

ébranlemens, il y a son proprement dit, dont l'élévation ou l'acuité varie suivant la vitesse avec laquelle se succèdent les ébranlemens. C'est ce qu'on apprécie très-bien avec la roue de Savart, dont les dents ne produisent que du bruit aussi longtemps qu'on peut distinguer les chocs; mais, lorsque ceux-ci se succèdent plus vite, les bruits se confondent en un son, quoiqu'on puisse encore continuer d'entendre le bruit. D'où il suit que ce n'est pas seulement une succession régulière d'ondes simples, mais encore une succession régulière d'ondes très-composées ou bruyantes, qui devient un son musical.

Un son éclatant est celui que produisent des ondes simples, d'une force suffisante, sans ondes irrégulières intermédiaires, c'est-à-dire sans bruit. La qualité de l'éclat, ou le timbre d'un son, dépend des mêmes causes que la qualité du son simple: il n'y a de plus ici que la succession régulière des ondes.

III. Mouvement ondulatoire dans la propagation du son.

A. Ondes progressives dans la propagation du son.

La propagation des vibrations de corps résonnans a lieu, généralement, par des ondes de condensation et de raréfaction, et non par des ondes d'inflexion. L'eau aussi conduit les ondes sonores de cette manière. Ce mode de mouvement est donc totalement différent des ondes d'inflexion de l'eau.

Un ébranlement communiqué à l'air, à partir d'un point, et dans toutes les directions, détermine une onde sphérique d'air condensé, ayant la forme d'une boule creuse, qui s'étend d'une manière uniforme en tous sens, et conserve par conséquent sa forme sphérique. Une sphère qui se dilaterait tout à coup dans l'air, produirait une onde de ce genre. Les molécules de l'air repoussées par la boule qui se distend, acquièrent un mouvement correspondant à cette distension dans la direction du rayon, et pendant le moment qui succède im-

médiatement, lorsque la boule, revenant sur elle-même, détermine une raréfaction à sa périphérie, elles y acquièrent un mouvement en sens inverse. Toutes les molécules de l'air à travers lequel passe l'onde sphérique acquièrent ainsi le même mouvement. Mais l'amplitude de l'excursion que ces molécules font en avant et en arrière, et qui, en la comparant avec les ondes de l'eau, correspond à l'élévation de la protubérance de l'onde, diminue à mesure que l'onde avance, tandis que l'épaisseur de celle-ci demeure la même pendant son expansion, absolument de même qu'une onde sphérique produite sur l'eau s'abaisse, tout en conservant la même largeur, à mesure qu'elle prend de l'extension. La sphère creuse de l'onde progressive croît donc en raison proportionnelle des carrés de son diamètre. La protubérance de l'onde diminue dans le même rapport. C'est ce qui fait que l'intensité du son diminue à l'air libre, en raison de l'accroissement des carrés des distances comprises entre l'onde sonore et le lieu de son origine. Il n'y a pas de motif pour que ce décroissement ait lieu à l'égard du mouvement ondulatoire de l'air dans un tuyau.

Si le corps ébranlant ou vibrant n'imprime point à l'air libre un choc en tous sens, comme ferait une sphère qui se dilaterait, mais qu'il ne lui en donne que dans une seule direction, l'onde résultante de là est également sphérique, tout comme une onde, déterminée sur l'eau par un choc en un seul sens, n'en marche pas moins dans toutes les directions, et affecte conséquemment une forme circulaire. Cependant la grandeur de la protubérance de l'onde, ou l'amplitude de l'excursion que font les molécules de l'air à travers lesquelles passe l'onde, est plus forte dans la direction du choc, parce qu'elle dépend en partie de cette direction elle-même. D'après cela, si les ondes sonores affectent une direction quelconque dans le corps résonnant, comme cela a lieu lorsqu'une corde ou une colonne d'air vibre, le son est également plus fort et plus distinct dans cette direction. Il me paraît que la circonstance

suiivante contribue aussi à cet effet dans certains cas. L'onde d'un milieu susceptible d'éprouver le mouvement ondulatoire peut, lorsque l'ébranlement agit sur ce milieu dans une certaine largeur, être considérée comme composée d'ondes circulaires de même diamètre, placées les unes à côté des autres. Ces ondes se couvrent dans une direction parallèle à la largeur de l'ébranlement, mais elles ne se couvrent point à leurs extrémités libres. L'onde est donc plus forte dans une direction perpendiculaire à la largeur de l'ébranlement.

La force avec laquelle le son est conduit dépend, toutes choses égales d'ailleurs, du rapport entre le corps résonnant et le corps conducteur. Plus il y a d'homogénéité entre ces deux corps, plus aussi la communication est parfaite; moins ils sont homogènes, plus la communication est imparfaite. L'air résonnant, par exemple, celui d'un instrument à vent, transmet si parfaitement ses vibrations à l'air extérieur, qu'il n'y a point de renforcement opéré par d'autres milieux; mais il les communique difficilement à des corps solides. Les corps solides, au contraire, transmettent incomplètement leurs vibrations à l'air, et complètement à d'autres corps solides. De plus, lorsque les vibrations passent d'un milieu dans un autre qui n'est point de même nature, elles sont, comme la lumière, en partie transmises et en partie réfléchies. Ceci explique pourquoi des massifs de rochers font obstacle au son excité dans l'air, tandis que le son d'un corps solide, par exemple, d'une verge, est transmis avec plus de force à l'oreille par un cordon que par l'air. Suivant Wheatstone, on peut, au moyen d'un fil métallique, conduire les sons d'un instrument à cordes sur un foyer de résonnance éloigné.

A part les différences qui viennent d'être signalées dans la force de la propagation, un son peut devenir, par le fait de la résonnance, plus fort qu'il ne l'était dans le corps sonore lui-même. La résonnance provient de l'agrandissement de la surface des parties homogènes vibrantes; c'est pourquoi le

diapason résonne avec plus de force quand on le place sur un corps solide. Là-dessus repose aussi l'effet du chevalet et de la caisse dans les instrumens à cordes.

La résonnance est plus forte avec un corps limité qu'avec un corps non limité. En effet, le premier réfléchit les ondes sonores en partie par ses bords et ses surfaces, et ces ondes rétrogrades se croisent avec les nouvelles ondes excitées par le corps sonore; mais quand les protubérances des ondes se croisent, leur élévation devient plus considérable.

B. Ondulations stationnaires dans les corps conducteurs du son.

Des vibrations stationnaires naissent dans les corps conducteurs du son, limités, et en même temps élastiques. Il a déjà été dit précédemment qu'un corps conducteur limité réfléchit les ondes progressives par ses bords et par ses angles, que par conséquent les ondes qui viennent et celles qui reviennent se croisent. Un corps résonnant ne se partage pas nécessairement en parties aliquotes, de sorte que la largeur de ces ondes ne dépend pas de lui, mais des corps qui produisent le son. Dans un corps qui produit du son, les ondes qui naissent sont toujours des parties aliquotes de son tout. Mais un corps conducteur limité peut se partager lui-même, comme un corps sonore, en portions plus ou moins étendues, par la formation de nœuds et de lignes nodales. Ainsi, par exemple, il se forme de ces lignes nodales, d'après les expériences de Savart, sur des membranes tendues et conduisant le son, lorsqu'on les soupoudre d'une poussière légère. Des plaques offrent le même phénomène quand on les met en communication avec le corps producteur du son, par le moyen d'une verge, ainsi que l'a fait voir Savart.

Le son d'un corps peut, sous certaines conditions, non seu-

lement provoquer de la résonance dans un corps élastique limité, mais encore exciter celui-ci à produire du son par lui-même, auquel cas le dernier corps donne le son qui lui est propre, et qui diffère du premier. Les cordes tendues sont susceptibles de résonner ensemble dans le ton qui leur appartient en propre. Il paraît être nécessaire pour cela non seulement que l'élasticité soit portée à un haut degré, et la limitation bien tranchée, mais encore que les ondes du premier son soient dans un rapport simple avec celles du son fondamental du corps consonant.

Enfin, un corps élastique et limité peut aussi, dans des conditions déterminées, modifier l'élévation du son d'un corps sonore par lui-même, lorsque les deux ordres de vibrations se modifient réciproquement pour former des ondes qui ne seraient propres ni à l'un des deux corps ni à l'autre. Ainsi la colonne d'air qui résonne en même temps qu'une languette, modifie le son de cette dernière. J'ai observé un autre exemple remarquable de cette action réciproque dans un sifflet dont je bouchais l'extrémité ouverte avec une membrane (une vessie de cochon). On sait qu'un sifflet d'un pied, fermé à l'extrémité par un bouchon, donne l'*ut*, pour son fondamental; mais si l'on remplace le bouchon par une membrane médiocrement tendue, le son fondamental, lorsqu'on souffle aussi faiblement que possible, au lieu d'être l'*ut*, devient plus grave d'une tierce à une quinte; si la membrane est plus tendue, le son fondamental s'élève; et, au plus haut degré possible de tension, cette membrane agit comme un bouchon solide.

Les liquides conducteurs du son, lorsqu'ils sont en contact immédiat avec les corps sonores, montrent encore, à leur surface, des ondes d'inflexion particulières, qu'il faut bien distinguer des ondes condensantes de la conduction du son. Il s'établit, en effet, sur leur surface, de petites élévations et dépressions onduleuses régulières, comme des ondes station-

naires. Ces phénomènes ont été décrits par OErsted, Purkinje, Chladni, G. Scemmerring et Faraday (1).

Si l'on fait vibrer dans l'air un diapason tenu horizontalement, et dont un côté soit couvert d'une couche d'eau peu épaisse, on voit se produire, dans celle-ci, les plus belles ondes stationnaires parallèles, qui, pour la plupart, occupent toute la largeur du diapason, et ont environ trois quarts de ligne de long. Ce sont en quelque sorte les reflets des vibrations du corps sonore, provenant des mouvemens que ces vibrations communiquent aux molécules de l'eau. Si l'on tient le diapason résonnant par une de ses faces dans un vase plein d'eau, on voit partir de ses côtés des divisions parallèles très-régulières du liquide, absolument comme si l'eau qui le touche entraînait simultanément avec lui dans un mouvement ondulatoire, qui ne serait que la continuation ou le prolongement des ondes de l'instrument. Si la surface large de ce dernier est au dessus de l'eau, ou couverte seulement d'une couche mince, mais que les côtés plongent dans l'eau du vase, on reconnaît que les ondes à la surface du diapason et celles dans l'eau du vase sont des prolongemens les unes des autres. Mais ce qu'il y a de remarquable, c'est que, quelque face du diapason qu'on immerge, on aperçoit toujours dans l'eau des ondes stationnaires dont les limites sont perpendiculaires à la surface de l'instrument; il n'y a d'exception que pour les bords, où les lignes deviennent divergentes.

Le phénomène a lieu aussi dans des vases résonnans pleins d'eau, par exemple dans des verres qu'on fait parler avec un archet de violon; la masse de l'eau se trouve alors, comme le verre, partagée, suivant l'élévation du son, en quatre, six ou huit parties, avec des lignes nodales entre lesquelles s'aperçoivent, lorsqu'on passe légèrement l'archet, des ondes

(1) Voyez Scemmerring, dans KASTNER, *Archiv fuer die gesammte Naturlehre*, t. VIII, p. 91.—Faraday, dans *Philos. Trans.*, 1831, 319.

stationnaires, dont les limites sont perpendiculaires à la surface intérieure du vase. En frottant plus fort, il se produit d'autres figures, et le croisement des ondes donne lieu à des ondes stationnaires rhomboïdales. La largeur des ondes est rigoureusement proportionnée à l'élévation du son; elles sont plus larges pendant les sons graves. Du reste, l'eau s'accumule aussi dans les portions vibrantes du verre, et quand on passe l'archet avec force, elle est lancée par jets au dehors. Si l'on met le verre en vibration par le frottement du bord avec le doigt, les portions vibrantes et les lignes nodales se déplacent continuellement, et suivent en tournant le doigt qui imprime le mouvement.

Les lames de verre couvertes d'une mince couche d'eau présentent le phénomène d'une manière plus belle encore, quand on les frotte avec un archet.

Si l'on fixe un morceau de liège sur la peau d'un tambour, qu'on y assujétisse une petite baguette de bois terminée par une plaque ronde ou carrée, et qu'on place le tambour de manière que la plaque de la baguette trempe aisément dans l'eau, on voit, lorsque la membrane vibre, se former dans le liquide des ondes semblables, dont les limites sont perpendiculaires au côté de la plaque. Aussi obtient-on une figure étoilée dans l'eau lorsque la plaque est ronde. Il n'est pas possible jusqu'à présent d'expliquer ce phénomène d'une manière satisfaisante.

Faraday dit que la plus légère différence possible dans une circonstance quelconque pourrait occasioner, pendant les vibrations d'une plaque, une élévation ou une dépression du liquide, et donner ainsi la première impulsion au phénomène. Mais je ne crois pas qu'on parvienne à expliquer des effets si réguliers par-là et sans une subdivision régulière ou sans un mouvement ondulatoire dans le corps sonnant, bien que ceci ne conduise pas non plus à une explication satisfaisante.

Du reste, pendant la conduction du son, les ondes sont con-

densantes, dans l'eau aussi bien que dans l'air. Mais les ondes dont il vient d'être parlé à la surface du liquide sont des ondes de soulèvement ou d'inflexion.

La vitesse de la propagation du son dépend de la densité et de l'élasticité des corps. Dans l'air sec, elle est, à la température de zéro, de 332,49 mètres par seconde. La chaleur l'augmente. Dans l'eau, la propagation de son a lieu près de quatre fois plus rapidement que dans l'air. Les corps solides l'effectuent avec plus de vitesse encore. Le fer conduit le son dix fois et demie plus vite que l'air, et le bois onze fois.

Sous le rapport de la réflexion, les ondes sonores se comportent comme les ondes lumineuses. Quand elles passent dans un milieu différent, elles sont en parties transmises et en parties réfléchies. Une montre placée au foyer d'un miroir concave fait entendre ses battemens dans le foyer d'un autre miroir concave, qui réunit les rayons sonores. Comme les ondes sonores de l'air se communiquent aux corps solides avec plus de difficulté qu'elles ne continuent à marcher dans l'air, la force du son se conserve parfaitement dans un tuyau de communication, comme aussi les ondes sonores transmises à un corps solide en forme de baguette conservent leur force presque sans changement à de grandes distances. Un porte-voix représente une parabole au foyer de laquelle le son est excité; en vertu de la réflexion qu'ils éprouvent sur les parois de cette parabole, les rayons sonores marchent dans des directions qui sont parallèles à l'axe. La cause du grossissement de la voix tient en grande partie à la coïncidence des ondes primitives avec les ondes réfléchies, d'où résultent de plus grandes condensations. Mais il faut avoir égard aussi à la résonance de la masse d'air limitée dans le tube. Car l'air d'un tube ouvert à ses deux bouts ou à l'un, résonne lorsqu'il conduit le son. Le cornet acoustique se rétrécit du côté de l'oreille; en conséquence, il condense les ondes sonores. Si ses parois sont paraboliques, et que l'oreille se trouve proche du

foyer de la parabole, les ondes sonores dont les directions sont parallèles à l'axe de cette dernière, se réunissent en un point voisin de l'oreille. Un retentissement a lieu lorsqu'à distance plus grande de la paroi réfléchissante, les ondes réfléchies parviennent à l'oreille sensiblement plus tard que les ondes primitives. Si la différence est assez considérable pour que les deux sortes d'ondes ne s'accollent plus l'une à l'autre, il y a écho.

CHAPITRE II

Des formes et des propriétés acoustiques des organes auditifs.

I. Formes de l'organe auditif.

On ne connaît pas de parties comparables à l'organe auditif chez la plupart des animaux sans vertèbres, et l'on peut même douter, pour certains d'entre eux, qu'ils entendent; car de ce qu'un être réagit à l'occasion de vibrations, il ne s'ensuit pas qu'il a perçu un son, puisque ces vibrations peuvent être senties aussi par le toucher, comme ébranlement (1).

Ce qu'il y a de plus essentiel dans l'organe auditif est, en tous cas, le nerf spécifique de l'audition, qui a la propriété de percevoir les chocs comme son; vient ensuite un appareil capable de bien conduire ces chocs à l'organe auditif. Mais, toutes les matières conduisant les vibrations sonores comme ondes de condensation, il peut ne point y avoir d'appareil conducteur spécial. On explique ainsi pourquoi il n'a pas été jusqu'ici découvert d'organes particuliers d'audition chez un si grand nombre d'animaux invertébrés. Le nerf auditif, quoiqu'étant seulement appliqué contre les parties solides de

(1) Voyez, sur les parties comparées à l'organe auditif, chez les Insectes : COMPARETTI, *Observ. anat. de aure interna comparata*, Padoue, 1789. — TREVIRANUS, dans *Annalen der Wetterauischen Gesellschaft*, t. I. — RAMDOHR, dans *Magazin der Gesellschaft naturforschender Freunde*, Berlin, 1811, p. 389. — P. LYONET, *Recherches sur l'anatomie et les métamorphoses de différentes espèces d'insectes*, Paris, 1832, in-4. fig. — MULLER, *Physiologie des Gesichtssinnes*, p. 437.

la tête, devra sentir les vibrations communiquées à ces dernières, tout comme s'il était étalé sur un appareil spécial. La plus simple forme de l'organe auditif, comme appareil particulier, abstraction faite du nerf spécifique, est celle d'une vésicule pleine de liquide et sur laquelle se répand le nerf. Les vibrations sont amenées à celui-ci ou par les parties dures de la tête, ou en même temps par une membrane tendue au dehors. Telle est la forme qu'on rencontre, parmi les animaux articulés, chez les Crustacés, et parmi les Mollusques, chez les Céphalopodes.

Dans les Crustacés, l'organe est situé de chaque côté, à la partie inférieure de la tête, et près de l'article basal des grandes antennes extérieures. Il consiste en un vestibule osseux, dont la fenêtre extérieure est fermée par une membrane analogue à la membrane tympanique secondaire des animaux supérieurs. La cavité osseuse renferme un sac membraneux plein d'eau, à la surface duquel s'épanouit le nerf auditif.

L'organe auditif des Céphalopodes se compose d'un vestibule cartilagineux, simple excavation du cartilage céphalique, sans fenêtre ni membrane au dehors. On trouve, dans cette cavité un sac membraneux, sur lequel se répand le nerf auditif. Chez le Poulpe, la paroi interne du vestibule est lisse; chez la Seiche et le Calmar, elle est parsemée de petits tubercules mous, ou de prolongemens, qui maintiennent la vésicule nageante. Il y a une concrétion, une pierre auditive, dans l'intérieur de la vésicule (1).

Aucun animal vertébré n'a l'organe auditif aussi simple que ceux dont il vient d'être question. Jadis on croyait que les Lamproies ressemblaient sous ce rapport aux animaux sans vertèbres; mais je me suis assuré qu'elles ont un labyrinthe compliqué et deux canaux semi-circulaires. Du reste, l'or-

(1) Voyez, sur l'organe auditif de l'Écrevisse et du Poulpe, E. H. WEBER, *De aure et auditu hominis et animalium*, Léipzig, 1820.