



l'ensemble musical dense. En effet, la focalisation de l'attention sur un flux donné conduit à une diminution de l'intensité perçue des flux non sélectionnés. Nous avons réalisé une expérience où nous avons mesuré cette atténuation subjective due à l'attention : les sujets écoutent différents flux sonores dont les intensités physiques sont identiques et fixées à 70 décibels. Nous avons mesuré que l'auditeur est capable, grâce à ce mécanisme mental d'atténuation, de diminuer l'intensité relative des flux qu'il souhaite ignorer d'au moins 15 décibels. Nous mettons en place ce même mécanisme mental quand nous

cherchons à suivre une conversation particulière dans une pièce bondée, ou quand nous parvenons à «oublier» les pas dans les allées pendant le concert.

Nous avons aussi montré que le cerveau ne semble pas être capable de créer autant de flux simultanés qu'il y a de sources potentielles dans l'environnement. Nos recherches, menées en collaboration avec Carolyn Drake de l'Université Paris 5, indiquent que le nombre de flux perceptifs serait limité à quatre (trois flux intelligibles, plus un fond inorganisé). Dans notre expérience, le sujet écoute, dans un casque, des séquences sonores composées de la superposition de sous-séquences rythmiques simples et régulières. Il doit détecter un léger changement de rythme dans une de ces sous-séquences ; il ne peut le faire que s'il perçoit la sous-séquence comme un flux régulier, indépendamment de l'irrégularité générale de l'ensemble. Le sujet ne semble pas capable d'écouter plus de quatre flux simultanément. Emmanuel Bigand et Cécilia Garnier, du Laboratoire d'étude de l'apprentissage et du développement de l'Université de Bourgogne, ont fait des expériences similaires avec des sons de la vie quotidienne, tels les aboiements de chiens ou des bruits de voiture ; ils ont confirmé nos résultats, en montrant que les auditeurs ne peuvent pas dénombrer plus de quatre flux indépendants au sein de scènes sonores composées de plusieurs sources différentes.

Pourquoi Bach a-t-il alors composé des fugues comportant jusqu'à six voix, puisqu'il est impossible d'en écouter plus de quatre simultanément, même pour un auditeur expert ? D'après l'analyse de ses partitions, quel que soit le nombre total de lignes mélodiques, Bach a composé de telle sorte qu'il n'y en ait que trois ou quatre jouées à la fois. Bach connaissait les limites du système auditif de son public...

Renaud BROCHARD, Laboratoire d'étude de l'apprentissage et du développement, Université de Bourgogne

## Cristallisation acoustique

*On a cristallisé de l'hélium liquide avec des ondes sonores intenses.*

**D**ans l'imagination du dessinateur Hergé, la voix de la Castafiore avait une puissance telle qu'elle brisait les verres à distance. Plus sérieusement, dans les hôpitaux, les médecins parviennent à casser des calculs rénaux à l'aide d'ultrasons. À l'École normale supérieure de Paris, avec Xavier Chavanne et Frédéric Caupin, nous utilisons aussi des ondes sonores... pour cristalliser un liquide.

Inutile de vous égosiller pour tenter de transformer de l'eau en glace, vous n'arriverez jamais aux puissances nécessaires. Pour atteindre 200 décibels, 100 000 fois le bruit d'un moteur d'avion à réaction, nous avons placé un émetteur piézo-électrique directement dans un liquide. Afin d'augmenter l'intensité sonore, l'émetteur est hémisphérique, ce qui focalise les ondes dans une région qui est d'autant plus petite que la longueur d'onde est courte (ou encore la fréquence élevée). Nous utilisons par conséquent des ultrasons de haute fréquence, à un mégahertz, environ six octaves au-dessus de la limite audible par l'homme.

Pour explorer les effets des ultrasons dans la matière, nous avons commencé par l'hélium liquide à 65 millikelvins (environ  $-273^{\circ}\text{C}$ ) et à 25 fois la pression atmosphérique normale ( $25 \times 10^5$  pascals), tout près de la pression d'équilibre entre le liquide et le solide. Nous avons mesuré l'intensité de

nos ultrasons en étudiant la réflexion d'un faisceau laser sur une plaque de verre propre, insérée dans l'hélium liquide, au point focal acoustique. L'intensité laser réfléchie varie en fonction de la densité de l'hélium, et nous en avons déduit la pression locale. Lorsque la pression au point focal atteint  $4,7 \times 10^5$  pascals de plus que les  $25 \times 10^5$  pascals ambiants, de petits cristaux apparaissent au point focal de l'onde sonore.

Ces cristaux croissent jusqu'à 15 micromètres (15 millièmes de mètres) en 150 nanosecondes (150 milliardièmes de seconde) pendant la phase de compression de l'onde, donc à la très grande vitesse de 100 mètres par seconde. Un quart de période plus tard, l'onde acoustique passe en phase de décompression, les cristaux fondent aussi vite, et ainsi de suite, tant que l'onde sonore est entretenue. Nous avons observé ce phénomène relativement facilement parce que les cristaux d'hélium croissent ou fondent extrêmement



Cristal d'hélium obtenu par compression lente à partir d'un germe.