

LES AUTEURS



JEAN-MICHEL COURTY
professeur de physique
à l'université
Pierre-et-Marie-Curie,
à Paris



ÉDOUARD KIERLIK
également professeur
de physique à l'université
Pierre-et-Marie-Curie

LES TUBES HURLEURS

Des tuyaux en accordéon que l'on fait tourner rapidement produisent un son de hauteur bien définie. Ce n'est pas le cas avec des tuyaux lisses. Quel rôle jouent donc les corrugations des parois?

Le «tube hurleur» est un jouet musical qui chante lorsqu'on le fait tourner rapidement. La particularité de ce tuyau souple, long d'environ 70 centimètres, est d'être «corrugué», c'est-à-dire d'avoir des parois en accordéon comme un tuyau d'aspirateur. En plus d'être passablement assourdissante, cette production spontanée de son peut devenir problématique dans des installations industrielles, notamment les conduites de gaz. Les vibrations engendrées sont parfois assez intenses pour infliger des dégâts aux structures avoisinantes. Quelle est l'origine de ce son? Et de quoi dépend sa hauteur?

UN ÉCOULEMENT FORCÉ POUR PRODUIRE LE SON

Commençons par expérimenter en saisissant un tube hurleur par son extrémité et en le faisant tourner de plus en plus vite. À faible vitesse de rotation, rien ne se

passe. À partir d'une certaine vitesse, le tube produit une note, c'est-à-dire un son de hauteur (ou fréquence) bien définie. Accélérons encore le mouvement: à un deuxième seuil de vitesse, la note change et devient plus aiguë, puis, à un troisième seuil, la note devient encore plus aiguë, et ainsi de suite...

Avec un peu d'entraînement, le musicien amateur jouera à volonté quatre ou cinq notes différentes. Notes dont le mélomane reconnaîtra les intervalles. Entre les deux premières notes, il y a ainsi une quinte, c'est-à-dire un rapport de fréquences de $3/2$. Une octave sépare la troisième note de la première, ce qui correspond à une fréquence double. Ainsi, comme pour un clairon, les notes produites correspondent aux multiples $2f$, $3f$, $4f$ d'une fréquence fondamentale f (qui, elle, n'est pas produite de façon audible).

On reconnaît là les fréquences de résonance d'un tuyau cylindrique ouvert à ses



deux bouts: la période des ondes sonores est un sous-multiple ($1/n$, n étant un entier) du temps que met une perturbation acoustique pour effectuer un aller-retour dans le tuyau. Jusque-là, rien d'étonnant. Toutefois, une question se pose. Dans un clairon, le son a pour origine les vibrations des lèvres du musicien. Or ici, point de lèvres, ni d'anche comme pour la clarinette ou le hautbois, ni même de biseau comme pour la flûte. D'où vient alors le son?

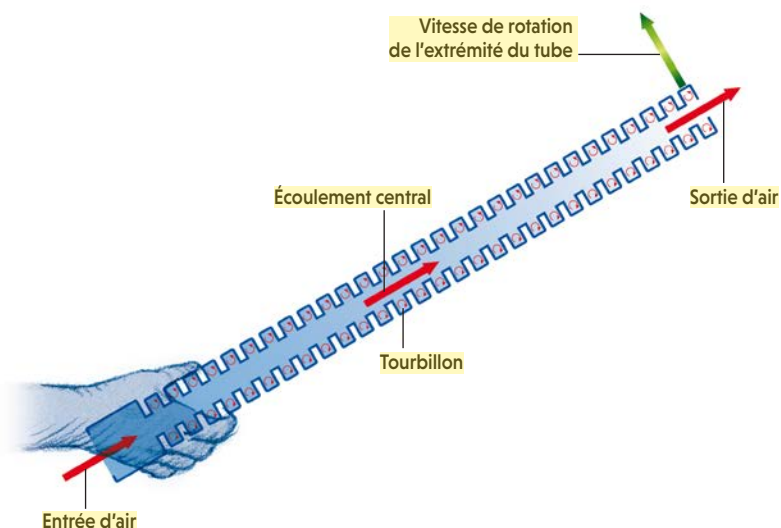
Expérimentons à nouveau. En regardant l'extrémité mobile du tuyau fendre l'air, on pourrait penser qu'il se produit à cet endroit un phénomène équivalent à celui qui permet de jouer une note en

CIRCULATIONS D'AIR

Dans un tube que l'on fait tourner rapidement, l'air intérieur est soumis à la force centrifuge. Il en résulte un écoulement d'air le long du tube, de l'extrémité tenue en main vers l'extrémité en rotation. Lorsque le tube comporte des corrugations (structure en accordéon par exemple), cet écoulement fait naître périodiquement un tourbillon au niveau de chaque corrugation. Lorsque la fréquence d'émission des tourbillons coïncide avec l'une des fréquences de résonance du tube, un son intense de cette fréquence est produit.



Des sons musicaux peuvent être produits en faisant tourner des tubes en accordéon ou en percutant des tubes lisses.



soufflant perpendiculairement au tube d'une flûte de Pan ou à une bouteille. Mais ce n'est pas le cas: si l'on bouche avec le pouce l'extrémité du tuyau tenue en main, l'instrument devient muet.

En revanche, si l'on souffle dans une gaine électrique (aux parois en accordéon) de faible diamètre, un son est émis. La même expérience échoue avec un tube hurleur: son diamètre est trop important pour que la bouche crée un écoulement d'air de vitesse suffisante. L'émission de son, qui disparaît par ailleurs avec un tuyau lisse, provient donc de l'effet conjugué des corrugations de la paroi et d'un écoulement d'air dans le tuyau.

Cette réponse suscite alors deux questions: pourquoi la rotation du tuyau provoque-t-elle un écoulement d'air dans celui-ci? Et pourquoi un écoulement d'air dans un tuyau corrugué engendrerait-il un son?

Répondons rapidement à la première question. L'air contenu dans le tuyau est soumis à une force centrifuge d'autant plus importante qu'il se trouve près de l'extrémité en mouvement. Or comme les deux extrémités du tuyau sont ouvertes et en contact avec de l'air à pression atmosphérique, l'air n'est pas retenu et se met donc en mouvement. Il s'établit un flux d'air continu, qui entre au niveau de

la main et sort par l'extrémité en mouvement rapide.

Un bilan complet à partir de l'équation de Bernoulli, loi bien connue de la mécanique des fluides, prédit que la vitesse d'écoulement (radiale) dans le tube est égale à la vitesse de son extrémité en rotation. Pour un son de 600 hertz (Hz), l'extrémité décrit des cercles d'environ 60 centimètres de rayon à raison de



Les auteurs ont dernièrement publié: **En avant la physique!**, une sélection de leurs chroniques (Belin, 2017).