

> comprend ainsi que les contraintes acoustiques d'une salle de théâtre diffèrent de celles d'une salle de concert, sans parler de l'opéra qui conjugue parole et musique...

Comment connaître le temps de réverbération pour une pièce de forme quelconque? Il faut d'abord estimer le parcours moyen entre deux réflexions du son sur les parois en tenant compte de tous les trajets possibles, y compris les réflexions multiples sur les murs. Chose remarquable, il existe une estimation simple dans le cas d'une salle parallélépipédique: le parcours moyen est égal à 4 fois le rapport entre le volume de la pièce et sa surface. Pour une pièce large de 3 mètres, longue de 4 mètres et haute de 2,5 mètres, on obtient environ 2 mètres, une valeur inférieure à toutes les dimensions de la pièce. La raison en est que les réflexions dominantes sont celles entre murs adjacents (au niveau des arêtes et des coins).

Il nous faut ensuite connaître comment le son est absorbé, car plus l'absorption est importante, plus le temps de réverbération est court. Or les moyens de moduler l'absorption sont nombreux.

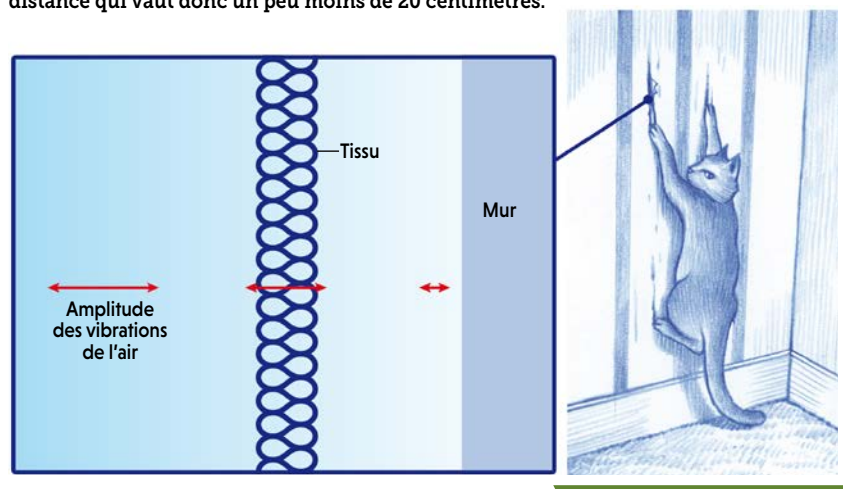
CONTRÔLER LA RÉVERBÉRATION EN MODULANT L'ABSORPTION

L'absorbant idéal (100%) est évidemment une ouverture – porte ou fenêtre ouverte – qui ne renvoie aucun son. Sinon, le son peut être partiellement transmis (et donc moins réfléchi) à travers des surfaces rigides. Par exemple, une vitre en verre transmet le son d'autant plus efficacement que celui-ci est grave: la transmission est de 35% à 150 hertz, 20% à 500 hertz (la tonalité du téléphone) et seulement 4% à 4000 hertz.

On peut aussi utiliser des matériaux poreux ou fibreux (moquette, tapis, plaque de liège...). D'une part, les oscillations de l'air provoquées par le passage de la vibration sonore s'amortissent dans les multiples petits canaux du matériau, par effet de viscosité (comme l'écoulement de l'eau dans un tuyau). D'autre part, une partie de l'énergie acoustique se transmet aux fibres, qui sont mises en mouvement. Toutefois, ces amortissements sont faibles si on colle le matériau à la paroi, qui est un nœud de vibration: les oscillations de l'air perpendiculairement à la surface y ayant une très faible amplitude, on a tout à gagner à écarter le matériau du mur (*voir l'encadré ci-dessus*). C'est flagrant avec les tissus et tentures suspendus: à 1 kilohertz, un rideau de velours absorbe près de 80% de l'intensité sonore.

DU TISSU MURAL BIEN POSÉ

Pour qu'un tissu mural absorbe bien les bruits, il faut laisser un espace entre lui et le mur, de l'ordre du centimètre. En effet, au niveau du mur, on a un nœud de vibration de l'air: les oscillations de l'air (*doubles flèches, échelle exagérée*) perpendiculaires au mur et dues à l'onde sonore y sont d'amplitude nulle. Or pour absorber de l'énergie sonore, un tissu mural (ou un rideau) doit se trouver là où les vibrations acoustiques sont notables. Pour une fréquence sonore de 440 hertz – la tonalité du téléphone –, l'amplitude des oscillations de l'air est maximale à une distance au mur égale au quart de la longueur d'onde du son, distance qui vaut donc un peu moins de 20 centimètres.



Le plus souvent, une pièce a des parois de natures différentes sur le plan acoustique. On caractérise alors chaque surface par sa surface équivalente de fenêtre ouverte, obtenue en multipliant l'aire considérée par le coefficient d'absorption. L'unité utilisée est le sabin, du nom du physicien américain Wallace Sabine qui, en 1898, a trouvé une très bonne approximation du temps de réverbération.

La probabilité moyenne d'absorption d'un son est alors le rapport entre la surface équivalente d'absorption et la surface totale des parois de la pièce. On calcule ensuite le temps de réverbération à partir du parcours moyen du son et de la probabilité moyenne d'absorption. *In fine*, il ne reste, dans la formule de Sabine donnant le temps de réverbération, que le rapport entre le volume de la pièce sur la surface absorbante, le tout multiplié par un coefficient numérique qui vaut environ 0,16.

Pour la salle parallélépipédique évoquée plus haut, le temps de réverbération avec des murs en béton est de 8 secondes. Avec de la moquette et du liège sur les murs, ce temps est divisé par 20, ce qui donne 0,4 seconde, une valeur tout à fait acceptable. En pratique, la présence de mobilier ou de spectateurs pour les salles de concerts change aussi considérablement les choses, et il faut prendre cela en compte pour estimer avec précision les propriétés acoustiques de la salle. ■

BIBLIOGRAPHIE

D. Keepports, **Simple echoes and subtle reverberations**, *Physics Education*, vol. 45(2), pp. 190-195, 2010.

H. G. Leventhall, **The acoustics of rooms**, *Physics Education*, vol. 2(2), pp. 101-106, 1967.

L'AUTEUR



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

COMMENT UNE BLATTE DEVIENT ZOMBIE

Deux piqûres de la guêpe émeraude suffisent à transformer une blatte américaine en un garde-manger docile pour une de ses larves. Son secret? Un cocktail venimeux qui attaque les neurones de la blatte sur tous les fronts...

Une fourmi qui grimpe au sommet des brins d'herbe et finit dans l'estomac d'un mouton; un rat qui ne fuit pas devant un chat et se laisse dévorer; une coccinelle qui couve le cocon d'une guêpe...

Derrière ces comportements paradoxaux se cache toujours un parasite, qui optimise la dispersion de sa descendance en infestant un animal et en le manipulant. La biologie évolutive s'est saisie de ce phénomène fascinant et a montré qu'il s'établit sous la pression de la sélection naturelle. Par exemple, des expériences ont montré que les cocons de guêpes braconides (*Dinocampus coccinellae*) protégés par des coccinelles maculées (*Coleomegilla maculata*) vivantes sont moins soumis à la prédation que ceux laissés seuls ou recouverts d'une coccinelle morte.

Toutefois, jusqu'à récemment, on ne savait pas expliquer comment le parasite agit sur la physiologie de l'hôte. Certes, en 2015, Nolwenn Dheilly, alors à l'université de Perpignan, et ses collègues ont résolu une part du mystère dans le cas de la coccinelle: ils ont montré que la guêpe *D. coccinellae* agit sur sa proie en lui transmettant un virus qui bloque sa réponse immunitaire antivirale et se multiplie dans ses ganglions nerveux, mais le

scénario reste à préciser. En revanche, une étude récente du venin de la guêpe émeraude (*Ampulex compressa*) vient d'établir avec précision ce qui se passe dans le système nerveux de son hôte, la blatte américaine (*Periplaneta americana*).

LA GUÊPE PREND LES COMMANDES

La guêpe émeraude est un hyménoptère dit parasitoïde: elle ne parasite son hôte que durant une partie de sa vie, la phase larvaire. La guêpe femelle fécondée attaque la blatte qui, d'ailleurs, ne se laisse pas faire et tente de la repousser. Deux piqûres venimeuses lui suffisent à transformer sa victime en une proie passive pour une de ses larves. La première piqûre, effectuée dans le ganglion nerveux du premier segment thoracique de la blatte, induit la paralysie de sa première paire de pattes pendant quelques minutes. La guêpe en profite pour lui infliger une deuxième piqûre très précise dans deux ganglions nerveux céphaliques, le cerveau proprement dit et le ganglion sous-œsophagien (voir l'encadré page 94). La blatte commence alors un comportement de toilette intense qui dure une trentaine de minutes. Pendant ce temps, la guêpe apprête le terrier qu'elle a déjà creusé non loin du lieu de l'attaque.

Puis la blatte présente un comportement étonnant, appelé hypokinésie. Alors que la plupart des autres insectes parasitoïdes paralysent simplement leurs proies, le venin de la guêpe émeraude modifie spécifiquement le comportement de fuite et de marche spontanée, toutes les autres fonctions motrices – marche, nage, prise de nourriture – restant intactes: la blatte hypokinésique marche si elle est tirée, nage si on la pousse dans l'eau... La guêpe peut ainsi tranquillement mener sa proie vers son terrier, pondre un œuf sur le fémur d'une patte et fermer le terrier avec des graviers et des feuilles.

La larve éclôt dans les trois jours et se nourrit de l'hémolymph de la blatte en mordant l'articulation de la base de la patte, où la cuticule est souple. La salive de la larve contient un impressionnant cocktail de molécules antimicrobiennes qui préservent l'intégrité de la blatte. Après deux mues, à la fin du deuxième stade larvaire, la larve pénètre dans la cavité corporelle de la blatte, où elle mange en priorité le tissu adipeux et les muscles, laissant de côté les organes vitaux comme l'intestin et les tubes de Malpighi, l'analogue des reins chez les insectes.

La blatte survit ainsi jusqu'à la fin du troisième stade larvaire, environ huit jours après l'éclosion. La larve engage >