IDÉES DE PHYSIQUE

Le didgeridoo, un tuyau chantant

D'un simple tube de bois, les aborigènes australiens tirent des sons d'une grande variété : le didgeridoo combine le jeu de trompette et celui de la voix humaine.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Avec une branche d'eucalyptus creusée par des termites, les aborigènes australiens réalisent un instrument de musique au jeu riche : le didgeridoo. Fruit des hasards de la nature, chaque exemplaire est différent des autres. Et pourtant, malgré la multiplicité des formes et des tailles, tous les didgeridoos partagent un timbre caractéristique. Comment expliquer cette singularité parmi les instruments à vent ?

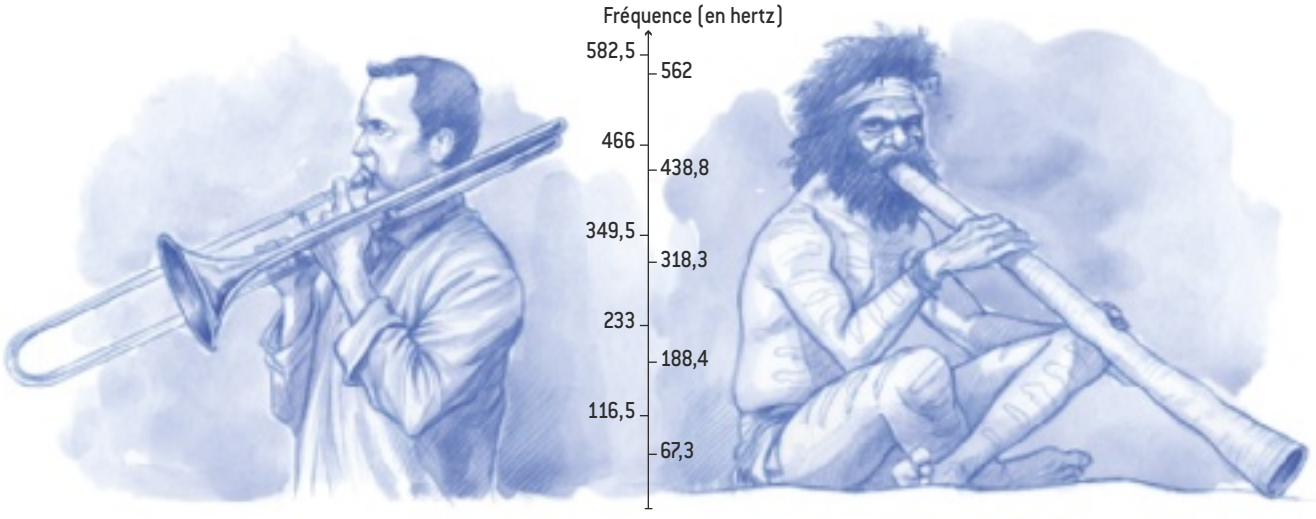
Pour fabriquer un didgeridoo, les aborigènes australiens choisissent une branche évidée par des termites, d'environ six centimètres de diamètre et un mètre et demi de longueur. Puis, avec de la cire d'abeille, ils façonnent à l'une des extrémités une embouchure. L'instrument est prêt.

On joue du didgeridoo en appliquant les lèvres sur l'embouchure et en les faisant vibrer en soufflant, comme sur une trompette ou un tuba. Pour changer le timbre ou la hauteur du son produit, point de trous, de clefs, ni de pistons : il suffit de souffler plus ou moins fort et de modifier le pincement des lèvres ou la position de la langue dans la bouche.

Au premier abord, le didgeridoo est un tuyau fermé à une extrémité par la bouche et ouvert à l'autre. Tel le cor de chasse, il n'est pas accordable et émet la note qui correspond à son mode fondamental : un son dont la période ondulatoire vaut deux fois la durée de l'aller-retour du son dans le tube – deux fois et non une car, lors de sa réflexion au niveau de l'extrémité ouverte, l'onde de pression repart avec une amplitude opposée. Pour notre didgeridoo typique, cela donne une fréquence inférieure à 60 hertz, qui correspond à une note très grave (comme dans une contrebasse). C'est la fréquence du son de base, nommé bourdon.

Trompette aléatoire

Pour comprendre l'émission du son, revenons sur le principe du bourdonnement que chacun peut expérimenter avec sa bouche. Soufflons en maintenant les lèvres fermées et tendues. La surpression créée dans la bouche, d'environ un centième d'atmosphère, écarte les lèvres ; lorsqu'elles s'entrouvrent, les pressions s'égalisent entre l'intérieur et l'extérieur et les muscles labiaux ramènent les lèvres en position ; la bouche se referme, où la sur-



1. LE TROMBONE À COULISSE est constitué d'un tube cylindrique bien régulier et, de ce fait, le son qu'il produit contient une fréquence de base (116,5 hertz pour un trombone en si bémol) et ses multiples entiers *(fréquences de gauche)*. Le didgeridoo n'est qu'approximativement cylindrique et son intérieur, creusé par des termites, est irrégulier. Les fréquences représentées dans le son qu'il produit *(à droite)* ne forment pas une série harmonique (ce ne sont pas des multiples entiers de la fréquence fondamentale) et diffèrent d'un instrument à l'autre.

© Pour la Science - n° 376 - Février 2009

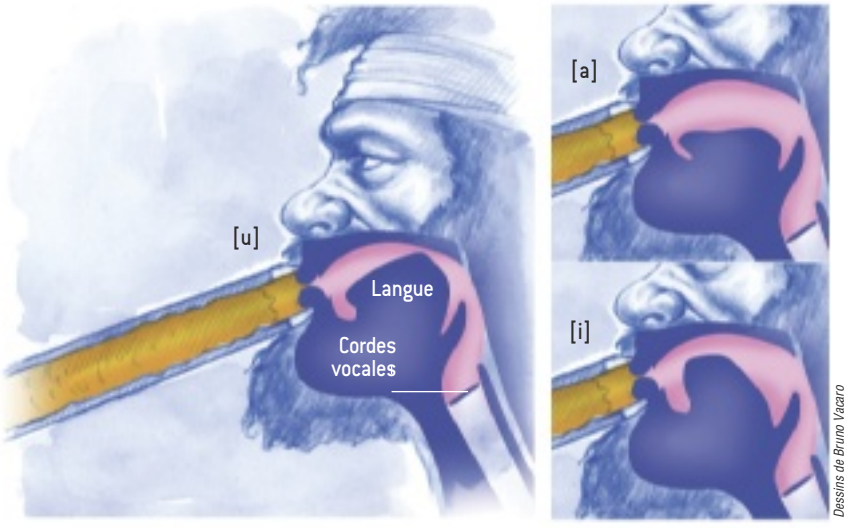
pression peut de nouveau s'installer, et ainsi de suite. Aidées par des effets aérodynamiques, les lèvres se mettent à vibrer.

Répétons l'expérience en plaquant les lèvres à l'embouchure d'un didgeridoo ou d'un cor. Les variations de pression produites par l'ouverture et la fermeture des lèvres se propagent dans le tube, se réfléchissent et reviennent interagir avec la bouche de l'instrumentiste. Pour la plupart des fréquences de vibration, cette action en retour perturbe les vibrations des lèvres et les entrave. En revanche, pour certaines fréquences particulières, les fréquences propres du tube, l'action en retour favorise les vibrations. Il est ainsi possible de faire résonner le tuyau à d'autres fréquences que la fréquence fondamentale.

Pour le cor de chasse, cylindrique, les fréquences possibles sont des harmoniques de la fréquence fondamentale, c'est-à-dire des multiples entiers de cette fréquence. En modifiant la tension des lèvres et en les faisant vibrer plus rapidement, l'instrumentiste peut ainsi changer de note, ou modifier le timbre de l'instrument et produire par exemple un son plus « cuivré » en augmentant la proportion des harmoniques présents dans le son émis.

Et pour le didgeridoo ? Les termites n'étant pas des architectes de style rectiligne, la géométrie de la section intérieure de l'instrument est aléatoire. Il s'ensuit que les fréquences propres successives ne suivent pas une série harmonique. En prenant comme unité la fréquence fondamentale, un didgeridoo donné aura comme fréquences propres successives par exemple 2,8 - 4,7 - 6,5 - 8,3 ..., tandis qu'un autre présentera la série 2,7 - 4,8 - 6,4 - 8,6 ... De plus, le matériau étant beaucoup plus irrégulier et moins rigide qu'un métal, les pertes d'énergie acoustique dans le tube sont plus importantes et les résonances bien moins prononcées, en particulier à haute fréquence : l'amplification est moins importante, mais couvre un intervalle de fréquences plus large.

Ainsi, alors que pour les cuivres, le son de base contient la fréquence fondamentale et ses harmoniques, ce n'est pas le cas pour le didgeridoo. Les premiers harmoniques de cet instrument ne sont en effet pas des fréquences propres. Ne sont présents que les harmoniques d'ordre élevé, dont la fréquence tombe dans une résonance suffisamment large. Il en résulte un bourdon qui ne sonne pas cuivré, immédiatement reconnaissable en raison de l'absence des premiers harmoniques.



Dessins de Bruno Vacaro

2. LE SON PRODUIT PAR UN DIDGERIDOO fait intervenir un couplage acoustique entre la cavité de l'instrument *(en orange)* et le conduit vocal *(en rose)*. En modifiant sa voix, par exemple en modifiant la position de la langue pour prononcer les voyelles [u] (comme « ou »), [a] ou [i], le joueur peut considérablement moduler le son produit.

Jouer avec la voix

Une seconde caractéristique du didgeridoo permet de modifier notablement la composition du son émis. Que ce soit dans les cuivres ou le didgeridoo, les vibrations des lèvres produisent des ondes sonores se dirigeant vers le tube de l'instrument, mais aussi vers l'intérieur de la bouche.

Pour les cuivres, l'amplitude des vibrations de l'air est beaucoup plus importante dans le tube que dans la bouche, car le diamètre du tube est plus petit que la taille de la bouche. Par conséquent, c'est l'effet en retour des vibrations de l'air dans le tube qui détermine le son de l'instrument.

En revanche, la section d'un didgeridoo est comparable aux dimensions de la bouche : les ondes sonores dans le tube et dans la bouche ont des caractéristiques comparables. L'effet de la modification du conduit vocal est alors sensible. Avec une trachée close par les cordes vocales, longue d'environ 17 centimètres, la réponse du conduit vocal présente des résonances très atténuées (car la chair est souple !) à environ 500 hertz, 1 000 hertz, 1 500 hertz, etc.

Mais en modifiant la position de la langue, on peut déplacer ces résonances

LES AUTEURS

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

POUR INFO

Nous avons eu le plaisir d'apprendre que Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik ont reçu fin 2008 le prix Jean Perrin décerné par la Société française de physique pour leur effort de vulgarisation de la science, notamment dans les colonnes de *Pour la Science*. Chaque mois depuis plus de sept ans, ils vous proposent la rubrique *Idées de physique*.

Retrouvez les articles de J.-M. Courty et E. Kierlik sur **www.pourlascience.fr**

SUR LE WEB

Laboratoire d'acoustique de l'Université des Nouvelles-Galles-du-Sud, à Sydney : www.phys.unsw.edu.au/jw/didjeridu.html

BIBLIOGRAPHIE

N. H. Fletcher, L. C. L. Hollenberg *et al.*, **Vocal tract resonances and the sound of the Australian didjeridu : I, II et III,** *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 119(2), pp. 1194-1204 et 1205-1213, 2006 ; vol. 121 (1), pp. 547-558, 2007.

N. Amir, **Some insight into the acoustics of the didjeridu,** *Applied Acoustics*, vol. 65, pp. 1181-1196, 2004.

et prononcer les voyelles (par définition des sons tenus, à la différence des consonnes). Si l'on peut distinguer les voyelles de la voix humaine, indépendamment de leur hauteur (fixée par les cordes vocales), c'est à cause des résonances principales nommées formants. Quand la langue est agencée pour faire un *u*, les résonances du conduit vocal sont à 320 et 800 hertz ; elles se déplacent à 1 000 et 1 400 hertz pour un *a*, etc. Il arrive avec le didgeridoo ce qui arrive avec les cordes vocales : si le bourdon est à 60 hertz, en plaçant sa langue de façon à produire un *u*, on va amplifier les harmoniques 5 et 13-14, proches des résonances de la trachée, et probablement atténuer les harmoniques 9-10-11, qui en sont éloignés. Un timbre caractéristique apparaît.

On peut même parler dans l'instrument : les aborigènes imitent ainsi des cris d'animaux. Dans ce cas, on doit ajouter, aux différents couplages acoustiques, celui des cordes vocales avec les lèvres. Il a pour effet de produire des sons en mélangeant les fréquences : si le joueur chante un do_3 grave, à 146 hertz (soit 5/2 fois la fréquence fondamentale), la combinaison de fréquences donnera un son vers 30 hertz, soit une octave au-dessous du son de base. En général, un tel son n'est guère puissant, mais semble très présent à cause de la cascade harmonique, ce qui donne un timbre très râpeux.

Le contrôle du souffle et la maîtrise du conduit vocal par l'instrumentiste sont ainsi au cœur de la pratique du didgeridoo. Cela a même des vertus thérapeutiques. Des études récentes ont en effet montré que la pratique régulière de l'instrument constitue un traitement assez efficace de l'apnée du sommeil !

ACTUELLEMENT EN KIOSQUE

Cerveau & Psycho

Peut-on prévoir la longévité d'un couple ? Les méthodes d'entraînement cérébral sont-elles efficaces ? Que nous apprennent les hallucinations sur le fonctionnement du cerveau ? Comme dans chaque numéro de *Cerveau&Psycho*, psychologues et neurobiologistes vous proposent des réponses.

Les génies de la science

Fondateur de la neurologie, « Napoléon des névroses », Jean-Martin Charcot suscita autant de louanges que de polémiques. Rencontrez ce médecin du XIXe siècle qui inspira les écrivains de son temps, de Zola à Tolstoï.

Les Dossiers Pour la Science

De nouvelles expériences, observations et théories sont développées pour résoudre les énigmes lancinantes de la physique, comme l'existence ou non du boson de Higgs, la nature de la matière noire, la forme de la gravitation à l'échelle des particules, l'expansion de l'Univers, etc. Vont-elles bouleverser notre vision du monde ?

POUR LA SCIENCE

© Pour la Science - n° 376 - Février 2009