

examinerons plus tard si leur petitesse permet qu'ils produisent des sons clairs à eux seuls et sans le concours de l'air.

B. Corps élastiques par eux-mêmes.

1. Verges droites ou courbes.

Les vibrations de ces verges ressemblent à celles des cordes. L'élasticité des verges rigides remplace la tension des cordes; aussi vibrent-elles également, qu'elles soient fixées aux deux bouts ou à un seulement. On fait résonner ces verges ou languettes en les frappant. Si les lames, en métal ou en bois, sont assez minces, elles peuvent aussi être mises en vibration par un courant d'air, quand ce fluide vient à être pressé entre elles et un châssis dans lequel elles sont encadrées. C'est le cas des tuyaux à anche. Les sons que ces languettes sont aptes à produire seules obéissent aux mêmes lois que ceux qui proviennent des verges libres. Nous reviendrons là-dessus en traitant des instrumens à anche. On a un exemple d'une simple languette sans tuyau, mise en vibration par le courant d'air, dans le petit instrument appelé *harmonica à bouche*, dont on peut aussi faire parler les languettes au moyen d'un soufflet.

L'élévation des sons, ou le nombre des vibrations, change, dans les verges, suivant une autre loi que dans les cordes. En effet, elle est proportionnelle aux épaisseurs et réciproque aux carrés des longueurs.

2. Corps membraniformes rigides, droits et courbes; plaques, cloches.

L'organe de la voix n'a d'analogie ni avec les corps filiformes ni avec les corps membraniformes élastiques par eux-mêmes; nous pouvons donc abandonner de suite ces agens de la production du son.

II. Fluides élastiques; air.

Les vibrations de l'air, quand il résonne, consistent en une

succession rapide de condensations et de dilatations alternatives qui, dans le jeu de flûte de l'orgue, suivent une direction longitudinale. Dans la plupart des instrumens à vent, l'air est l'agent producteur du son, parce qu'il éprouve le long de l'instrument des ondulations alternativement condensantes et raréfiantes, qui, parvenues à l'extrémité de la colonne, se réfléchissent sur elles-mêmes. La vitesse des ondes, c'est-à-dire des condensations et dilatations alternatives, demeure la même en général, que le tuyau soit large ou étroit; elle dépend uniquement, ou du moins principalement, de la longueur de ces mêmes ondes, ou de l'espace à parcourir. Cependant les luthiers ont reconnu par l'expérience qu'il faut raccourcir un peu les tuyaux du jeu de flûte de l'orgue; si l'on veut qu'ils conservent le même son avec une ampleur plus grande, et Savart a trouvé qu'à longueur égale la colonne d'air donne des sons beaucoup plus graves dans des tuyaux élastiques mous que dans des tuyaux rigides: on peut même, en ramollissant les parois à l'aide de la vapeur d'eau, fait baisser le son de deux octaves au dessous de sa hauteur ordinaire.

Le principe d'un sifflet consiste en ce que la colonne d'air contenue dans un tuyau est mise en vibration par un courant d'air poussé contre une partie de sa surface. La manière la plus simple de remplir cette condition, est de souffler sur l'orifice d'un tuyau, par exemple d'une clef forée. La même chose a lieu pour la flûte, avec cette différence qu'ici ce n'est point à son extrémité que la colonne d'air est mise en vibration; mais au devant de cette extrémité et sur les côtés. Dans les sifflets, l'air qu'on souffle traverse l'étroit canal de la portion qu'on tient entre les lèvres, et, en sortant par l'ouverture latérale, il fait vibrer la colonne d'air contenue dans le tuyau. Les tuyaux cylindriques ou quadrangulaires de l'orgue qui appartiennent aux jeux de flûte ou de mutation, ont une construction analogue. L'air seul est le corps sonore dans ces instrumens. Des sifflets d'égale longueur, en bois, en métal, en

carton, donnent les mêmes sons, avec un timbre différent. Une fois que la colonne d'air a été mise en vibration par le souffle dirigé sur sa surface, il faut que le courant d'air continue, si l'on veut obtenir le nombre de vibrations nécessaire pour faire entendre un son. Du reste, dans ces sortes d'instrumens, il n'y a jamais courant d'air à travers le tuyau, mais seulement vibration de l'air qu'il renferme, ce qui fait que les flûtes peuvent être bouchées à leur extrémité. Le plus simple mode de vibration de l'air dans les sifflets fermés à l'extrémité est celui qui consiste en ce que la longueur des ondes égale celle du tuyau, de manière qu'il ne se produise pas de nœuds dans l'intérieur de ce dernier; son bout fermé fait office de nœud. Si le tuyau est ouvert à l'extrémité, sa longueur étant égale à celle d'un tuyau fermé, il donne un son fondamental plus élevé d'une octave que celui de ce dernier, et un nœud de vibration se trouve dans son milieu.

Du reste, l'élévation des sons change en raison directe de la longueur du tuyau bouché ou ouvert. Cependant, la même colonne d'air donne des sons plus aigus lorsqu'on souffle avec plus de force, parce qu'il se produit des nœuds de vibration sur la longueur. Biot et Hamel ont montré comment la force du souffle influe sur l'augmentation du nombre des nœuds. Les sons qu'on parvenait à tirer ainsi d'un tuyau bouché étaient : *ut*, *sol*, *mi*, *la*, *ré*, *fa*, *lab*, *si*, dont les nombres de vibrations correspondent à la suite des nombres impairs. Dans un tube ouvert à l'extrémité, les sons produits par un souffle plus fort augmentant le nombre des nœuds, correspondaient, au contraire, à la simple série des nombres naturels = 1, 2, 3, 4, 5, 6, etc. Ce ne fut qu'en soufflant faiblement ils obtinrent le son fondamental d'un tube de verre long de trente-sept pouces, sur un pouce de diamètre, *sol*. Les sons qu'ils obtenaient en changeant l'embouchure étaient :

sol, *sol*, *ré*, *sol*, *si*, *ré*, *fa*, *sol*, *ut*, *ré*.
4 2 3 4 5 6 7/8 8 10 12.

On voit, d'après cette série, que les sons qu'on peut tirer d'un tuyau ouvert, en soufflant différemment, sont d'autant plus éloignés les uns des autres qu'il sont plus voisins du son fondamental, et qu'à mesure que le ton s'élève, les sons qu'on obtient sont plus rapprochés. Entre le son fondamental 1 et la première octave, qui correspond au nombre 2, il n'y a point de son intermédiaire. Entre la première octave et la seconde, qui a pour nombre de vibrations 4, se trouve déjà un son. Entre la seconde octave 4 et la troisième 8, il y en a trois, etc.

Les lois qui viennent d'être posées s'appliquent, en général, non seulement à l'air atmosphérique, mais encore à tous les gaz. Cependant il faut remarquer que les sons fondamentaux des colonnes d'air diffèrent selon la pesanteur et la densité du fluide; car, d'après l'expérience des luthiers, il suffit de tenir un même tuyau pendant long-temps entre les mains, pour que le son fondamental soit déjà un peu modifié. Selon la théorie, les sons, à longueurs égales, devraient être réciproques aux racines carrées des densités des gaz, sous d'égales pressions et à une même température; mais l'expérience donne un résultat un peu différent.

L'embouchure du tuyau exerce aussi quelque influence sur le changement du son fondamental, comme l'ont fait voir Biot et Hamel. Ces physiiciens employèrent un sifflet quadrangulaire, long de quatre pieds, large de quatre pouces, et bouché à l'extrémité. L'ouverture occupait toute la largeur, et pouvait être prolongée en haut par le moyen d'un coulisseau. Les sons produits furent les suivans :
Grandeur de l'ouvert., 66,0 36,5 26,0 20,5 16,5 14,0 3,8
Sons produits, *ut*, *sol*, *mi*, *si*, *ré*, *fa*, *fa*,
66,00 parties de l'ouverture font un pouce carré. Les sons produits correspondent aux nombres de vibrations 1, 3, 5, 7,

9, 11, 43. Le résultat du rétrécissement de l'embouchure est donc le même dans la flûte bouchée que celui qu'on opère en changeant le souffle : on ne peut donc point obtenir d'octaves de cette manière.

L'influence de l'embouchure sur le son du sifflet ne me paraît pas être encore parfaitement éclaircie par l'expérience. Il y a, en effet, une manière de couvrir l'embouchure qui fait qu'on peut abaisser assez notablement le son. Si j'applique sur la lèvre supérieure d'un tuyau à bouche cylindrique en laiton, une carte qui couvre en partie l'ouverture, je puis abaisser le son de plus d'un ton au dessous du son fondamental ; mais si, en appliquant la carte, j'ai soin qu'elle fasse le toit sur l'ouverture, le son peut être rendu bien plus grave encore, et d'autant plus que la carte en forme de toit s'abaisse davantage vers l'ouverture. On obtient de cette manière tous les sons les plus rapprochés au dessous du son fondamental, jusqu'à quelques tons entiers ; ce ne sont pas par conséquent des sons correspondans aux nombres 1, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{7}$. Si j'enfoncé le bouchon du sifflet assez pour que le tuyau n'ait plus que deux pouces, le son de ce tuyau de deux pouces peut, en couvrant l'embouchure en forme de toit, être abaissé de *ré*, jusqu'à *sol*, c'est-à-dire de près d'une quinte, et les sons intermédiaires sortent avec facilité, suivant le plus ou moins d'inclinaison du toit étendu sur l'embouchure. Il est possible aussi, sur un sifflet quadrangulaire d'un pied, d'abaisser le ton au moyen d'une couverture en toit mise sur l'embouchure.

Tout ce qui vient d'être dit s'applique aux tuyaux sans trous latéraux. Mais les flûtes proprement dites peuvent être jugées d'après les mêmes principes. Ce sont des tuyaux ouverts, à l'aide desquels, quand tous les trous latéraux sont bouchés, on parvient, en variant la force du souffle, à produire tous les sons correspondans aux nombres de vibrations 1, 2, 3, 4, 5. L'ouverture successive des trous latéraux permet aussi d'obtenir les sons intermédiaires. En ouvrant chacun d'eux, on

élève le son fondamental, et cette élévation varie suivant la grandeur du trou, suivant aussi la distance à laquelle il se trouve du commencement de l'instrument.

La question se présente enfin de savoir si, par l'emploi des divers moyens à l'aide desquels on parvient à abaisser le son fondamental d'un sifflet de longueur donnée, il est possible de produire des sons tellement graves, que même un tuyau fort peu long en donne encore qui aient quelque gravité quand on souffle très-faiblement. Si le tuyau est bouché en partie, il se rapproche d'un tuyau couvert, dont le son fondamental est plus grave d'une octave entière, et en couvrant l'embouchure avec un toit, on réussit, comme je l'ai dit plus haut, à abaisser le ton de près d'une quinte. La faiblesse du souffle n'augmente pas la gravité du son d'un sifflet ordinaire jusqu'à lui faire dépasser ce qu'on appelle le son fondamental ; mais peut-être y a-t-il des moyens par l'emploi desquels un souffle encore plus faible produirait des vibrations encore plus lentes avec assez de régularité pour qu'elles fussent entendues comme sons. L'appeau des oiseleurs paraît produire cet effet, quoiqu'ici les moyens soient tout autres que ceux qu'il faut employer dans les sifflets ordinaires pour tirer des sons plus graves. Cet instrument, en ivoire et en laiton, a plus de largeur que de longueur : il est long de quatre lignes, sur huit à neuf de large. Son extrémité antérieure et son extrémité postérieure sont fermées par une plaque mince, dont le milieu offre une ouverture par laquelle l'air s'écoule, de manière que le courant du fluide parcourt l'axe de la cavité du tuyau. Savart a examiné cette espèce de sifflet. Suivant lui, le son s'y produit parce que le courant d'air qui traverse les deux orifices, chassant devant lui la petite masse de fluide contenue dans la cavité de l'instrument, en diminue la force élastique, et la rend par conséquent incapable de faire équilibre à la pression de l'atmosphère, qui, en réagissant sur elle, la refoule et la comprime jusqu'à ce que, par son propre ressort, et sous l'influence du courant qui continue toujours, elle su-

bisse une nouvelle raréfaction, suivie d'une seconde condensation, et ainsi de suite. En modifiant la force avec laquelle on souffle dans cet instrument, on peut faire varier les sons dans l'étendue d'une octave et demie à deux octaves, depuis *ut*, jusqu'à *ut*, et quand on sait se bien rendre maître de la vitesse du courant d'air, on parvient à pousser beaucoup plus loin encore l'élévation et l'abaissement des sons. On peut doubler, quadrupler ou diminuer le volume de l'instrument, sans que les résultats changent d'une manière notable. Lorsque les dimensions sont plus grandes et les parois plus minces, il est plus facile d'obtenir des sons graves; cependant chaque instrument en a un qu'il donne avec plus de facilité que tous les autres. La direction des bords de l'ouverture change les sons. Lorsque les bords sont dirigés obliquement vers l'intérieur de la cavité, les sons ont, en général, plus de gravité. Le diamètre des orifices influe aussi sur eux; leur gravité augmente quand ces orifices sont plus larges. Nous ne possédons pas encore une théorie des vibrations qui ont lieu dans cet instrument; on ne sait point non plus si l'air est réellement le corps qui vibre le premier, et si l'instrument n'appartient pas plutôt à la catégorie des anches, dont nous aurons à parler plus loin. Dans les anches ordinaires, il y a deux dimensions à considérer, l'épaisseur et la longueur de la languette; si l'une des plaques percées agit comme anche, elle représenterait une anche dans laquelle les trois dimensions, longueur, épaisseur et largeur, entreraient en jeu, comme dans les plaques résonnantes. Au reste, l'appeau peut, de même que l'anche, être adapté à un tuyau, et les sons qui résultent de là se comportent comme ceux qu'on obtient en unissant des anches ordinaires avec des tuyaux, c'est-à-dire que le son n'est plus celui de l'anche, mais l'un des sons possibles du tuyau qui se rapproche le plus de celui de cette anche. La suite des sons, quand on varie le souffle, est, dans toute combinaison de l'appeau avec un tuyau, 1, 2, 3, 4, 5, etc., comme dans un soufflet ouvert.

III. Instrumens dans lesquels entrent à la fois en jeu les propriétés de corps élastiques solides et celles de corps élastiques fluides.
Instrumens à anche.

Il y a des agens producteurs de sons qui consistent en une simple languette vibrante, mise en mouvement par un courant d'air comprimé, comme la lame métallique de la guimbarde et les lamelles de l'harmonica à bouche. L'expérience enseigne que les corps élastiques par cohésion, comme les métaux et le bois, ne sont pas les seuls qui puissent former des anches. On peut y substituer des plaques ou des membranes rendues élastiques par tension, ainsi que je le ferai voir par la suite. Quand ces anches membraneuses sont mises en mouvement par un courant d'air comprimé, elles donnent des sons très-purs, sans le secours d'un corps de tuyau. En ajoutant un tuyau au devant des anches de la première et de la seconde espèce, on obtient un instrument plus compliqué, dans lequel l'air du tuyau contribue à modifier les vibrations de l'anche. Les instrumens de cette sorte qui ont des anches fixes en métal ou en bois, sont connus depuis long-temps sous le nom d'instrumens à anche. L'orgue a un registre entier de ces appareils. D'autres instrumens à vent, construits d'après le même principe, sont le hautbois, le basson, le serpent, la clarinette, la trompette des enfans, qui tous ont une anche, indépendamment du tuyau, et qui par-là diffèrent des flûtes, dans lesquelles le son est produit uniquement par la colonne d'air, dont la longueur le modifie. Mais on peut aussi unir ce que nous appelons les anches membraneuses avec un tuyau, de manière à former un instrument analogue, comme nous le verrons bientôt. La théorie de ces instrumens est de la plus haute importance pour l'étude de la voix humaine (1).

(1) Voyez *Dict. de l'industrie*, art. INSTRUMENS À CORDES ET À VENT, Paris, 1837, t. 7, pag. 516 et suiv.