

> suivant l'évolution au cours du temps du quart de cercle qui les joint (voir l'encadré page précédente); c'est même à ces endroits que les vibrations longitudinales sont les plus fortes. Ainsi, les points N, E, S et O sont des ventres de vibration radiale et des nœuds de vibration longitudinale, tandis que les points NE, SE, SO et NO sont des ventres longitudinaux et des nœuds radiaux. Les points intermédiaires présentent les deux types de vibration, conformément à notre intuition à l'issue de notre première expérience.

D'autre part, on comprend l'origine des deux notes de la tasse. Dans le mode 1, l'anse de la tasse est sur un ventre de vibration radiale, tandis que dans le mode 2, elle est sur un ventre de vibration longitudinale dont le calcul montre que l'amplitude est deux fois inférieure à celle du ventre radial. La mise en mouvement de la masse de l'anse diffère donc dans les deux cas: elle est plus forte dans le mode 1, et donc plus sensible à sa masse. En revanche, la force de rappel, due à la «raideur» de la paroi, est la même dans les deux cas. Par conséquent, comme pour tout oscillateur, plus la masse est élevée, plus la période des vibrations est longue et plus la note est grave.

DES NOTES DIFFÉRENTES SELON LE DIAMÈTRE, L'ÉPAISSEUR...

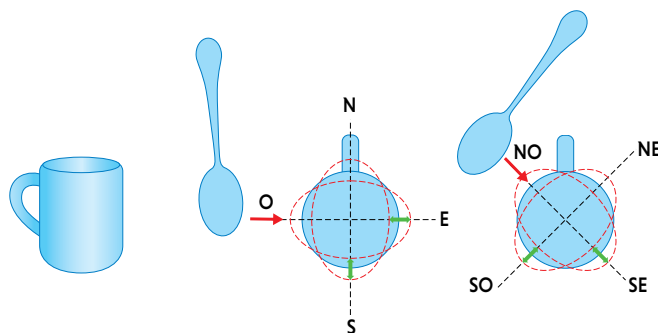
Comment faire des notes différentes afin de réaliser une gamme musicale complète? On peut varier plusieurs paramètres: le diamètre des verres, leur épaisseur et leur contenu. Si l'on augmente le diamètre du verre, on augmente la distance que l'onde de flexion doit parcourir lorsqu'elle fait un tour du verre. Or pour obtenir une onde stationnaire sur le pourtour, il faut que la durée du tour soit égale à la période de la vibration, donc à l'inverse de la fréquence. La théorie de l'élasticité montre que la vitesse des ondes de flexion varie comme la racine carrée de la fréquence. On en déduit que la fréquence du son est proportionnelle à l'inverse du carré du diamètre du verre. Plus le verre est grand, plus la note est grave!

Par ailleurs, si l'on augmente l'épaisseur du verre, la masse mise en mouvement augmente proportionnellement, mais, en même temps, on augmente la «raideur» de la paroi, qui varie comme le cube de l'épaisseur. Ainsi, la raideur croît plus vite que la masse, et la fréquence est proportionnelle à l'épaisseur: plus le verre est épais, plus la note est aiguë.

Ces deux ingrédients ont suffi à l'illustre Benjamin Franklin pour concevoir un harmonica de verre original. Des bols

UNE ANSE, DEUX MODES DE VIBRATION

En tapotant avec une cuillère une tasse dotée d'une anse, le bord du récipient se met à vibrer selon deux modes possibles. Si l'on tapote aux points cardinaux N, O, S ou E, le mode de vibration excité est celui dont l'un des axes est aligné avec l'anse (qui se trouve donc sur un ventre de vibration radiale). Si l'on frappe la tasse aux points NE, SE, SO ou NO, l'anse se trouve sur un nœud de vibration radiale. Cela correspond à un autre mode de vibration, qui produit une note différente. Si la cuillère frappe un point intermédiaire, les deux modes de vibration sont excités.



en cristal ou en verre de diamètres et d'épaisseurs bien choisis sont imbriqués les uns dans les autres et solidaires d'un axe qu'une pédale ou un moteur fait tourner. Il suffit à l'instrumentiste de mouiller ses doigts, de les poser sur ces bols et les laisser frotter pour faire chanter ces derniers et jouer des partitions conçues pour cet «armonica», comme l'Adagio et Rondo K. 617 de Mozart.

Si l'on ne dispose pas d'un tel instrument, on peut se contenter d'ajouter de l'eau ou tout autre liquide dans nos services de verres. Dans ce cas, les vibrations des parois se transmettent au liquide. Ajouter de l'eau augmente la masse mise en mouvement: plus il y a d'eau dans le verre, plus le son est grave. Mais peut-on être plus précis?

Quand un verre chante, l'amplitude des vibrations est nulle au fond de celui-ci et augmente à mesure que l'on se rapproche du bord supérieur. Autrement dit, l'eau du fond du verre est bien moins mise en mouvement que l'eau située en hauteur. L'effet de l'eau ajoutée est donc d'autant plus important que le verre est déjà rempli: une même quantité d'eau ajoutée à un verre presque plein a beaucoup plus d'effet que si on l'ajoute à un verre presque vide. Pour obtenir les notes successives de la gamme en ajoutant de l'eau à une série de verres identiques, il faudra donc ajouter de moins en moins d'eau pour garder des intervalles musicaux égaux. Mieux vaut alors procéder par tâtonnements, en se munissant d'un accordeur. ■

BIBLIOGRAPHIE

T. D. Rossing, **Acoustics of the glass harmonica**, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 95(2), pp. 1106-1111, 1994.

T. D. Rossing, **Wine glasses, bell modes, and Lord Rayleigh**, *The Physics Teacher*, vol. 28(9), pp. 582-585, 1990.

A. P. French, **In Vino Veritas : A study of wineglass acoustics**, *American Journal of Physics*, vol. 51(8), pp. 688-694, 1983.

POUR LA SCIENCE

Édition française de Scientific American

**COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION
DÈS MAINTENANT !**



N° 493 (nov. 18)
réf. PL493



N° 492 (oct. 18)
réf. PL492



N° 491 (sept. 18)
réf. PL491



N° 490 (août 18)
réf. PL490



N° 489 (juillet 18)
réf. PL489



N° 488 (juin 18)
réf. PL488



N° 487 (mai 18)
réf. PL487



N° 486 (avril 18)
réf. PL486



N° 485 (mars 18)
réf. PL485



N° 484 (févr. 18)
réf. PL484



N° 483 (janv. 18)
réf. PL483



N° 482 (déc. 17)
réf. PL482

À retourner accompagné de votre règlement à :

Pour la Science – Service VPC – 19 rue de l'Industrie – BP 90053 – 67402 Illkirch Cedex – email : pourlascience@abopress.fr



OUI, je commande des numéros de Pour la Science, au tarif unitaire de 9,90 €.

1 / JE REPORTE CI-DESSOUS LES RÉFÉRENCES à 5 chiffres correspondant aux numéros commandés :

1^{re} réf. _____ 0 1 x 9,90 € = 9,90 €

2^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €

3^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €

4^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €

5^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €

6^e réf. _____ x 9,90 € = _____ €

TOTAL À RÉGLER _____ €

Groupe Pour la Science – Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris Cedex 14 – Sarl au capital de 32000 € – RCS Paris B 311 797 393 – Siret : 311 797 393 000 23 – APE 5814 Z

Offre valable jusqu'au 31/12/2019 en France Métropolitaine uniquement. Pour l'export, rendez-vous sur notre site internet boutique.pourlascience.fr. Les prix affichés incluent les frais de port et les frais logistiques. Les informations que nous collectons dans ce bulletin d'abonnement nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société Pour la Science. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. Pour la Science ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à Pour la Science. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : <https://rebrand.ly/charte-donnees-pls>. Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pourlascience.fr.

2 / J'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Téléphone _____

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

3 / JE CHOISIS MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Carte bancaire

N° _____

Date d'expiration _____

Clé (les 3 chiffres au dos de votre CB) _____

Signature obligatoire :



**RETROUVEZ TOUS LES ANCIENS NUMÉROS SUR
BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR**

L'AUTEUR



HERVÉ LE GUYADER
professeur émérite de biologie
évolutive à Sorbonne
Université, à Paris

COMMENT LE BLÉ EST DEVENU TENDRE

Le récent séquençage du génome du blé tendre a révélé comment une succession d'hybridations a réuni dans un même noyau trois génomes qui, à présent, dialoguent ensemble.

Avec son génome colossal – 14,5 milliards de paires de bases, soit près de cinq fois plus que le génome humain –, le blé tendre (*Triticum aestivum*) ou froment, qui fournit la farine du pain blanc, a longtemps constitué un casse-tête pour les généticiens. Mais, en juillet dernier, un consortium international a enfin entièrement séquencé cet imposant génome après treize ans d'un minutieux travail. Ce séquençage a non seulement confirmé les curieux méandres de son histoire évolutive, mais aussi les rouages intimes du principal moteur de cette histoire, la polyploïdisation.

La polyploïdisation – l'augmentation du nombre de lots de chromosomes – semble être la source majeure de l'innovation génétique chez les plantes à fleurs. Il s'agit tantôt d'une autopolyploïdisation – la multiplication d'un même génome –,

tantôt d'une allopolyploïdisation – la réunion de génomes différents par hybridation. Depuis longtemps, les généticiens se doutent que ce phénomène est courant dans le règne végétal. Ils ont d'ailleurs décrit plusieurs « séries polyploïdes » comme celle des chrysanthèmes sauvages de Chine (genre *Chrysanthemum*) : dotés de $N = 9$ chromosomes de base, ces chrysanthèmes existent en effet aussi sous des formes diploïdes (avec $2N = 18$ chromosomes), tétraploïdes (avec $4N = 36$ chromosomes) et même hexaploïdes (avec $6N = 54$ chromosomes).

UNE MUTATION QUI FAVORISE LA SPÉCIATION

En particulier, les généticiens ont vite compris qu'une diploïdisation favorise une spéciation. Imaginons une plante diploïde (à $2N$ chromosomes) dont une variante tétraploïde (à $4N$ chromosomes) serait apparue. La méiose – la



Plus de 90 % du blé cultivé dans le monde est du blé tendre (*Triticum aestivum*), utilisé principalement pour faire du pain et de la pâtisserie.



Blé (genre *Triticum*)
Blé dur : 90 à 160 cm de long, tétraploïde
Blé tendre : 60 à 100 cm de long, hexaploïde
(ce bouquet est un mélange des deux espèces)