

plus  
quel  
vide-  
pira-  
par  
mais  
ation

## SEPTIÈME PARTIE

### ACOUSTIQUE

---

#### I

#### GÉNÉRALITÉS

Pour qu'un observateur éprouve une sensation sonore, il faut qu'il y ait une certaine région de l'espace où l'air soit mis en vibration, et que les vibrations ainsi produites puissent se transmettre jusqu'à l'oreille de l'observateur.

Le son peut se propager à travers les solides, les liquides ou les gaz, mais il ne peut franchir le vide puisqu'il ne s'y trouve rien pour vibrer et transmettre ainsi le son. Il est fort aisé de le démontrer expérimentalement. Prenons un ballon en verre, muni d'une garniture de cuivre et d'un robinet, dans lequel nous suspendrons une clochette; en agitant le ballon la clochette se met en mouvement, et le son qu'elle émet est entendu à travers l'air et les

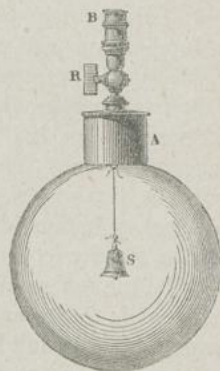


Fig. 570.

parois du ballon. Si maintenant, mettant l'orifice B en communication avec une machine pneumatique, nous diminuons la pression d'air à l'intérieur du ballon, le son faiblit peu à peu et disparaît complètement quand on arrive au vide.

De même si l'on remplace l'air par un gaz ayant, à une même pression, une masse moindre, l'hydrogène par exemple, le son est moins intense.

Le son se transmet facilement à travers les liquides et les

solides. Ainsi, quand un bateau à vapeur passe en mer, il suffit, pour entendre le bruit de l'hélice à une distance même considérable, de plonger la tête sous l'eau. D'autre part, si l'on vient à appliquer l'oreille contre l'extrémité d'une poutre en bois ou d'un tronc d'arbre coupé, on perçoit avec une intensité remarquable le moindre choc ou grattement exercé à l'autre extrémité. Cette expérience peut être variée de bien des façons.

Le son se propage avec une vitesse variable suivant la nature des milieux, la température, la pression, etc. On peut considérer en pratique que cette vitesse dans l'air est d'environ 333 mètres par seconde; dans l'eau elle est plus grande, 1 400 mètres environ; dans la fonte, plus grande encore, 3 500 mètres à peu près.

Il en résulte que s'il se produit un son en une région de l'atmosphère dans laquelle nous nous trouvons, nous ne percevons ce son qu'un certain temps après sa production. Ce retard est d'autant plus grand que l'on est plus éloigné de l'origine. Si nous sommes à 333 mètres du point où l'on tire un coup de fusil, nous ne percevons le coup de fusil qu'une seconde après qu'il est tiré. Comme, dans la pratique, par suite de la grande vitesse de la lumière, on peut considérer qu'il n'y a pas de retard appréciable pour la perception visuelle des phénomènes se produisant dans nos environs, il s'est écoulé une seconde entre le moment où nous voyons la lumière, ou la fumée du coup de fusil, et le moment où nous l'entendons. Ce procédé nous permet de déterminer la distance à laquelle se trouve l'origine d'un bruit qui nous parvient, si la cause de ce bruit est accompagnée d'un phénomène visible. Ainsi voici un éclair, puis un certain nombre de secondes plus tard le roulement du tonnerre, il nous suffit de multiplier ce nombre de secondes par 333 mètres pour avoir la distance à laquelle s'est produit le coup de foudre.

Quand un son se propage dans l'air il peut, en rencontrant un obstacle, se réfléchir comme le fait la lumière, ou même se réfracter. Ce dernier cas n'a pas pour nous grande importance pratique. Il n'en est pas de même de la réflexion qui, jointe aux faits qui viennent d'être exposés sur la vitesse de propagation du son, nous conduira aux conséquences les plus importantes. Supposons que l'on émette un son en un point A, vis-à-vis (fig. 571) d'un obstacle BB' qui réfléchira ce son; pour revenir au point A le son devra parcourir le chemin AC, puis le chemin CA, c'est-à-dire en tout une distance égale au double de AC. Pour fixer les idées



admettons que deux fois AC fassent 333 mètres, il est évident que l'observateur placé en A entendra en premier lieu le son qu'il vient d'émettre, puis une seconde plus tard la répétition de ce son. Il se sera produit ce que l'on nomme un écho. L'intervalle entre le son émis et l'écho varie avec la distance AC; pour que l'écho soit perceptible il faut que cet intervalle soit suffisant pour éviter la confusion entre les deux sons. On admet généralement que cette confusion ne se produit plus quand le deuxième son nous arrive un dixième de seconde après le premier; il est donc nécessaire que le double de AC soit au moins 33 m. 3 ou que AC ait environ 17 mètres. Par conséquent on perçoit l'écho quand on est à au moins 17 mètres de l'obstacle réfléchissant le son.

Il peut arriver que l'écho soit multiple, c'est-à-dire qu'après s'être réfléchi une première fois sur BB', le son se réfléchisse une seconde fois sur une autre surface, puis sur une troisième, etc. Ce phénomène se produit souvent dans la nature, et on en cite des exemples merveilleux dans certaines montagnes.

La réflexion du son peut être accompagnée d'une concentration. Il arrive en effet qu'une ondulation sonore issue d'un point A aille frapper une surface courbe, une voûte, un mur d'enceinte, donnant lieu à la formation d'un véritable foyer en A'. Certains bâtiments sont remarquables à cet égard, et il en résulte qu'un observateur placé en A' peut converser à voix basse avec un autre observateur placé en A sans qu'un sujet intermédiaire situé en B saisisse la conversation échangée.

Ces divers principes ont une importance capitale au point de vue de l'acoustique des salles de spectacle et des amphithéâtres. Faute d'en tenir compte on peut aboutir aux plus grands désappointements. S'il se produit des réflexions et des concentrations en certains points de la salle, il en résulte des échos et des superpositions de vibrations sonores qui rendent impossible la perception du son émis directement, ou du moins l'altèrent gravement et la rendent très pénible. On sait quelles différences il y a à ce point de vue entre les diverses constructions. Parfois dans une

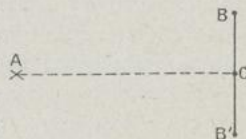


Fig. 571.

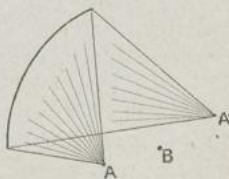


Fig. 572.

enceinte relativement petite, il est impossible de suivre un orateur alors que dans les immenses théâtres antiques, on saisit les nuances les plus délicates de la voix des acteurs à des distances prodigieuses.

Quand, par suite d'une erreur, l'acoustique d'une salle est défectueuse, il n'y a qu'un moyen d'y remédier, il faut chercher à supprimer les réflexions. On arrive à ce résultat au moyen de tentures, de rideaux, de tapis, d'une façon générale de substances molles dont on couvrira toutes les surfaces rigides. On atténue aussi ces réflexions par des réseaux de fils tendus devant les surfaces suspectes; les ondulations sonores en traversant ces réseaux s'y amortissent.

## II

### QUALITÉS DU SON

Deux sons peuvent différer entre eux par leur intensité, par leur hauteur, par leur timbre.

Prenons un corps sonore quelconque, un diapason, que nous mettrons en vibration, il pourra émettre des sons plus ou moins intenses suivant que ses vibrations seront plus ou moins amples. Ce diapason abandonné à lui-même donnera un son allant en diminuant d'intensité en même temps que le mouvement de ses branches s'éteint peu à peu. Il en est de même pour tout autre instrument sonore et l'on peut dire que l'intensité d'un son est, toutes choses égales d'ailleurs, directement liée à l'amplitude du mouvement vibratoire du corps qui l'émet. A mesure que l'on s'éloigne du corps, pour un même mouvement vibratoire, l'intensité du son va en diminuant. Malgré tous les efforts tentés on n'a pu jusqu'ici faire un bon appareil permettant de mesurer l'intensité des sons. Pour la lumière nous avons des photomètres; on n'a pas encore de bon acoumètre. Cette lacune est très regrettable pour la pratique de l'otologie, car l'acoumètre serait indispensable pour une juste appréciation de l'acuité auditive.

La deuxième qualité du son, sa hauteur, dépend du nombre de vibrations par seconde de l'air au voisinage de l'oreille. Chacun connaît l'impression produite par des sons de hauteur différente. C'est là une notion courante, il n'y a aucun intérêt à la décrire, on ne pourrait comprendre quelle impression en résulte à quel-



qu'un qui ne l'a pas éprouvée. De nombreux travaux ont établi les relations existant entre la hauteur des sons et le nombre des vibrations, et ont montré qu'il suffit de donner ce nombre de vibrations, pour fixer la hauteur, c'est-à-dire pour assigner à tous les sons divers une qualité commune bien connue de toutes les personnes possédant quelque notion de musique. Ainsi tous les sons ayant 435 vibrations à la seconde sont immédiatement reconnus pour être à la même hauteur que le *la* du diapason normal, quel que soit l'instrument par lequel il est émis, piano, clarinette ou voix humaine. Deux sons de même hauteur sont dits à l'unisson.

La hauteur d'un son est, sans discussion, sa qualité la plus importante, aussi généralement le premier renseignement donné sur un son est-il sa hauteur. Pour donner cette hauteur, la méthode la plus précise est d'indiquer son nombre de vibrations. Dans la pratique de la musique on n'emploie pas des sons de hauteur quelconque, l'expérience montre qu'ils ne produisent pas tous une impression agréable, et l'on a classé ceux qui sont utilisables suivant une nomenclature spéciale connue sous le nom de gamme.

On est parti de ce principe qu'en musique l'association des sons doit se faire en tenant compte du rapport des nombres de vibrations de ce son. Ainsi si deux sons ont l'un un nombre de vibrations double de l'autre, ils sont dits à l'octave, et leur succession produit sur une oreille éduquée une impression connue, toujours la même, quel que soit le premier de ces deux sons. Il en serait de même pour un autre rapport qui produirait aussi une sensation spéciale. Partant d'un premier son adopté par convention entre les musiciens, les sons successifs que l'expérience a montré être nécessaires sont avec le premier dans les rapports :

1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
---	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	----------------	---

et portent les noms de :

ut      ré      mi      fa      sol      la      si      ut

Cet ensemble constitue une octave de la gamme; les sons sont les notes de la gamme. L'*ut* de la fin de la ligne est à l'octave de celui du commencement et à partir de lui recommence une série pareille et ainsi de suite. On désigne chaque série par un indice placé à côté des notes, ainsi, une note étant écrite *fa*<sub>2</sub> ou *sol*<sub>4</sub>, on

saura immédiatement quelle est sa place. Au-dessous de la première octave il faut avoir recours à des indices négatifs. Ainsi on aura le  $sol_2$  ou le  $la_1$ .

Pour que toutes ces notes soient complètement définies il suffit de connaître le nombre de vibrations de l'une d'elles. Pour des raisons sur lesquelles il est inutile d'insister ici on a attribué 435 vibrations à la note écrite  $la_3$ .

Le rapport qui existe entre le nombre des vibrations de deux notes s'appelle l'intervalle. Souvent on définit la gamme par les intervalles successifs des notes qui se suivent, au lieu de prendre tous les rapports à l'*ut*; on a alors la série suivante :

$$\frac{9}{8} \quad \frac{10}{9} \quad \frac{16}{15} \quad \frac{9}{8} \quad \frac{10}{9} \quad \frac{9}{8} \quad \frac{16}{15}$$

On voit que l'on ne rencontre dans cette série que trois intervalles qui se retrouvent indéfiniment.  $\frac{9}{8}$  porte le nom de ton majeur,  $\frac{10}{9}$  de ton mineur, et,  $\frac{16}{15}$  de demi-ton.

Parfois les musiciens ne trouvent pas dans la série que nous venons de définir toutes les notes qui leur sont nécessaires, ils modifient alors ces notes en les *diésant* ou les *bémolisant*. Diéser une note c'est augmenter le nombre de ses vibrations dans le rapport  $\frac{25}{24}$ . Bémoliser une note c'est la diminuer dans ce même rapport. Ainsi l'*ut* dièse, qui s'écrit *ut*  $\sharp$ , est avec l'*ut* de la même octave dans le rapport  $\frac{25}{24}$ , tandis que le *si* bémol, qui s'écrit *si*  $\flat$  est avec le *si* de la même octave dans le rapport  $\frac{24}{25}$ .

Outre la gamme il y a une autre série de sons jouant aussi bien en musique que dans la physiologie de la parole un rôle considérable, c'est la série des harmoniques d'un son fondamental. Considérons un son quelconque faisant partie ou non de la gamme des musiciens, nous l'appellerons son fondamental. Il y a un autre son ayant un nombre de vibrations double, ce sera le premier harmonique; le son ayant trois fois plus de vibrations sera le deuxième harmonique et ainsi de suite, les harmoniques du son fondamental ont successivement 2, 3, 4, 5, etc., fois plus de vibrations que ce son fondamental.



Si l'on part d'une note de la gamme, certains des harmoniques pourront être aussi des notes de la gamme, mais il y en a qui tombent entre deux notes et sont ce que l'on appelle des sons faux, c'est-à-dire inutilisables en musique. Ainsi en partant de  $ut_1$ , les harmoniques sont successivement :

$ut_2$   $sol_2$   $ut_3$   $mi_3$   $sol_3$  A  $ut_4$ , etc.

Le sixième harmonique A n'est pas dans la gamme, il en serait de même pour le 10<sup>e</sup>, 12<sup>e</sup>, 13<sup>e</sup>, 16<sup>e</sup>, etc.

Nous allons voir l'importance des harmoniques.

Deux sons de même intensité et de même hauteur peuvent différer par leur timbre. Une harpe, une clarinette, un hautbois, une voix humaine, etc., donnant successivement avec une intensité analogue, la même note, le  $la_3$  par exemple, ne sont pas confondus les uns avec les autres. Cela tient à ce que ce  $la_3$  n'est jamais une note pure, un son fondamental unique. Du moins cela est extrêmement rare. Un diapason mis en vibration avec soin peut donner une note unique fondamentale, pour les autres instruments cette note est toujours accompagnée de certains de ses harmoniques. Non seulement on ne cherche pas à éviter ces harmoniques, mais c'est grâce à eux que l'on obtient la diversité des timbres et la richesse exceptionnelle de certains sons, tels ceux qui sont émis par les orgues.

Ceci est aisé à démontrer. Prenons une série de diapasons, le premier étant par exemple  $ut_1$ , et les autres donnant les harmoniques successifs. Mettons l' $ut_1$  en vibration, nous entendons un son fondamental pur, mais sourd, sans beauté. Ajoutons-lui successivement les sons de certains harmoniques, nous entendons peu à peu le son s'enfler et prendre un caractère de richesse n'appartenant à aucun des diapasons pris isolément.

Suivant les harmoniques que nous superposerons au son fondamental, nous aurons un timbre différent.

Par des expériences nombreuses on a cherché à montrer que c'est bien à cette superposition d'harmoniques au son fondamental qu'est dû le caractère du timbre.

Ces expériences ont été orientées dans deux voies différentes, on a opéré par analyse ou par synthèse.

Par analyse, on a recherché si l'on ne pouvait décomposer les sons des divers instruments, et un grand nombre d'observateurs ont cru reconnaître que dans tous les cas ils étaient formés par un

son fondamental auquel se superposent des harmoniques. Nous donnerons une idée de ces méthodes à propos de la description des résonnateurs.

Pour procéder par synthèse on a cherché à reproduire un son de timbre déterminé en faisant fonctionner simultanément divers instruments émettant l'un un son fondamental, les autres divers harmoniques du son fondamental.

Par exemple on prend une série de diapasons dont le plus grave donne l' $ut_1$ , les autres les harmoniques successifs. On met l' $ut_1$  en vibration, puis on ajoute les sons d'un ou plusieurs harmoniques convenablement choisis et l'on constate que l'ensemble prend un timbre différent suivant les harmoniques superposés, l'ensemble du son restant toujours à la hauteur de l' $ut_1$ . On peut arriver ainsi à déterminer quels sont les harmoniques à superposer au son fondamental pour lui donner le timbre cherché.

### III

#### PRODUCTION DES SONS

À part quelques exceptions, presque tous les instruments de musique sont basés sur deux dispositifs différents : il y a les instruments à cordes et les instruments à vent.

Quand une corde est tendue par ses deux extrémités, si l'on vient à l'écartier de sa position d'équilibre et qu'on l'abandonne ensuite à elle-même, elle se met à vibrer et l'on entend un son dont les qualités dépendent des conditions de l'expérience.

Le son sera plus ou moins intense suivant que la corde oscillera plus ou moins de part et d'autre de sa position d'équilibre, c'est-à-dire que les oscillations seront plus amples. Le son sera plus ou moins haut suivant le nombre d'oscillations de la corde à la seconde. Ce nombre d'oscillations dépendra de diverses conditions. Pour une même corde il est en raison inverse de la longueur de la corde et proportionnel à la racine carrée du poids tenseur. C'est-à-dire qu'en doublant la longueur de la corde, toutes choses égales d'ailleurs, le nombre de vibrations est réduit à moitié, le son descend d'une octave. Pour faire monter le son d'une octave, il faut quadrupler la tension exercée sur la corde. Ces deux règles suffisent pour expliquer comment les violonistes règlent la note donnée



par une des cordes de leur instrument en la tendant graduellement à l'aide des clefs, puis la font varier en raccourcissant plus ou moins la corde par la position donnée au doigt appuyé sur elle.

Si on attaque une corde, tendue entre A et A' (fig. 573), par son milieu, elle vibre en prenant des positions intermédiaires entre deux formes extrêmes. ABA', AB'A'. Elle rend alors un son dit

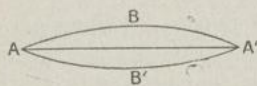


Fig. 573.

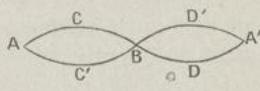


Fig. 574.

simple et fondamental. Mais on conçoit que cette même corde puisse, au lieu de donner sa note fondamentale, donner son premier harmonique. Il suffit pour cela d'attaquer la corde au quart de sa longueur en C, en touchant légèrement du doigt le milieu B (fig. 574). Ce milieu reste alors immobile, formant ce que l'on appelle un nœud de vibration. La corde prend alternativement des formes ACBDA', AC'BD'A', avec des formes intermédiaires donnant lieu à des ventres en C et D. Dans ces conditions le son émis est à l'octave aiguë du son donné par la corde vibrant dans les conditions du cas précédent, comme cela aurait lieu pour une corde de longueur moitié de AA'. On peut de même obtenir une

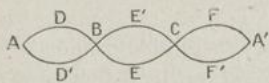


Fig. 575.

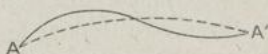


Fig. 576.

division en trois avec des nœuds en B, C et des ventres en D, E, F (fig. 575).

Or il arrive que suivant la façon dont une corde est attrapée soit par l'archet, soit par un pincement des doigts, il se superpose à la vibration de la forme fondamentale une ou plusieurs vibrations harmoniques. En nous tenant au premier de ces harmoniques la corde prend alors dans ses mouvements des formes dissymétriques comme celles représentées sur la figure 576. Elle rend ainsi le son fondamental en même temps que son premier harmonique. Un des talents de la personne qui met la corde en vibration est précisément de lui faire rendre un plus ou moins grand nombre d'harmoniques; c'est ce qui fait qu'une même note

donnée par une même corde est plus ou moins belle ou, comme on dit, chaude, suivant la personne qui manie l'archet.

Au lieu de faire vibrer une corde transversalement en l'écartant de sa position d'équilibre, puis l'abandonnant à elle-même, on peut la faire vibrer longitudinalement en la frottant avec un linge enduit de résine. On entend alors un son très aigu par rapport à ceux que nous venons d'étudier.

Si une corde métallique prend par rapport à la longueur une dimension transversale assez importante pour être rigide, il n'est pas nécessaire de la maintenir par ses deux extrémités. On l'encastre alors à un bout seulement ou par son milieu. On a alors ce que l'on nomme une verge vibrante qui peut vibrer transversalement ou longitudinalement suivant la façon dont elle est attaquée. Dans le second cas elle rend un son beaucoup plus aigu que dans le premier. Il n'y a pas lieu d'insister sur les lois qui relient le nombre de vibrations aux dimensions des verges vibrantes, car elles n'ont aucune application biologique.

La base des instruments à vent est le tuyau sonore, c'est-à-dire un tube creux, contenant de l'air que l'on fait entrer en vibration suivant des procédés différents sur lesquels on reviendra plus loin.

L'appareil destiné à mettre l'air du tuyau en vibration est placé à l'une des extrémités; cette extrémité est comme on dit ouverte, c'est-à-dire en communication avec l'atmosphère. L'autre extrémité est, suivant le cas, ouverte et fermée.

Un tuyau fermé donne la même note qu'un tuyau ouvert de longueur double. Ainsi un tuyau fermé d'un mètre de longueur et un tuyau ouvert de deux mètres sont à l'unisson.

Le son le plus grave que puisse donner un tuyau a, comme pour les cordes, un nombre de vibrations en raison inverse de sa longueur. Pour faire monter le son émis par un tuyau d'une octave, il faut le raccourcir de moitié.

Outre le son le plus grave que donne un tuyau, il peut aussi rendre certains harmoniques. Les tuyaux ouverts peuvent émettre tous les harmoniques du son fondamental, les tuyaux fermés ne peuvent donner que des harmoniques de rang pair.

Un tuyau fermé pourra donc émettre les sons dont le nombre de vibrations varie dans la proportion suivante : 1, 2, 3, 4, etc., tandis qu'un tuyau fermé ne peut rendre que ceux variant comme : 1, 3, 5, 7, etc. Comme dans un tuyau mis convenablement en vibration les harmoniques peuvent se superposer au son



fondamental, les tuyaux ouverts étant plus riches en harmoniques que les tuyaux fermés, les sons des premiers sont plus chauds que ceux des seconds.

Souvent, au lieu de faire parler un seul tuyau, on associe à ce tuyau une série d'autres tuyaux donnant, comme son fondamental, les harmoniques du premier. On arrive alors à produire un effet considérable. C'est l'artifice auquel on a recours dans les orgues.

Il faut remarquer que dans les tuyaux sonores c'est l'air qui vibre, et que la paroi n'a par elle-même aucune influence. Pour une même forme on pourra faire cette paroi en substance d'une nature quelconque, on aura toujours les mêmes résultats, que ce soit du métal, du bois ou tout autre corps, pourvu qu'il soit assez résistant pour ne pas se déformer sous l'influence des variations de pression se produisant dans le tuyau. Toutefois il n'en est plus de même quand cette paroi est molle, alors les choses changent avec l'état de cette paroi. On a reconnu par divers artifices qu'en certains points de la masse d'air vibrant dans le tuyau il se produisait simplement des mouvements, sans variation de pression appréciable; en d'autres points, au contraire, il n'y a pas de déplacements, mais des compressions et des décompressions. Les premières régions correspondent à ce que l'on appelle les ventres, les secondes aux nœuds.

On reconnaîtra qu'en une région l'air est en mouvement en y plaçant un petit plateau léger suspendu par trois fils et sur lequel on aura déposé un peu de sable (fig. 577). Aux nœuds il n'y aura aucun déplacement du sable puisqu'il ne s'y produit pas de mouvements de l'air; aux ventres on le verra sautiller sur le plateau, accompagnant les vibrations de l'air.

Pour reconnaître qu'aux nœuds il se produit des variations de pression et qu'il n'y en a pas aux ventres, on a recours à un artifice très ingénieux dû à König. Une petite caisse est divisée en deux par une cloison très mince en baudruche, *mn* (fig. 578). D'un côté on fait arriver du gaz d'éclairage sortant par un petit bec *b* que l'on allume. L'autre compartiment de la caisse est mis en communication, par un tube *a*, avec l'air à explorer. Si en *a* il ne se produit pas de variations de pression, la petite flamme *b* reste



Fig. 577.

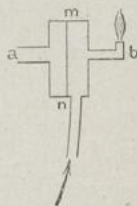


Fig. 578.



de hauteur constante, mais elle augmente et diminue, vibrant synchroniquement aux variations de pression se produisant en *a*. En effet lorsque la pression augmente, la membrane *mn* est refoulée et chasse un excès de gaz par *b*; quand la pression diminue il se produit au contraire une aspiration du gaz vers *mn*, et il en passe moins par *b*. Comme les mouvements de la petite flamme sont très rapides et qu'on ne peut les suivre à l'œil, on observe l'image de la flamme dans un miroir tournant autour d'un axe vertical. Si la flamme reste de hauteur constante, par suite de la persistance des impressions lumineuses sur la rétine, on voit une bande éclairée de hauteur uniforme correspondant aux diverses positions de l'image de la flamme. Mais si cette flamme vibre, augmentant et diminuant de hauteur, la bande est ondulée. Ces ondulations sont d'autant plus fréquentes que le son est plus élevé; en plaçant plusieurs petites flammes les unes au-dessus des autres, on peut ainsi comparer aisément divers sons produits aux orifices *a* des petites caisses. Ce petit appareil, très précieux pour diverses études, est généralement connu sous le nom de capsule manométrique ou flamme manométrique de König.

Il reste à voir comment on met en vibration la masse d'air contenu dans les tuyaux; on a recours soit au bec de flûte, soit aux anches.

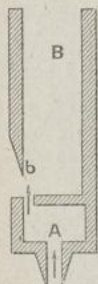


Fig. 579.

Dans le bec de flûte l'air arrive par un orifice *a* dans une chambre *A* placée à une extrémité du tuyau (fig. 579). Il s'échappe de cette chambre par cette fente placée vis-à-vis d'un biseau contre lequel le jet d'air se brise, cela suffit pour le faire entrer en vibration, le mécanisme du phénomène est d'ailleurs mal connu. La longueur du tuyau, *B* qui peut être ouvert ou fermé, réglera la position des ventres et des nœuds et la hauteur du son qui se produira. Toutefois la force du jet d'air n'est pas sans influence. Avec un souffle doux venant par *a*, le tuyau rend généralement son son fondamental, le plus bas qu'il puisse donner; si on force le vent, tout à coup on entend le son monter, il vient se produire un harmonique de rang d'autant plus élevé que l'on souffle plus fort. C'est même là parfois une difficulté; quand on veut donner un son grave, mais très ample, avec un tuyau ouvert, on risque toujours, en augmentant l'arrivée de l'air, de faire passer le son à l'octave; cet accident se produit très facilement. Il est moins fréquent de faire



passer un tuyau fermé à un harmonique, puisque nous avons vu que le premier de ces harmoniques, ne peut être rendu par un pareil tuyau ; on a donc plus de marge.

Les anches sont de modèles très différents, leur principe consiste à ouvrir et fermer alternativement un orifice d'arrivée d'air. Elles sont d'un maniement plus délicat que le bec de flûte qui n'a pas besoin de réglage, tandis que l'anche doit s'ouvrir et se fermer, périodiquement, suivant une loi synchrone aux oscillations de l'air dans le tuyau ; elles doivent donc être accordées.

Voici par exemple un modèle d'anche. L'air arrive dans une chambre séparée du tuyau proprement dit comme pour le bec de

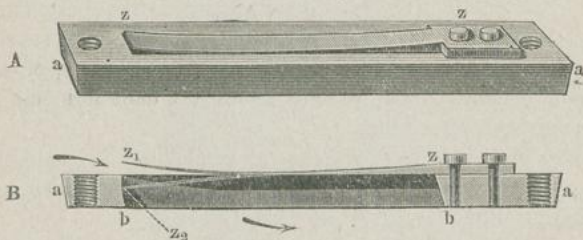


Fig. 580.

flûte. Dans la paroi de séparation on trouve une fenêtre rectangulaire allongée où peut se mouvoir une lame de ressort  $zz$  (fig. 580). Quand la pression augmente dans la chambre, le ressort se déprime et laisse passer l'air, puis il revient et ferme le passage, ainsi de suite. Si le ressort a un nombre de vibrations convenable, il ouvre et obture l'orifice de façon que les propulsions de l'air soient synchrones du son que doit rendre le tuyau, autrement dit le tuyau et l'anche doivent être à l'unisson.

La forme des anches varie suivant les instruments ; dans un certain nombre d'entre eux ce sont les lèvres qui en jouent le rôle : il en est ainsi dans le cor, la trompette, etc.

Les lèvres forment alors ce que l'on nomme une anche membraneuse. On obtient une anche membraneuse artificielle en tendant sur un orifice deux lames élastiques laissant entre elles une fente qui est fermée lorsque les lames sont au repos et s'ouvre périodiquement quand elles vibrent.

Lorsque les deux lames élastiques ne sont pas dans un même plan, elles forment ce que l'on appelle une anche en dedans ou en dehors suivant le sens du courant d'air. Prenons un tube sur

l'extrémité duquel on pratique des sections inclinées sur l'axe. Appliquons sur chacune de ces sections une lame de caoutchouc, comme l'indique la figure 581, de façon à limiter entre elles une fente.

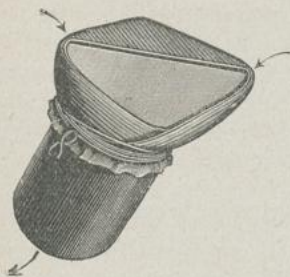


Fig. 581.

Lorsque le courant d'air ira à travers la fente de l'intérieur du tuyau vers l'extérieur, l'anche s'ouvrira dans le sens du courant, on dit qu'on a une anche en dehors. Il peut au contraire arriver, comme dans le cas des flèches de la figure, que pendant la vibration de l'anche, elle tende à se fermer sous l'influence du courant d'air, on a une

anche en dedans. Quand les deux lames sont dans le même plan, les anches sont dites libres.

Toutes choses égales d'ailleurs, les anches en dedans donnent un son plus grave que les anches libres, et les anches en dehors un son plus aigu.

## IV

## RÉSONNATEURS

Le résonnateur est un appareil d'analyse des sons extrêmement précieux; il a été introduit dans la science par Helmholtz.

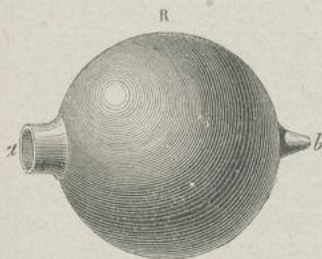


Fig. 582.

Le plus souvent il a la forme d'une sphère creuse portant deux ouvertures, l'une un peu plus grande que la seconde; toutes deux sont munies d'un petit prolongement tubulaire, comme l'indique la figure 582. La propriété essentielle du résonnateur est que la masse d'air qui y est contenue donne en vibrant un son fondamental que l'on entend se

produire avec force chaque fois que l'on approche de l'orifice *a* un instrument rendant lui-même ce son fondamental. Ceci est particulièrement net si on introduit le bout *b* dans l'oreille. Ainsi

si l'on  
plutôt  
pas à  
que e  
réson  
d'autr  
contie  
nateu

le son  
en vi  
Au  
ainsi  
ou r  
mett  
voir  
tour  
La  
mier



si l'on produit devant l'orifice *a* une série de sons, ils paraîtront plutôt étouffés par le voisinage du résonnateur, tant qu'ils ne sont pas à l'unité du son fondamental de ce résonnateur, mais aussitôt que ce son est émis, on l'entend considérablement renforcé par le résonnateur. Ceci a lieu que le son soit unique ou accompagné d'autres sons. Lorsque donc on veut rechercher si un son complexe contient l' $ut_1$ , par exemple, on produira ce son à l'orifice du résonnateur ayant pour son fondamental l' $ut_1$ . Si l' $ut_2$  est absent dans

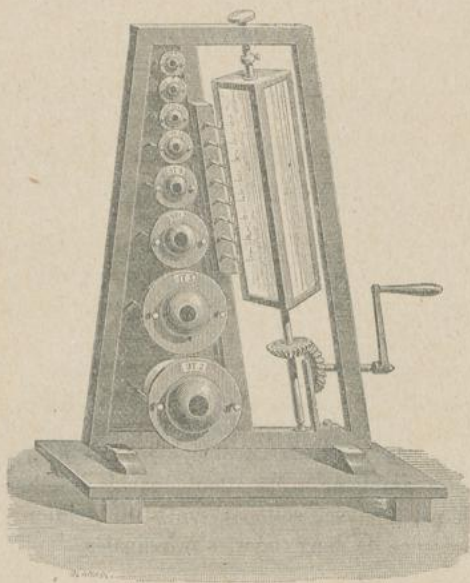


Fig. 583.

le son étudié, le résonnateur restera silencieux, sinon il entrera en vibration.

Au lieu d'introduire le bout *b* dans l'oreille et s'en rapporter ainsi à une impression pour saisir si le résonnateur fonctionne ou non, ce qui peut être délicat dans les sons faibles; on peut mettre *b* en communication avec une capsule manométrique et voir si la flamme vibre ou non en l'observant dans un miroir tournant.

La figure 583 représente une série de résonnateurs dont le premier donne l' $ut_2$  et les suivants ses premiers harmoniques. Quand

on veut rechercher si un son contient une de ces notes, on met le miroir en rotation, on produit le son devant l'instrument et l'on regarde quelles sont les flammes qui vibrent. On en conclura aussitôt que les notes correspondantes entrent dans le son complexe étudié.

On conçoit que l'emploi des résonnateurs fournisse un des procédés d'analyse des sons les plus précieux.

## V

## PHONATION ET AUDITION

Il n'y a pas actuellement, dans toute la Physique biologique, de question plus mal connue que celle de la production de la voix et que celle de l'audition.

Prenons le point qui semble le plus simple, le plus accessible à l'expérience, celui que de nombreux observateurs et des meilleurs, ont pris comme sujet d'étude, et que nous pouvons formuler de la façon suivante :

Par quoi les diverses voyelles se distingent-elles les unes des autres? Une personne chante successivement, sur la même note pour simplifier la question, un A, un O et un I, en quoi les sons caractéristiques de ces trois voyelles seront-ils différents les uns des autres? Ce problème a été attaqué par des méthodes les plus variées, soit par analyse, soit par synthèse, et aujourd'hui on se trouve en présence de deux théories principales, peut-être fausses toutes deux.

Certains auteurs pensent que les diverses voyelles se caractérisent par la superposition au son fondamental d'un ou de plusieurs harmoniques déterminés; les voyelles seraient donc des sons de timbre différent. Ainsi l'A, l'O, l'I, etc., chantés successivement sur le  $la_3$  se composeraient de la note  $la_3$ , plus certains harmoniques du  $la_3$ , déterminés pour chacune des voyelles. Par exemple pour l'A ce serait toujours le  $n^{\circ}$  harmonique, pour l'O le  $p^{\circ}$ , qui se superposerait au son fondamental.

Pour d'autres auteurs la chose serait toute différente, chaque voyelle aurait une *vocable*, c'est-à-dire une note fixe qui la caractériserait. Ainsi quelle que soit la note sur laquelle on chanterait l'A, le son se composerait de cette note à laquelle se superposerait la

note  
varie  
doive  
hom  
diver  
qu'u  
dans  
 $sol_2$   
dont

Ce  
la vo  
nant  
gera  
vocab  
si<sub>2</sub> fi

Do  
tion,  
lors

Ma  
Où et  
Per

son é  
près c  
ment  
ainsi  
de di  
laquel

Or  
fausse

Il s  
directe  
sous le

Loo  
tuyaux  
tout u  
produi  
peau c

La fi  
senté l  
de cyc



note  $si_4^b$ ; pour l'O ce serait le  $si_3^b$ ; pour l'I le  $si_0^b$ . Les vocables varient suivant les expérimentateurs, on conçoit d'ailleurs qu'elles doivent changer suivant le sujet qui parle. Tous les chanteurs hommes peuvent donner facilement le  $sol_2$ , or une basse chantant diverses voyelles sur le  $sol_2$ , ne produit pas la même impression qu'un ténor répétant cet exercice, on ne peut donc pas dire que dans les deux cas le son se composait pour A de la superposition  $sol_2 - si_4^b$ , pour O, de  $sol_2 - si^b$ , etc. Il y a évidemment un élément dont on ne tient pas compte.

Certains expérimentateurs font une concession et pensent que la vocable est légèrement variable, et qu'un même chanteur donnant la voyelle A dans l'étendue de son registre, la vocable changera peu à peu. Pour l'A en question, suivant L. Hermann, la vocable est comprise entre  $mi_4$  et  $sol_4^z$ ; nous n'en sommes plus au  $si_4^z$  fixe, qui se trouve même en dehors de ces limites.

Donc, actuellement, et c'est la partie la plus simple de la question, nous ne savons pas quelle est la constitution des sons émis lors de la parole, même dans les cas les plus élémentaires.

Mais la question de la parole se pose encore d'une autre façon. Où et comment se produit le son? Comment le son se modifie-t-il?

Pendant longtemps on a admis comme presque évident que le son était produit par les cordes vocales inférieures, vibrant à peu près comme des lames de caoutchouc et transmettant leur mouvement vibratoire à l'air comme le fait une corde sonore. Le son ainsi émis se transformerait par renforcement ou étouffement de divers harmoniques suivant la forme donnée à la bouche, laquelle fonctionnerait simplement comme un résonnateur.

Or aujourd'hui cette idée est considérée comme complètement fautive par un grand nombre de savants.

Il semblerait plus probable que la production des sons est liée directement à l'existence du remous et de tourbillons d'air, décrits sous le nom de cyclones de Lootens.

Lootens a montré l'existence de ces cyclones dans les divers tuyaux sonores, et parmi les divers faits cités par lui il y en a surtout un qui doit nous frapper; c'est la facilité avec laquelle se produisent les sons avec accompagnement de cyclones dans l'appareil des chasseurs.

La figure 584, I représente un de ces appeaux et l'on y a représenté la direction du courant d'air qui le traverse avec formation de cyclones. Cet effet se produit pour des pressions d'air extrê-

mement faibles. Si l'on jette maintenant un coup d'œil sur une coupe des ventricules de Morgagni (fig. 584, II), il devient évident qu'ils sont tout disposés à produire, sous l'influence d'un courant d'air chassé par la trachée, des cyclones analogues à ceux de l'appareil et par suite à émettre un son.

Cette manière d'envisager la production des sons dans la voix parlée ou chantée n'est encore qu'à l'état d'ébauche, il semble toutefois que cette orientation nouvelle doive être plus féconde en résultats que celle suivie jusqu'ici, qui n'a conduit à aucun résultat satisfaisant.

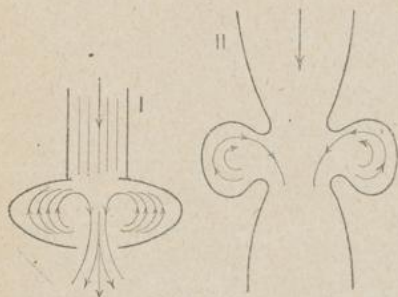


Fig. 584.

ne savons plus ce que devient ce son. Sans doute il se transmet à l'oreille interne par l'intermédiaire du tympan et de la chaîne des osselets, mais quel est exactement le rôle de chacun de ces organes, voilà ce que nous ne pouvons préciser. Nous sommes dans l'ignorance la plus totale, quant aux causes qui nous permettent d'apprécier la différence de hauteur de deux notes. Y a-t-il des organes différents pour la perception des sons plus ou moins élevés, ou les mêmes organes sont-ils impressionnés d'une façon différente, autant de questions sans réponse.

C'est donc l'acoustique qui nous offre actuellement encore le champ de recherches le moins bien exploré de la physiologie des organes des sens, car on peut dire que l'étude de la phonation et de l'audition doit être reprise à partir des éléments de la question.