CHAPITRE III

VIBRATIONS DES GAZ. — TUYAUX SONORES.

694. **Les sons produits par les tuyaux sonores sont dus aux vibrations du gaz intérieur.** — On donne le nom général de *tuyaux sonores* à des tuyaux dont on fait usage dans les orgues, et que l'on met en vibration en y amenant un courant d'air au moyen d'une soufflerie. — Ils se distinguent en *tuyaux à bouche* et *tuyaux à anche*.

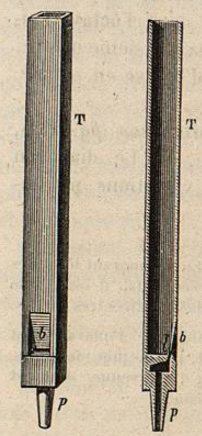

Fig. 528. Fig. 529.
Tuyau à bouche.

Dans les *tuyaux à bouche*, le vent arrive par le *pied p* (*fig.* 528 et 529), traverse la fente *l* qu'on nomme la *lumière*, et vient frapper contre le biseau *b* qui constitue la *lèvre supérieure*. Les vibrations de la lèvre *b* se communiquent à l'air du tuyau, et déterminent, dans la colonne d'air intérieure, des vibrations très intenses, en raison de la combinaison des mouvements dus à plusieurs systèmes d'ondes sonores, comme nous le ferons concevoir un peu plus loin (*).

Pour constater le mouvement vibratoire de l'air intérieur, on place, sur une soufflerie (*fig.* 530), un tuyau T (*fig.* 531), ouvert à sa partie supérieure et dont l'une des faces est en verre. — La soufflerie se com-

(*) L'expérience montre que la nature des parois du tuyau ne modifie pas la hauteur du son, au moins lorsque ces parois sont suffisamment épaisses; elle n'a guère d'autre influence que de donner au son un *timbre* ou un autre, selon qu'elles sont en métal ou en bois.

Cependant lorsque les parois d'un tuyau ont une très faible épaisseur, elles peuvent, en entrant elles-mêmes en vibration, arriver à modifier la *hauteur* du son. Pour le démontrer, on monte sur la soufflerie deux tuyaux de mêmes dimensions, mais dont l'un a une paroi épaisse, de bois ou de métal, et l'autre une paroi de papier. Le son du second tuyau est plus grave que celui du premier; il peut même s'abaisser de près d'une octave, lorsqu'on vient à mouiller le papier.

Dans tout ce qui va suivre, nous supposerons les expériences faites avec des tuyaux à parois suffisamment résistantes, pour qu'on n'ait à considérer que les vibrations de l'air intérieur.

pose d'un soufflet S, que l'on met en mouvement au moyen de la pédale P, et qui comprime l'air dans la caisse ou *sommier* AB. La face supérieure de cette caisse est percée d'un certain nombre de trous, qu'on peut ouvrir à volonté en pressant sur les touches *t,t,t*..., de manière à amener le vent dans tel ou tel tuyau. — Le tuyau T étant

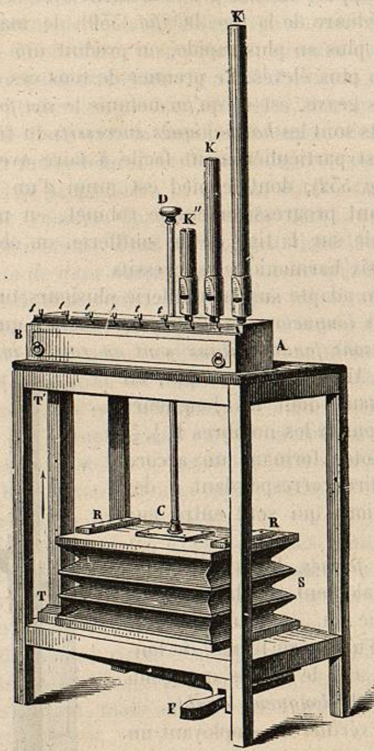

Fig. 530. — Soufflerie.

Fig. 531.

assujetti dans l'une de ces ouvertures, si on le fait parler et qu'on y introduise, à l'aide d'un fil de soie, une membrane de baudruche, tendue sur un anneau rigide S et couverte de sable fin, on voit le sable s'agiter, et cela pour chacune des positions successives que l'on donne à la membrane dans la colonne d'air, sauf en certains points que nous indiquerons plus loin. Cette colonne est donc le siège d'un mouvement vibratoire.

On distingue les tuyaux à bouche en *tuyaux ouverts* et *tuyaux fermés*, selon que l'extrémité opposée à la bouche est ouverte, ou fermée par une paroi solide. — Cette distinction est essentielle à faire pour l'étude des lois que nous allons indiquer.

695. **Loi des longueurs.** — En plaçant un tuyau sur une soufflerie, et en amenant d'abord faiblement le vent, on lui fait rendre un son de hauteur déterminée; si l'on appuie ensuite graduellement avec la main sur le soufflet, par l'intermédiaire de la tige DC (*fig.* 530), de manière à rendre le courant d'air de plus en plus rapide, on produit une série de sons de plus en plus élevés. Le premier de tous ces sons, c'est-à-dire le plus grave, est ce qu'on nomme le *son fondamental;* les suivants sont les *harmoniques successifs* du tuyau. — L'expérience est particulièrement facile à faire avec un tuyau étroit T (*fig* 532), dont le pied est muni d'un robinet R : en ouvrant progressivement le robinet, en même temps qu'on appuie sur la tige de la soufflerie, on obtient aisément cinq ou six harmoniques successifs.

Fig. 532.

Si maintenant on adapte sur la soufflerie plusieurs tuyaux *ouverts, de diverses longueurs* (*fig.* 530), on constate que *les hauteurs de leurs sons fondamentaux sont en raison inverse des longueurs.* — Ainsi, par exemple, en prenant trois tuyaux dont les longueurs soient entre elles comme les nombres $1, \frac{4}{5}, \frac{2}{3}$, on obtient trois notes formant un accord parfait, c'est-à-dire correspondant à des nombres de vibrations qui sont entre eux comme $1, \frac{5}{4}, \frac{3}{2}$.

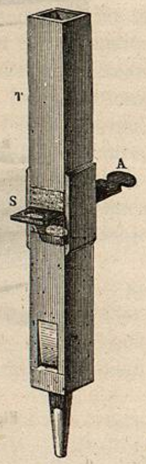

Fig. 533.

Pour les tuyaux *fermés,* les sons fondamentaux varient également avec la longueur, et suivant la même loi. — Seulement, le son fondamental d'un tuyau fermé, de longueur déterminée, est le même que celui d'un tuyau ouvert de *longueur double.* — C'est ce qu'on peut vérifier en employant un tuyau T (*fig.* 533), traversé en son milieu par une coulisse AS, dont l'une des moitiés est pleine et dont l'autre moitié est percée d'une large ouverture. Selon que l'on pousse cette coulisse dans un sens ou dans l'autre, on obtient un tuyau fermé ou un tuyau ouvert de longueur double. Dans les deux cas, le son fondamental est le même.

Enfin, si l'on adapte sur la soufflerie plusieurs tuyaux de même longueur et de diamètres différents, on constate que *la hauteur du son est indépendante du diamètre,* pourvu que le diamètre du tuyau soit inférieur au dixième de sa longueur.

696. **Production des noeuds fixes et des ventres fixes, dans les tuyaux sonores.** — Si l'on assimile le mouvement vibratoire produit par l'air dans un tuyau au mouvement que produisent les vibrations d'une lame mobile, il résulte de ce que nous avons vu (673) que ce mouvement doit donner naissance à une série d'ondes, formées chacune d'une demi-onde condensée et d'une demi-onde dilatée, et se propageant de la bouche vers l'extrémité opposée. — Or, si l'on considère d'abord un tuyau *fermé,* chacun des éléments de ces ondes, à mesure qu'il arrive sur le fond du tuyau, éprouve une réflexion : de là, la production d'ondes réfléchies, marchant en sens inverse, c'est-à-dire du fond vers la bouche du tuyau. Ces deux mouvements se propagent indépendamment l'un de l'autre, comme deux systèmes d'ondulations se propagent à la surface d'une eau tranquille et se traversent sans se troubler. Chaque tranche d'air du tuyau est donc animée, à chaque instant, d'un mouvement dont la vitesse vibratoire est *la résultante de deux autres,* savoir : celle qui lui serait communiquée par l'onde directe seule, et celle qui lui serait communiquée par l'onde réfléchie : cette vitesse résultante est égale à la *somme* des vitesses composantes, quand celles-ci sont de même sens, et à leur *différence,* quand elles sont de sens contraires. — De même, la compression ou la dilatation d'une tranche quelconque, à chaque instant, est la résultante des compressions ou des dilatations que chacun des deux mouvements vibratoires y produirait, s'il existait seul.

En tenant compte de la superposition de ces effets, la théorie montre qu'il se forme dans le tuyau :

1° Des *nœuds fixes,* c'est-à-dire des tranches où la vitesse vibratoire résultante est constamment nulle, mais où la compression ou la dilatation est plus grande que dans toute autre tranche voisine, au même instant;

2° Des *ventres fixes,* c'est-à-dire des tranches où la vitesse vibratoire résultante est plus grande que celle de toutes les tranches voisines, au même instant, mais où il n'existe, à aucun instant, ni compression, ni dilatation.

Semblablement, dans un tuyau *ouvert,* chacune des ondes directes, en arrivant à l'extrémité du tuyau, éprouve une réflexion sur l'atmosphère extérieure, et donne naissance à une onde réfléchie, se propageant en sens inverse. — Mais les positions des nœuds et des ventres, par rapport à l'extrémité du tuyau, ne sont pas les mêmes que dans les tuyaux fermés. Cette différence tient à ce que dans un tuyau *fermé,* une demi-onde directe condensée, en se réfléchissant sur le fond, donne naissance à une demi-onde réfléchie condensée; tandis que, à l'extrémité d'un tuyau *ouvert,* une demi-onde directe *condensée* donne naissance à une demi-onde réfléchie *dilatée,* et réciproquement.

Nous nous contenterons de constater, par l'expérience, la production des nœuds fixes et des ventres fixes, et d'en déterminer approximativement la position.

697. **Vérifications expérimentales.** — L'expérience qui a été ndiquée plus haut, et qui consiste à introduire successivement en divers points d'un tuyau une membrane couverte de sable (*fig.* 531), suffit pour constater la production de nœuds et de ventres fixes. Dans les nœuds, la membrane n'accuse aucun mouvement vibratoire; dans les ventres, elle accuse un mouvement vibratoire dont l'amplitude est plus grande que dans tous les points voisins. — On trouve ainsi, par exemple, que, dans un tuyau ouvert rendant le son fondamental, il se produit un seul nœud au milieu du tuyau, et un ventre à chacune des extrémités. — Si l'on passe ensuite du son fondamental à des harmoniques de plus en plus élevés, le nombre des nœuds et des ventres augmente suivant une loi qui sera indiquée plus loin.

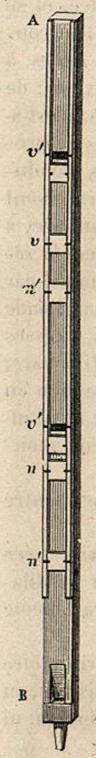

Fig. 534. Nœuds et ventres de vibration.

Voici maintenant des expériences qui permettent de caractériser les nœuds et les ventres par les différences que présentent les *variations de pression* de l'air intérieur.

Pour vérifier que, dans les *ventres*, il ne se produit ni compression ni dilatation de l'air intérieur, on emploie un tuyau prismatique de bois (*fig.* 534), présentant dans l'une de ses faces une série de petites ouvertures transversales, *v'*, *v*, *n'*....., que l'on peut ouvrir ou fermer à volonté au moyen de petites plaques de bois mobiles à coulisse. — En faisant rendre au tuyau l'un de ses harmoniques, on constate que l'on peut démasquer certaines de ces ouvertures sans que le son soit modifié. Les tranches d'air correspondantes sont précisément celles où se forment des *ventres*, pour l'harmonique dont il s'agit : en effet, il ne s'y produit, pendant la vibration, ni compression, ni dilatation, puisqu'on peut mettre ces points en communication avec l'air extérieur sans altérer le son. Nous verrons plus loin quelle est la position des ventres pour un harmonique déterminé. — En tous les autres points, dès qu'on vient à démasquer une ouverture dans la paroi du tuyau, on détermine la production d'un son tout différent.

Pour vérifier que, dans les *nœuds*, il se produit une succession de compressions et de dilatations plus grandes que dans les autres points, on peut employer la disposition suivante, qui est due à M. Kœnig. — Dans la paroi d'un tuyau de bois (*fig.* 535), on a assujetti de petites capsules qui ont la forme de petites boîtes plates, limitées du côté de l'extérieur par une plaque de bois, et du côté de l'intérieur par une

membrane de caoutchouc. On y fait arriver du gaz d'éclairage par un tuyau latéral T, et on allume le gaz à l'extrémité des petits becs *n*,*v*,*n'*, qui correspondent à chacune des capsules. — Tant que le tuyau ne

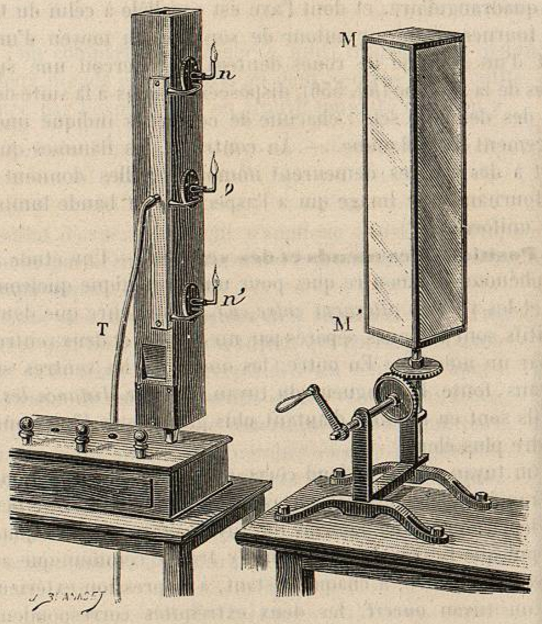

Fig. 535. — Expérience de Kœnig

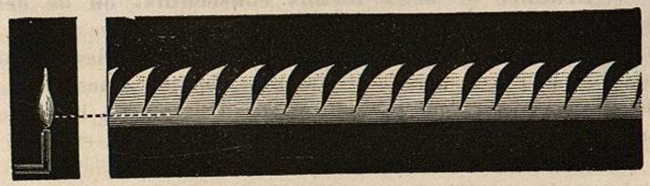
Fig. 536.

parle pas, toutes les flammes restent immobiles. Dès qu'on met le tuyau en vibration, certaines de ces flammes s'allongent et se raccourcissent périodiquement; ce sont celles qui correspondent à des *nœuds* : en ces points, les compressions et les dilatations périodiques de l'air intérieur se transmettent au gaz de la capsule par la membrane de caoutchouc, et font ainsi varier la longueur de la flamme (*). — Ces oscillations de la flamme sont d'ailleurs trop rapides pour être facilement perceptibles, quand on regarde les flammes directement. On dispose alors, en regard du tuyau, un miroir MM', qui a la forme d'un prisme quadrangulaire, et dont l'axe est parallèle à celui du tuyau. En faisant tourner ce miroir autour de son axe, au moyen d'une manivelle et d'un système de roues dentées, on aperçoit une succession d'images de la flamme (*fig.* 536), disposées les unes à la suite des autres comme des dents de scie : chacune de ces dents indique une période d'allongement de la flamme. — Au contraire, les flammes qui correspondent à des ventres demeurent immobiles ; elles donnent dans le miroir tournant une image qui a l'aspect d'une bande lumineuse de largeur uniforme (**).

698. **Positions des nœuds et des ventres.** — Une étude attentive de ces phénomènes montre que, pour un harmonique quelconque, les nœuds et les ventres *alternent entre eux*, c'est-à-dire que deux nœuds consécutifs sont toujours séparés par un ventre, et deux ventres consécutifs par un nœud. — En outre, les nœuds et les ventres successifs sont, dans toute la longueur du tuyau, *à égale distance les uns des autres*. Ils sont en nombre d'autant plus grand que l'harmonique est d'un ordre plus élevé.

Dans un tuyau *fermé*, le fond correspond toujours à un nœud, puisque la tranche d'air qui est en contact avec le fond ne peut subir aucun déplacement. La bouche du tuyau correspond toujours à un ventre, puisque la tranche d'air qui s'y trouve communique avec l'atmosphère et doit être, à chaque instant, à la pression extérieure.

Dans un tuyau *ouvert*, les deux extrémités correspondent à des ventres, puisqu'elles sont l'une et l'autre en communication avec l'atmosphère.

699. **Distance de deux nœuds consécutifs, ou de deux ventres consécutifs.** — Prenons un tuyau quelconque, ouvert ou fermé, et faisons-lui rendre l'un de ses harmoniques. Déterminons, avec la sirène par exemple, le nombre n de vibrations, dans l'unité de temps, pour le son dont il s'agit. Si l'on désigne par λ la longueur particulière de l'onde sonore qui correspond à ce son, et par v la

(*) Lorsque le courant de gaz est réglé de manière que les flammes soient très petites, la vibration a pour effet d'éteindre brusquement celles qui correspondent à des nœuds.

(**) Le tuyau représenté par la figure 535, qui est un tuyau *ouvert*, porte trois capsules, situées au *premier quart*, au *second quart*, et au *troisième quart* de sa longueur. Lorsqu'on fait rendre à ce tuyau son premier harmonique, c'est-à-dire celui qui est immédiatement au-dessus du son fondamental, l'observation des flammes montre que la tranche du milieu v correspond à un ventre, et que les tranches n et n' correspondent à des nœuds. — Ce résultat particulier rentre, comme on va le voir, dans la loi générale qui sera indiquée plus loin.

vitesse de propagation du son dans l'air, nous avons vu (676) que l'on a, en général, $v = n\lambda$, et par suite :

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

Or, si l'on compare la longueur λ, ainsi trouvée, à la distance D qui sépare deux nœuds consécutifs, ou deux ventres consécutifs, distance déterminée par l'expérience, on trouve toujours que l'on a

$$D = \frac{\lambda}{2}.$$

Ce résultat d'expérience, qui s'applique à un harmonique quelconque, va nous permettre de déterminer *à priori* les lois des harmoniques, pour chaque espèce de tuyaux.

700. **Lois des harmoniques des tuyaux.** — 1° *Tuyaux fermés.* — Soient n (*fig.* 537) le fond du tuyau, qui correspond à un nœud ; v'' la bouche, qui correspond à un ventre. D'après ce qu'on vient de voir, les nœuds et les ventres intermédiaires, pour un harmonique déterminé, diviseront toujours la longueur nv'' en un nombre *impair* de parties, égales *au quart de la longueur d'onde* de cet harmonique. Si donc on désigne par L la longueur du tuyau, par $2p+1$ le nombre de ses subdivisions, et par λ la longueur de l'onde correspondante, on aura

$$(1) \qquad L = (2p+1)\frac{\lambda}{4}.$$

Fig. 537.

Si $p = 0$, c'est-à-dire s'il n'y a ni nœud ni ventre entre la bouche et le fond du tuyau, le tuyau rend le *son fondamental*, et l'on a $\lambda = 4L$, c'est-à-dire que *la longueur d'onde qui correspond au son fondamental d'un tuyau fermé est égale à 4 fois la longueur de ce tuyau.*

Si, dans la relation (1), on remplace la longueur d'onde λ par sa valeur $\frac{v}{n}$, il vient $L = (2p+1)\frac{v}{4n}$; d'où

$$n = (2p+1)\frac{v}{4L}.$$

Pour avoir les nombres de vibrations du son fondamental et des harmoniques successifs du tuyau, on devra, dans cette formule, donner successivement à p toutes les valeurs entières, 0,1,2,3,... La quantité $2p+1$ devient alors successivement égale aux nombres impairs

1,3,5,7,...; et comme $\frac{v}{4L}$ est constant, on est conduit à la loi suivante : *Les nombres des vibrations qui correspondent au son fondamental et aux harmoniques successifs d'un tuyau fermé varient comme les nombres impairs consécutifs.* — C'est ce que vérifie l'expérience, par la détermination des intervalles musicaux entre le son fondamental et les harmoniques successifs du tuyau.

2° *Tuyaux ouverts.* — Soit v (*fig.* 538) l'extrémité ouverte du tuyau, qui correspond à un ventre; soit v''' la bouche, qui correspond également à un ventre. Pour un harmonique quelconque, les nœuds et les ventres intermédiaires diviseront toujours la longueur vv''' en un nombre *pair* de parties, égales au quart de la longueur d'onde de cet harmonique; on aura donc

Fig. 538.

$$L' = 2p'\frac{\lambda}{4} = p'\frac{\lambda}{2}, \tag{2}$$

L' étant la longueur du tuyau et $2p'$ le nombre de ses subdivisions. Si, dans cette relation (2), on remplace λ par $\frac{v}{n}$, il vient $L' = p'\frac{v}{2n}$; d'où :

$$n = p'\frac{v}{2L'}.$$

Pour avoir les nombres de vibrations du son fondamental et des harmoniques successifs du tuyau, on devra donner à p' les valeurs 1, 2, 3, 4...; ce qui conduit aux deux résultats suivants : *Dans un tuyau ouvert, la longueur d'onde du son fondamental est double de la longueur du tuyau. — Les nombres de vibrations du son fondamental et des divers harmoniques varient comme les nombres entiers successifs.* C'est ce que l'expérience vérifie, par la détermination des intervalles musicaux entre le son fondamental et les harmoniques successifs (*).

(*) Ces formules comprennent également les lois auxquelles sont soumis les sons *fondamentaux*, pour des *tuyaux de longueurs différentes* (695).

En effet, pour un tuyau *fermé*, on a, en faisant $p = 0$ dans la formule qui donne la valeur générale de n, et désignant par n_1 le nombre de vibrations du son fondamental :

$$n_1 = \frac{v}{4L};$$

ce qui montre que le nombre de vibrations de ce son est inversement proportionnel à la longueur du tuyau.

De même, pour un tuyau *ouvert*, en faisant $p' = 1$, on a, pour le son fondamental,

$$n'_1 = \frac{v}{2L'},$$

* 701. **Détermination de la vitesse du son dans les gaz, au moyen des tuyaux sonores.** — Supposons qu'on fasse rendre à un tuyau sonore, ouvert ou fermé, un harmonique d'un certain ordre, et qu'on détermine, par l'expérience, la distance D qui sépare deux nœuds consécutifs. La longueur de l'onde correspondante étant égale à 2D, si l'on désigne par n le nombre de vibrations par seconde, et par v la vitesse de propagation du son dans l'air, on aura

$$v = 2Dn. \tag{1}$$

Faisons parler le même tuyau avec un gaz autre que l'air, et amenons-le à donner l'harmonique *de même ordre*, caractérisé par la même distance D de deux nœuds consécutifs; si n' est le nombre de vibrations, et v' la vitesse du son dans ce gaz, on aura

$$v' = 2Dn'. \tag{2}$$

De ces égalités (1) et (2), on tire : $\frac{v'}{v} = \frac{n'}{n}$, ou $v' = v \times \frac{n'}{n}$; la vitesse v dans l'air étant supposée connue par des expériences directes (671), on en déduira la vitesse v'. — Dulong a mesuré par cette méthode les vitesses du son dans un certain nombre de gaz.

702. **Vitesse du son dans les liquides.** — On peut déterminer d'une manière semblable la vitesse du son dans un liquide, dans l'eau par exemple. Un tuyau étant plongé complètement dans l'eau, on le fait parler en y amenant un courant d'eau, et on détermine le nombre de vibrations n' qui correspond à un harmonique déterminé; puis, le nombre de vibrations n qui correspond au même harmonique lorsque le tuyau vibre dans l'air. On a encore : $v' = v \times \frac{n'}{n}$, ce qui donne la valeur de la vitesse de propagation v' dans l'eau, connaissant la vitesse v dans l'air. — Wertheim a appliqué cette méthode à un certain nombre de liquides : cette méthode est évidemment plus générale que la méthode de détermination directe qui avait été appliquée à l'eau par Sturm et Colladon (672).

703. **Tuyaux à anche.** — Outre les *tuyaux à bouche*, on emploie encore, dans les orgues, des *tuyaux à anche*, dans lesquels le mode d'ébranlement de l'air est différent.

Une *anche* est une petite lame élastique, fixée par une de ses extrémités et mise en vibration par un courant d'air. — Dans les tuyaux employés pour la construction des orgues, l'anche se place ordinairement à la partie supérieure. — On distingue les anches en *anches battantes* et *anches libres*.

Dans l'*anche battante* (*fig.* 539), la lame élastique l vient s'appliquer

ce qui donne encore la même loi. — Enfin, pour que n'_1 soit égal à n_1, il suffit que L' soit égal à 2L, ce qui conduit à ce résultat déjà énoncé (695): le son fondamental d'un tuyau fermé est le même que celui d'un tuyau ouvert *de longueur double*.

sur les bords d'une petite rigole *r*, fermée à sa partie inférieure par une petite cloison horizontale. L'air amené dans le tuyau T ne peut s'échapper qu'en soulevant la lame *l*; celle-ci revient, en vertu de son élasticité, pour se soulever de nouveau, et ainsi de suite. Elle accomplit donc une série de vibrations, en frappant à chaque fois les bords de la rigole; il en résulte un son, dont la hauteur dépend de la longueur de la partie vibrante ou *languette*. On règle cette longueur au moyen de la *rasette*, formée par un fil de fer replié *f*, qui appuie en *z* sur la languette. — Le son que rend l'anche battante est généralement éclatant et nasillard; on le rend plus agréable en fixant, au-dessus de l'extrémité du tuyau, un *cornet d'harmonie* C, dont l'air entre en vibration en même temps que l'anche.

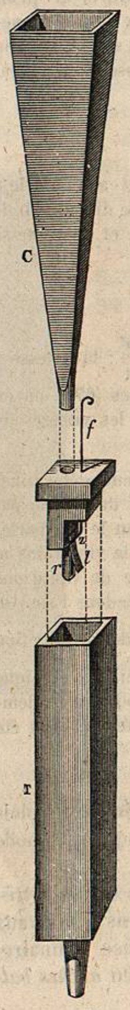

Fig. 539. — Tuyau à anche battante.

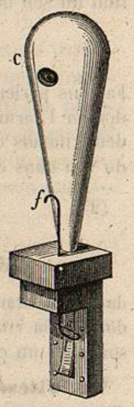

Fig. 540. Anche libre.

L'*anche libre* (*fig.* 540) présente une disposition analogue; mais la languette *l* ne touche pas les bords de l'ouverture par laquelle s'échappe l'air : elle oscille librement des deux côtés du plan de cette ouverture et produit ainsi des sons moins stridents. On l'emploie peu dans les grandes orgues, mais elle figure exclusivement dans l'harmonium et dans l'orgue expressif.

Les grandes orgues présentent plusieurs *jeux de tuyaux*, soit *à bouche*, soit *à anche*, destinés à produire des effets variés. L'exécutant amène à volonté le vent de la soufflerie dans tel ou tel jeu, en faisant mouvoir des *registres*, c'est-à-dire des plaques à coulisses percées de trous qui dégagent ou interceptent les ouvertures des tuyaux.

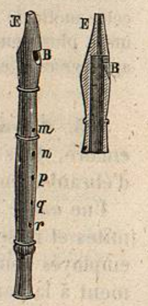

Fig. 541. Flageolet.

704. **Instruments à vent.** — Les divers instruments à vent se rattachent à l'un ou à l'autre type de tuyaux sonores que nous venons d'indiquer.

Le *flageolet* (*fig.* 541) présente une embouchure E que l'exécutant place entre ses lèvres, et qui est semblable à celle des *tuyaux à bouche*. Le courant d'air vient se briser sur un biseau B, placé sur le côté de l'instrument. Le tuyau est percé d'un certain nombre de trous, *m*, *n*, *p*, *q*, *r*, sur lesquels l'exécutant place les extrémités des doigts. — Lorsque tous les trous sont bouchés, le son produit est le son fondamental du tuyau, ou l'un de ses harmoniques, selon que le courant d'air est plus ou moins fort. En débouchant tel ou tel trou, l'exécutant transforme l'instrument en un tuyau de longueur moindre, et modifie ainsi la hauteur des sons obtenus.

Dans la *flûte*, l'ébranlement de l'air se produit encore d'une manière semblable; l'embouchure est un trou ovale, pratiqué sur le côté du tuyau et ayant ses bords taillés en biseau. L'exécutant place ses lèvres au-dessus de cette ouverture et à une petite distance.

Fig. 542. Clarinette.

Dans la *clarinette* (*fig.* 542), l'embouchure est absolument différente : c'est une *embouchure à anche*. L'anche est formée par une petite lame de roseau C, adaptée à un bec de buis B, de manière à ne laisser qu'un passage étroit entre elle et le bec lui-même. — Cette embouchure étant placée entre les lèvres de l'exécutant, le courant d'air met l'anche en vibration : ce sont les lèvres qui jouent le rôle de la *rasette*, c'est-à-dire qui déterminent la longueur de la partie vibrante de l'anche, en appuyant plus ou moins fortement sur sa surface. Dans la longueur du tuyau, sont distribués des trous que l'on peut ouvrir ou fermer à volonté, soit directement avec l'extrémité des doigts, soit au moyen de clefs pour les trous plus éloignés. — Le *hautbois* et le *basson* présentent une disposition semblable, avec cette différence que l'embouchure est formée de deux lames de roseau appliquées l'une contre l'autre par leurs bords.

Enfin, le cor, la trompette, l'ophicléide et les instruments de cuivre en général diffèrent encore des précédents par leur embouchure, qui a reçu le nom d'*embouchure de cor*. Elle est formée par une sorte d'entonnoir, ou par une cavité hémisphérique (*fig.* 543), qu'on applique contre les lèvres légèrement écartées l'une de l'autre. Les lèvres elles-mêmes jouent alors le rôle de véritables anches : le passage de l'air leur communique un mouvement vibratoire, dont la rapidité dépend à la fois de la force du vent et de l'énergie avec laquelle l'exécutant serre la bouche contre l'ouverture. C'est la combinaison de ces deux efforts qui rend si difficile, au moins dans les commencements, l'étude de ces instruments.

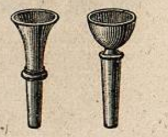
Fig. 543. Embouchures de cor.

Le *cor* (*fig.* 544) est formé par un tuyau contourné en spirale TT, et terminé par une partie évasée P, qu'on appelle le *pavillon*. Il ne peut donner que le son fondamental et ses divers harmoniques. On peut cependant lui faire rendre quelques-unes des notes intermédiaires, en bouchant d'une manière plus ou moins complète, avec la main fermée, l'ouverture du pavillon. Mais les sons ainsi obtenus sont toujours plus ou moins sourds, et il est même difficile de leur donner toujours une justesse satisfaisante.

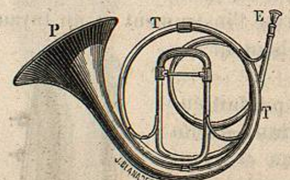

Fig. 544. — Cor d'harmonie.

L'*ophicléide* présente, dans sa longueur, un certain nombre de trous qu'on peut ouvrir à volonté au moyen de *clefs*, de manière à multiplier beaucoup les sons que peut rendre l'instrument. — On trouve une disposition semblable dans les *saxophones*, dont on fait usage dans la musique militaire (*).

Dans le *trombone*, une partie mobile à coulisse permet d'allonger ou de raccourcir brusquement le tuyau sonore, et de produire ainsi des sons plus ou moins élevés. — Dans le *cornet à pistons*, l'exécutant modifie la longueur du tuyau au moyen de pistons qui interceptent ou font entrer dans la partie vibrante diverses portions supplémentaires.

(*) Cette dénomination est empruntée au nom du fabricant, M. Sax, qui en a, le premier, montré toutes les ressources.

CHAPITRE IV

VIBRATIONS DES CORPS SOLIDES

I. — VIBRATIONS DES CORDES.

705. **Lois des vibrations transversales.** — Lorsqu'une corde est tendue entre deux points fixes, on peut lui faire produire des sons en la faisant vibrer soit transversalement, soit longitudinalement. — Nous étudierons d'abord les vibrations *transversales*, qui sont les plus importantes au point de vue des applications.

On produit les vibrations transversales en pinçant la corde, c'est-à-dire en l'écartant de sa position d'équilibre, pour l'abandonner ensuite à elle-même, ou bien en la frottant avec un archet perpendiculairement à sa longueur. — Dans l'un ou l'autre cas, chacun de ses points exécute une série de vibrations perpendiculairement à la direction primitive de la corde.

Les nombres des vibrations, pour des cordes différentes, varient :

1° *En raison inverse des longueurs ;*

2° *En raison inverse des diamètres;*

3° *Proportionnellement aux racines carrées des poids tenseurs;*

4° *En raison inverse des racines carrées des densités.*

Ces quatre lois sont comprises dans la formule suivante, qui est due à Lagrange : Si l'on désigne par n le nombre des vibrations en une seconde, on a, pour une corde quelconque,

$$n = \frac{1}{2rl}\sqrt{\frac{gP}{\pi d}};$$

r est le rayon et l la longueur de la corde; d est sa densité et P est le poids tenseur ou, plus exactement, la masse dont le poids tend la corde; g est l'accélération due à la pesanteur, exprimée au moyen de la même unité que les autres quantités linéaires r et l; enfin π est le rapport de la circonférence au diamètre, égal à 3,1416 (*).

(*) Cette formule permet de trouver, non seulement le rapport entre les nombres