

Le profil des instruments à vent

Quelle forme donner aux instruments à vent ? Le choix, qui relève tant de la physique que de la musique, se limite aux tubes cylindriques ou coniques.

Dans un instrument à vent, les vibrations de l'air produites au niveau du bec sont à l'origine des sons émis. La hauteur de la note est souvent mise en relation avec la longueur de la colonne d'air, mais on parle rarement de l'influence du profil de l'instrument. Pourtant, si bois et cuivres exhibent une grande variété d'aspects, leurs corps sont des tubes uniquement cylindriques, comme pour la clarinette, ou coniques, comme pour le saxophone. Ces choix ne découlent pas seulement de la simplicité de fabrication. Ils reposent aussi sur de subtiles contraintes physiques et musicales.

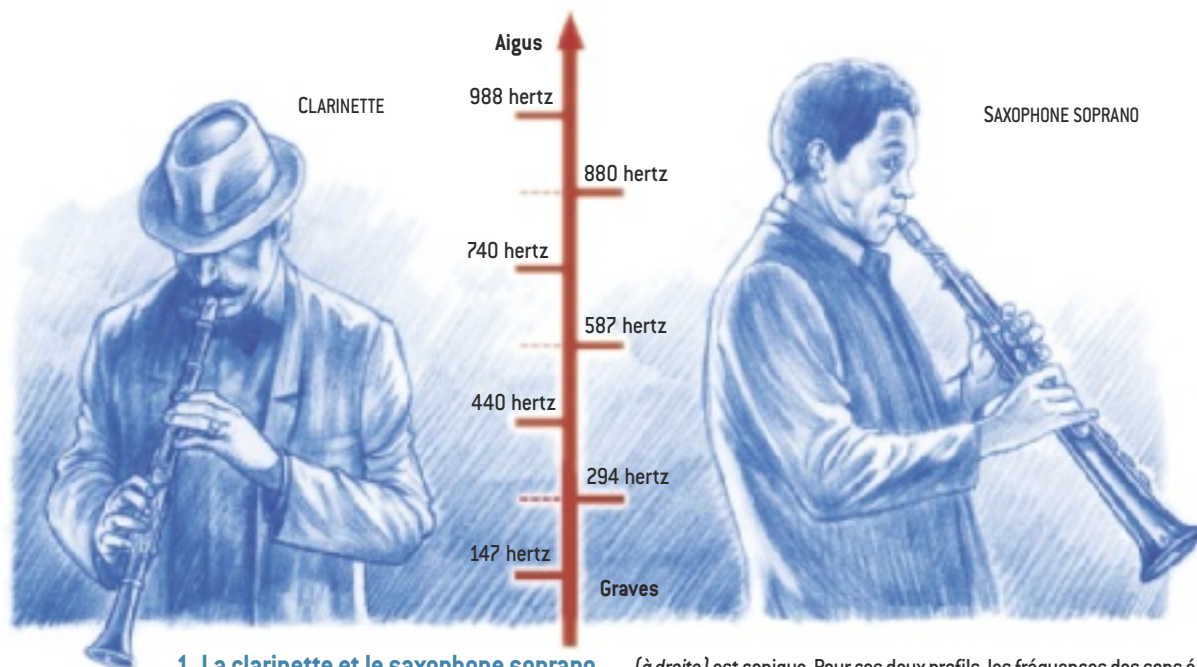
Pas de gamme pour le clairon

Que demande-t-on à un instrument de musique ? De permettre à l'instrumentiste de jouer des mélodies à partir des notes d'une gamme. La hauteur de chaque note correspond à une fréquence de vibration de l'air, et l'intervalle musical compris entre deux notes est fixé par le rapport de leurs fréquences.

Un saut d'une octave vers les aigus correspond ainsi à un doublement de la fréquence. La gamme occidentale se divise en 12 demi-tons égaux : deux notes successives – par exemple un *do* et un *do dièse* – ont donc des fréquences dans un rapport égal à la racine douzième de 2, soit 1,0595... .

Pour faire un instrument à vent qui produise toutes les notes, une première idée est d'utiliser un tube différent pour chaque note, comme pour la flûte de Pan. La solution est efficace, mais musicalement limitée : les arpèges sont difficiles à jouer. Par ailleurs, un même tube peut produire des notes distinctes, comme l'illustre le clairon, dont un bon instrumentiste peut tirer jusqu'à sept notes. De quoi jouer *Aux Morts* (quatre notes) en l'honneur des disparus, mais guère plus.

Cette pauvreté musicale résulte du principe même du clairon et d'autres instruments tels le didjeridoo australien ou la trompe suisse : le son émis résulte des vibrations de la colonne d'air du corps de l'instrument. Ces vibrations, créées par les lèvres du musicien, se réfléchissent à l'extrémité ouverte de l'instrument. Elles effectuent de multiples allers et retours et seules subsistent celles pour lesquelles les ondes réfléchies



1. La clarinette et le saxophone soprano illustrent les deux formes de base utilisées pour les instruments à vent. Le corps de la clarinette (à gauche) est cylindrique, celui du saxophone

(à droite) est conique. Pour ces deux profils, les fréquences des sons émis sont certains multiples entiers (ou presque) de la fréquence fondamentale, ce qui correspond à des sons musicalement intéressants.

viennent renforcer les ondes émises : le nombre de vibrations de l'air au niveau du bec pendant un aller-retour de l'onde sonore est alors un entier.

À chaque entier une note, mais laquelle ? La réponse est plus délicate qu'il n'y paraît, car la vitesse de propagation du son dans un tuyau dépend de la fréquence de l'onde et du profil du tuyau... sauf lorsqu'il s'agit d'un cône ou d'un cylindre, où le son se propage tout comme dans l'air libre, à 340 mètres par seconde quelle que soit la fréquence. Pour ces deux profils, le résultat est simple : les fréquences des sons émis sont des multiples entiers de la fréquence la plus basse. Cette fréquence fondamentale est inversement proportionnelle à la longueur du corps de l'instrument, corrigée pour prendre en compte les effets du bec et du pavillon.

Le clairon est un tube conique replié sur lui-même, long d'environ 120 centimètres. Sa fréquence fondamentale est de 131 hertz, mais la note correspondante est difficile à produire. En ajustant la tension de ses lèvres, le musicien peut en revanche facilement jouer les harmoniques successifs à 262 hertz, 392 hertz,... Ces sons sont bien des notes de la gamme, mais entre les deux premières fréquences jouables du clairon (un facteur 1,5), il manque six notes ; entre la deuxième et la troisième (fréquence multipliée par 1,33), il manque quatre notes, etc. Comment fabriquer un instrument à vent qui permette de jouer toutes les notes de la gamme ?

Obtenir toute la gamme sur plusieurs octaves

Dans le principe, la réponse est évidente : puisque la longueur de l'instrument détermine les notes possibles, faisons varier la longueur ! La solution la plus répandue est l'utilisation de pistons pour les cuivres, et de perces pour les bois. Dans une trompette, un piston actionné bouche le tuyau principal et ouvre une dérivation vers une coulisse. L'onde sonore doit ainsi parcourir une longueur de tube supplémentaire, ce qui abaisse la hauteur de la note jouée. La trompette a trois pistons, qui libèrent des coulisses de longueurs égales respectivement à environ 6, 12 et 18 pour cent de la longueur du corps principal. Ainsi, en actionnant l'un de ces pistons, on abaisse la note jouée d'un demi-ton, d'un ton, ou d'un ton et demi. Par combinaisons, on produit six notes supplémentaires (d'un demi-ton à trois tons), les six notes qui manquaient à notre clairon entre la première note et la seconde !

Dans les bois, plutôt que d'allonger la colonne d'air, le musicien la raccourcit en débouchant les trous percés le long de l'instrument. Celui-ci se comporte alors comme s'il avait été sectionné au niveau du premier trou ouvert à partir du bec.

Cependant, le problème n'est qu'en partie résolu. Nous avons oublié un point délicat : si les pistons ou les perces



Dessins de Bruno Vaccaro

2. Dans la trompette, des pistons permettent, par des dérivations vers des coulisses, d'allonger la colonne d'air et ainsi d'abaisser la hauteur de la note produite. Avec les différentes combinaisons des trois pistons, on peut produire les six notes intermédiaires comprises entre la première et la seconde notes d'un instrument sans piston, tel le clairon.

ont été conçus pour compléter la gamme entre les deux premières notes naturelles de l'instrument, il faut aussi qu'ils puissent de même compléter la gamme entre la deuxième et la troisième notes. Cela impose que les rapports des fréquences des notes successives ne dépendent pas de la longueur du tuyau.

C'est bien le cas pour le cône et le cylindre, mais existe-t-il d'autres profils ? La réponse est oui. Découverts par l'acousticien américain Arthur Benade en 1959, ces « pavillons de Bessel » ont une section qui augmente comme une puissance de la distance au bec. Hélas, à l'exception de pavillons très évasés, inadaptés en pratique, les rapports entre les fréquences des notes produites ne sont pas nécessairement entiers, car la vitesse du son dans le pavillon dépend de la fréquence. Par exemple, si l'on prend une section en racine carrée de la distance au bec, la fréquence de la deuxième note est 2,295 fois la fréquence fondamentale, et 3,598 fois pour la troisième note. Ces fréquences ne correspondent pas aux notes de la gamme et ne sont pas musicalement intéressantes.

Ainsi, en pratique, seuls le cône et le cylindre permettent de faire des instruments à vent. On retrouve toutefois la forme des pavillons de Bessel dans les pavillons des cuivres : en modifiant la manière dont le son est réfléchi à l'extrémité ouverte, ils contribuent notablement au spectre de l'instrument. Ils transforment ainsi la série d'harmoniques *a priori* impairs du corps principal de la trompette (cylindrique comme la clarinette) en série comportant tous les harmoniques. Cette variété des pavillons disparaît pour les bois, car les perces court-circuitent le pavillon et diminuent son influence sur le spectre de l'instrument.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris.

I. JOHNSTON, *Measured tones : the interplay of physics and music*, Taylor & Francis, 2^e édition, 2002.

Les instruments de l'orchestre, collection Bibliothèque scientifique, Pour la Science, 1995.