'écrire

$$v' = \sqrt{\frac{gh\delta}{d}(1 + at)}, \text{ ou } v' = \sqrt{\frac{gh\delta}{d}} \cdot \sqrt{1 + at} = v\sqrt{1 + at};$$

v' étant la vitesse à t degrés, et v la vitesse à zéro.

Les valeurs de v obtenues par cette formule ont toujours été plus petites que celles fournies par l'expérience. Laplace a donné, pour cause de cette différence, la chaleur qui se développe, par l'effet de la pression, dans les ondes condensées. En s'appuyant sur les idées de Laplace, Poisson et Biot ont trouvé que la

formule de Newton doit être ramenée à la forme $v = \sqrt{\frac{gh\delta}{d}(1 + at)\frac{c}{c'}}$;

c étant le calorique spécifique, à pression constante, du gaz dans lequel le son se propage (CALORIQUE, chap. VII), et c' son calorique spécifique à volume constant. Ainsi modifiée, cette formule donne des valeurs de v d'accord avec l'expérience.

203. **Vitesse du son dans les liquides et les solides.** — La vitesse du son dans les liquides est beaucoup plus grande que dans l'air. Colladon et Sturm ont trouvé, par des expériences faites, en 1827, sur le lac de Genève, que la vitesse du son dans l'eau est de 1435 mètres à la température de 8°, 1. C'est plus que le quadruple de celle qui a lieu dans l'air.

Dans les solides, la vitesse du son est encore plus grande. En expérimentant sur des tuyaux de fonte destinés à la conduite des eaux, Biot a trouvé directement que, dans la fonte, le son se propage 10,5 fois plus vite que dans l'air. La vitesse du son dans les autres solides a été déterminée théoriquement par Chladni, Savart, Masson et Wertheim, en s'appuyant, soit sur le nombre des vibrations longitudinales ou transversales des corps, soit sur leur coefficient d'élasticité. Chladni a trouvé, à l'aide des vibrations longitudinales, que, dans les différentes espèces de bois, la vitesse du son est de 10 à 16 fois plus grande que dans l'air. Dans les métaux, cette vitesse est plus variable, et égale de 4 à 16 fois celle qui a lieu dans l'air.

204. **Réflexion du son.** — Tant que les ondes sonores ne sont point gênées dans leur développement, elles se propagent sous forme de sphères concentriques ; mais lorsqu'elles rencontrent un obstacle, elles suivent la loi générale des corps élastiques, c'est-à-dire qu'elles reviennent sur elles-mêmes, en formant de nouvelles ondes concentriques qui semblent émaner d'un second centre

situé de l'autre côté de l'obstacle; ce qu'on exprime en disant que les ondes sont *réfléchies*.

La figure 139 représente une suite d'ondes incidentes, réfléchies sur un obstacle PQ. Si l'on considère, par exemple, l'onde incidente MCDN, émise du centre A, l'onde réfléchi correspondante est représentée par l'arc KED, dont le point *a* est le *centre virtuel*.

La ligne droite AC, suivant laquelle se propage le son du point A au point C, est un *rayon sonore*; et si l'on mène par le point C une perpendiculaire CH à la surface réfléchissante, l'angle ACH que fait le rayon sonore avec cette perpendiculaire se nomme

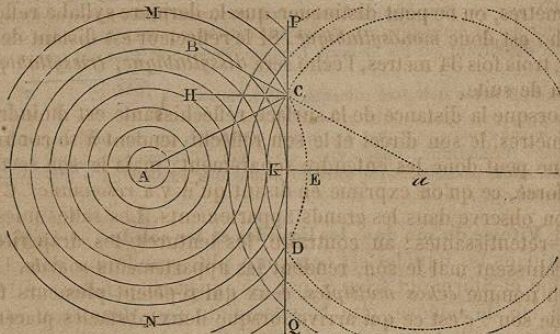


Fig. 139.

angle d'incidence; enfin, l'angle BCH, que fait le rayon sonore réfléchi BC avec la même perpendiculaire, est l'*angle de réflexion*.

Cela posé, la réflexion du son est soumise aux deux lois suivantes, qui sont les mêmes pour la chaleur et la lumière :

1^o *L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence.*

2^o *Le rayon sonore incident et le rayon réfléchi sont dans un même plan perpendiculaire à la surface réfléchissante.*

D'après ces lois, l'onde qui, dans la figure, se propage suivant AC, prend, après la réflexion, la direction CB; en sorte qu'un observateur placé en B entend, outre le son parti du point A, un deuxième son qui lui semble émis dans la direction CB.

205. **Echos et résonance.** — On nomme *écho*, 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. C'est la limite qu'on admet ordinairement pour tous les sons; mais pour les sons articulés, il faut au moins une distance double, c'est-à-dire 34 mètres. En effet, il est facile de 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 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 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. D'après ce qui précède, si l'on parle à voix haute devant un réflecteur distant de 34 mètres, on ne peut distinguer que la dernière syllabe réfléchi; l'écho est donc *monosyllabique*. Si le réflecteur est distant de deux fois, trois fois 34 mètres, l'écho sera *dissyllabique*, *trissyllabique*, et ainsi de suite.

Lorsque la distance de la surface réfléchissante est moindre que 34 mètres, le son direct et le son réfléchi tendent à se confondre. On ne peut donc les entendre séparément; mais le son se trouve renforcé, ce qu'on exprime en disant qu'il y a *résonance*. 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*.

On nomme *echos 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, en Italie.

Les lois de la réflexion du son étant les mêmes que celles de la réflexion de la lumière et de la chaleur, les surfaces courbes donnent naissance à des *foyers acoustiques* analogues aux foyers lumineux et calorifiques qui se produisent devant les réflecteurs concaves (379). Par exemple, si l'on parle sous une arche de pont de pierre, la face tournée contre l'une des piles, la voix peut se reproduire auprès de l'autre pile avec assez d'intensité pour qu'on entretienne ainsi une conversation à voix basse, sans que des personnes placées dans l'espace intermédiaire puissent l'entendre.

Il existe, au rez-de-chaussée du Conservatoire des arts et métiers de Paris, une salle carrée, à voûte elliptique, qui présente ce phénomène d'une manière remarquable, lorsqu'on se place aux deux foyers de l'ellipse.

Du reste, il est à remarquer que le son ne se réfléchit pas seulement à la surface des corps solides, comme les murs d'un édifice, les bois, les rochers; il se réfléchit aussi sur les nuages, à la ren-

contre 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 subsistent une foule de réflexions partielles, et s'éteignent rapidement. C'est la nuit, lorsque l'air est pur, calme et d'une densité uniforme, que les sons peuvent être entendus de plus loin.

* 206. **Réfraction du son.** — On verra plus tard (464) qu'on entend par *réfraction*, un changement de direction qu'éprouvent la lumière et le calorique en passant d'un milieu dans un autre. Or, M. Sondhauss, en Allemagne, a constaté récemment que les ondes sonores se réfractent comme la chaleur et la lumière.

A cet effet, il a construit des lentilles gazeuses, en remplissant d'acide carbonique des enveloppes membraneuses de forme sphérique ou lenticulaire. Avec des enveloppes de papier ou de baudruche, la réfraction du son n'est pas sensible; mais avec une enveloppe de *collodion*, l'expérience réussit très-bien.

M. Sondhauss coupe, sur un très-grand ballon de collodion, deux segments égaux, et les fixe sur les deux faces d'un anneau de tôle ayant 31 centimètres de diamètre, 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, il place une montre ordinaire sur la direction de l'axe, et cherche ensuite, de l'autre côté de la lentille, le point où le bruit de la montre est entendu avec 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 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 qu'elles ont changé de direction, et, par conséquent, qu'elles sont réfractées.

207. **Porte-voix, cornet acoustique.** — Le *porte-voix* et le *cornet acoustique* sont deux instruments fondés à la fois sur la réflexion du son et sur la conductibilité des tuyaux cylindriques (200).

Le *porte-voix*, ainsi que l'indique son nom, est destiné à transmettre la voix à de grandes distances. C'est un tube de fer-blanc ou de laiton (fig. 143), légèrement conique et très-évasé à l'une de ses ouvertures, qu'on nomme *pavillon*. Cet instrument, qui s'embouche par l'autre extrémité, porte la voix d'autant plus loin, que ses dimensions sont plus grandes. On explique, en général, les effets du *porte-voix* par une suite de réflexions successives 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 à travers le *porte-voix* ne sont pas renforcés seulement dans la direction de son axe, mais dans toutes les directions; et encore que le pavillon serait inutile pour obtenir le parallélisme des rayons sonores, tandis qu'au contraire il exerce une influence considérable sur l'intensité des sons transmis. Quelques physiiciens attribuent les effets du *porte-voix* à un renforcement produit par la colonne d'air qui est dans le tube, laquelle vibre à l'unisson, à mesure qu'on parle à son extrémité. Quant à



Fig. 140.

l'effet du pavillon, on n'en a point donné jusqu'ici d'explication satisfaisante.

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

CHAPITRE II.

MESURE DU NOMBRE DES VIBRATIONS.

208. **Sirène.** — On a imaginé plusieurs appareils pour mesurer le nombre de vibrations correspondant à un son donné, savoir : la *sirène*, la *roue dentée de Savart*, le *cylindre tournant de Duhamel*, le *phonautographe de M. Scott*. Nous décrirons ici les trois premiers; plus loin nous donnerons le *phonautographe* (248).

La *sirène* est un petit appareil qui sert à mesurer le nombre des vibrations d'un corps sonore en un temps donné. Cagniard-Latour, qui en est l'inventeur, a donné le nom de *sirène* à cet instrument, parce qu'on peut lui faire rendre des sons sous l'eau.