

La physique des tuyaux d'orgue

L'anatomie d'un tuyau d'orgue

Les tuyaux d'orgue à « embouchure de flûte »

La terminologie utilisée pour décrire les tuyaux d'orgues reflète celle des instruments à bouche dont ils sont issus. Ils sont ouverts en haut (sauf les bourdons) et coniques en bas ; la " bouche " (une fente) traverse la partie aplatie qui se trouve juste au-dessus du pied conique ; à l'intérieur du tuyau, au niveau de la bouche, est soudé le " biseau ", lamelle horizontale comparable à une langue, et entre celle-ci et la " lèvres " inférieure de la bouche se trouve la " lumière " (une fente étroite). L'air qui excite le tuyau provient d'une soufflerie et atteint le pied du tuyau à une pression de 500 à 1000 pascals (500 à 1000 newtons par mètre carré) (Figure 1).

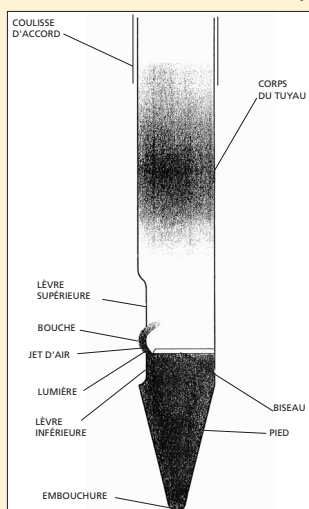


Figure 1
Tuyau à bouche: éléments du tuyau.

Lorsqu'on actionne la touche et le registre correspondants, l'air pénètre dans le tuyau par son embouchure ; il monte et sort de la lumière sous forme d'un jet mince et plat ; ce jet traverse alors la bouche et vient frapper la lèvre supérieure. Là, il interagit à la fois avec la lèvre et avec la colonne d'air contenue dans le corps du tuyau, ce qui crée une oscillation stable. C'est cette oscillation qui fait parler le tuyau.

L'analyse acoustique de l'évolution temporelle du spectre des sons produits lors du transitoire d'attaque de tuyaux à embouchure de flûte montre que l'établissement des différents harmoniques du son stationnaire est précédé par un ensemble de phénomènes acoustiques : bruits, sons inharmoniques, d'une grande importance pour la qualité perçue du transitoire. En général, les sons de bouche dus au comportement " buccal " du jet disparaissent dès l'établissement du régime " normal entretenu ". Les spectres des sons de bouche sont d'une grande diversité, et le plus souvent de plusieurs fréquences.

Pour un instrument donné, les sons de bouche varient énormément avec la pression.

Un tuyau ouvert donne un son plus " brillant " car il répond à tous les harmoniques de la fréquence

fondamentale. En revanche, un tuyau bouché ne possède de pics de résonance que pour les multiples impairs de la fréquence fondamentale. Il en résulte un son " creux " caractéristique dans lequel les harmoniques pairs sont presque totalement absents. Pour un tuyau de longueur donnée, et donc pour une fréquence fondamentale donnée, les tuyaux larges ne constituent des résonateurs efficaces et bien accordés que pour la fondamentale et les tout premiers harmoniques, ce qui donne un son mat et " flûté ". Les tuyaux étroits sont de bons résonateurs pour une large gamme d'harmoniques et, comme les hautes fréquences rayonnent plus efficacement que les basses, le son émis est " léger " et rappelle les instruments à cordes. Entre ces deux extrêmes, nous trouvons une série de tuyaux au son brillant, caractéristique d'un bon orgue. Ces tuyaux, qui forment le plein jeu, sont appelés principaux. Un grand orgue peut également comporter des rangs de tuyaux à corps conique, à cheminée ou à formes géométriques variées. Celles-ci ont pour but de modifier les fréquences de résonance du tuyau et dans certains cas de faire ressortir une bande étroite d'harmoniques supérieurs, ce qui donne au son une couleur particulière.

On montre facilement que les tuyaux ouverts ont des fréquences propres qui sont en première approximation tous les multiples entiers de celle du fondamental alors que les tuyaux fermés ne peuvent résonner que sur les harmoniques impairs. Cependant, cela n'est qu'une approximation qui ne serait valable que si les nœuds (de pression pour les tuyaux ouverts, d'amplitude pour les tuyaux fermés) correspondant aux différents modes propres de vibration se trouvaient tous au même endroit, à l'extrémité du tuyau ; en fait il n'en est rien, et les écarts (appelés " corrections d'embouchures ") dépendent du rapport diamètre/longueur du tuyau, c'est-à-dire de ce que les facteurs appellent sa taille. Un tuyau de grosse taille a de fortes corrections d'embouchure, différentes pour chaque harmonique, donc des fréquences propres formant une série assez différente d'une série d'harmoniques : il ne résonnera bien que sur le son fondamental et ne fournira donc qu'un son pauvre en harmoniques ; inversement, un tuyau étroit fournira un son riche en harmoniques, car ses fréquences propres sont beaucoup plus proches des multiples entiers de celle du fondamental.

La physique des tuyaux d'orgue

II

Les tuyaux ouverts de grosse taille sont appelés flûtes; ceux de taille intermédiaire sont les principaux; enfin les tuyaux ouverts de petite taille sont les gambes, ainsi dénommées parce que leur son riche en harmoniques rappelle celui de la viole de gambe (Figure 2).

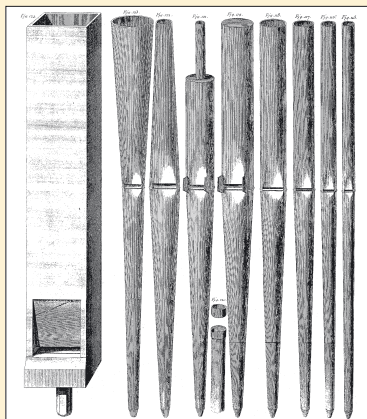


Figure 2
Tuyaux à bouche : présentation des différents types parmi les plus courants.
De droite à gauche :
tuyau de basse de viole, de fourniture ou cymbale, de montre, prestant ou doublette, de nasard, tierce ou cornet. Le tuyau bouché est un bourdon, puis on voit un tuyau à cheminée, un tuyau de nasard à fuseau, un tuyau de flûte conique, enfin un tuyau de bois ouvert (très réduit). Cette planche d'une extrême exactitude est extraite de l'"Art du facteur d'orgues" de Dom Bedos de Celles, 1766.

Les tuyaux fermés sont le plus souvent de grosse taille (bourdons), mais si on les construit de plus faible taille, ils font entendre clairement l'harmonique 3 (quinte), d'où leur nom de quintatons.

Il ne faudrait pas croire que la taille soit uniforme pour un même jeu tout le long du clavier : le rapport diamètre/longueur croît quand on va vers l'aigu, selon une progression où s'inscrit l'individualité de chaque

école de facture, de chaque facteur et même de chaque instrument. Une fois que le facteur d'orgues a fabriqué un tuyau possédant la qualité sonore requise, le principal problème auquel il est confronté est de réaliser toute une rangée de tuyaux couvrant la gamme du clavier et s'accordant les uns avec les autres en intensité et en timbre. Une série de tuyaux homothétiques ne remplit pas ces conditions : les tuyaux diffèrent car l'énergie est dissipée de manière différente en fonction de

leur taille. Pour que les réactions des tuyaux soient homogènes d'une extrémité à l'autre du spectre acoustique, il faut appliquer une règle de calibrage. On fait varier le diamètre (ou diapason) du tuyau en fonction d'une certaine puissance, k , de sa longueur. Cette puissance k étant inférieure à 1, pour les longs tuyaux (sons graves), ceux-ci sont un peu plus étroits que les autres. La valeur théorique de k est $5/6$, soit 0,83, mais compte tenu de la psychophysique de l'oreille humaine, une valeur de 0,75 s'avère plus satisfaisante. Cette dernière valeur est proche de la règle empirique mise au point par les grands facteurs d'orgues des 17^{ème} et 18^{ème} siècles.

La sensibilité de l'oreille dépend fortement de la fréquence, et l'homogénéité d'un timbre sur l'échelle sonore ne peut être obtenue qu'en tenant compte de cette sensibilité et des propriétés acoustiques du local dans le réglage des rapports d'intensité harmoniques/fondamental.

Par ailleurs, on ne peut négliger les phénomènes transitoires qui sont fondamentaux dans l'étude du timbre. L'attaque est caractérisée par l'apparition non simultanée des divers harmoniques, auxquels se superposent des partiels non harmoniques transitoires provenant du tuyau (colonne d'air et corps même de celui-ci). Il est certain que c'est la recherche de ces partiels non harmoniques temporaires qui justifie les formes bizarres de certains tuyaux à bouche évoqués plus haut (tuyaux coniques, à cheminée, etc.) C'est probablement ici aussi que le rôle de la matière du tuyau est le plus sensible ; le facteur peut également jouer sur les dimensions de la bouche et sur les réglages du filet d'air qui frappe la lèvre supérieure : cette opération, appelée harmonisation, est la plus délicate de la facture d'orgues, c'est d'elle en grande partie que dépend la qualité du timbre de l'instrument.

Les tuyaux d'orgue à « anche »

Les propriétés des tuyaux à anche sont totalement différentes de celles des tuyaux à bouche. Ici le son est créé par une anche, appelée plutôt languette. Cette languette peut être libre, comme dans l'accordéon, l'harmonica ou l'harmonium. Elle est cependant exceptionnelle en facture d'orgues. Presque toujours la languette bat contre une partie fixe (la rigole), interrompant périodiquement l'arrivée de l'air dans le tuyau. Cet excitateur impose pratiquement sa fréquence indépendamment du tuyau résonateur qu'on peut lui

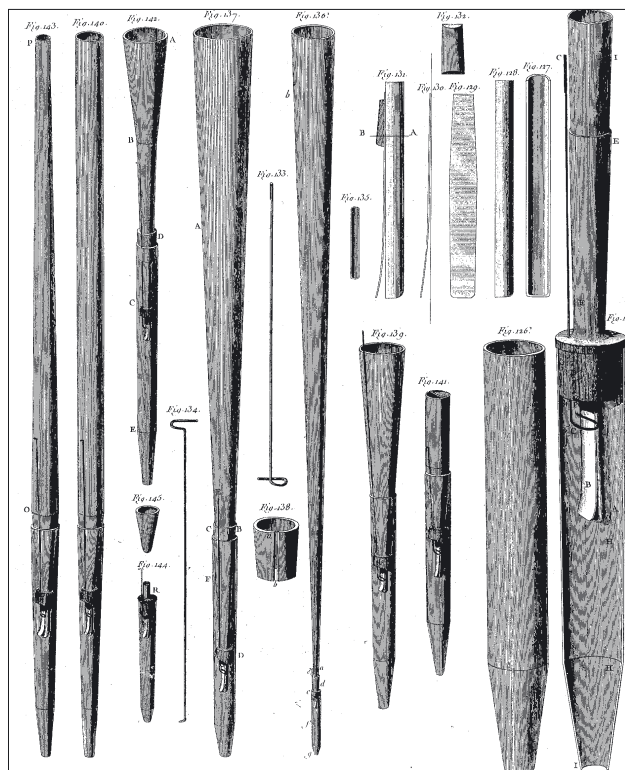
adjoindre et produit un son très riche en harmoniques.

On peut ne pas mettre de tuyau du tout, ou ne mettre qu'un embryon sans guère de rôle acoustique, obtenant ainsi le jeu de régale. Inversement, on peut adjoindre un tuyau ouvert résonant sur le fondamental (trompette); ce tuyau a des fréquences propres qui sont (aux corrections d'embouchures près) multiples de celle du fondamental et donne un son éclatant, riche en harmoniques.

La physique des tuyaux d'orgue

Si le tuyau est cylindrique, il suffit qu'il ait la demi-longueur d'un résonateur normal mais il ne résonnera que sur les harmoniques impairs. On obtient ainsi le cromorne, dont le son savoureux rappelle celui d'un instrument à vent disparu au XVIIème ou la clarinette (Figure 3).

Bien entendu il existe des formes plus complexes, permettant sans doute comme dans le cas des tuyaux à bouche une variété de transitoires d'attaque (hautbois, basson, etc.). Les facteurs ont construit une catégorie de tuyaux à corps raccourci, représentée par la voix humaine, dont il existe d'ailleurs une grande variété. Les tuyaux sont toujours larges, courts et presque complètement fermés à l'extrémité, formant plutôt une cavité sonore qu'un véritable tuyau. L'effet de ce résonateur est de filtrer sélectivement une région du spectre de sons harmoniques fourni par une languette : le timbre est donc caractérisé par l'existence d'harmoniques de rang élevé privilégiés dans un certain domaine de fréquences, c'est-à-dire un formant.



Tuyaux à anche : présentation des détails de construction et de différents types parmi les plus courants.

Les figures 125 à 135 montrent des détails de la construction d'un tuyau à anche : on voit sur la figure 125 la languette B qui frappe sur l'anche A, et sur la figure 125 la languette B qui frappe sur l'anche A, et sur la rasette C qui permet l'accord. Le tout est enfermé dans le pied (fig. 126). Les figures 136-137 représentent des tuyaux de bombarde, trompette ou clairon, la figure 140 un cromorne, la figure 141 une voix humaine, la figure 142 un hautbois, la figure 143 une régale (pratiquement sans tuyau). Planche extraite de l' " Art du facteur d'orgues " de Dom Bedos de Celles, 1766.

Sources :

1. Neville FLETCHER et Suzanne THWAITES, *La physique des tuyaux d'orgue*, in *Pour la Science*, mars 1983.
2. James LEQUEUX, *L'acoustique de l'orgue*, in *La Recherche*, n°64, février 1976, Paris.