

Le son: de l'objet à l'oreille

1. La source sonore

Lorsqu'on heurte une tasse avec une cuillère, la tasse vibre librement et crée une perturbation dans le milieu environnant, et plus particulièrement un mouvement périodique correspondant à une onde de pression. Notre système auditif subit la force de l'onde et nous entendons un son. Le son est en fait composé d'une somme de "notes" dont les fréquences caractéristiques correspondent aux fréquences 'naturelles' de la tasse. Les vibrations de la tasse après impact sont appelées **modes propres** de vibration.

Lorsqu'un système vibre à ses fréquences naturelles, il est soumis à des **ondes stationnaires**. Elles naissent de deux ondes progressives se propageant en sens inverse. Contrairement aux ondes progressives, elles ne produisent aucun transport d'énergie. Les ondes stationnaires créent une perturbation dans le milieu environnant qui se propage de proche en proche. Ainsi, ce type d'ondes sont produites à l'intérieur et sur un instrument de musique lui conférant sa sonorité particulière. Une simple expérience permet de saisir la notion de fréquence naturelle ou mode propre: en secouant une corde attachée à une extrémité, on peut observer selon la fréquence de l'excitation l'apparition d'une onde sinusoïdale qui court le long de la corde. Chaque mode propre a une période et une fréquence qui est intimement corrélée à la longueur de la corde.

Un objet vibrant, on l'appellera 'système', perd de l'énergie pour diverses raisons dont celle d'émettre un son. Cet effet, appelé amortissement, induit une décroissance exponentielle des vibrations, si aucun nouvel apport d'énergie est injecté dans le système. Si l'on applique une force d'excitation au système, il entre en vibration à des fréquences dites 'naturelles', c'est à dire propres à sa géométrie, ses dimensions et son matériau, mais aussi à des fréquences qui sont propres au type d'excitation. Enfin, lorsque la fréquence d'excitation correspond à une **fréquence naturelle** de vibration du système, l'amplitude de la réponse du système est plus importante en proportion que la quantité d'énergie fournie par l'excitation. Ainsi, tout solide mis en contact d'un son ayant une fréquence similaire à la sienne subit une excitation telle qu'il entre en résonance si cette dernière est maintenue (cela peut s'expérimenter avec un diapason excité et mis à proximité d'une corde de LA qui se met à sonner sans même être touchée). Dans le cas connu de la Castafiore qui cassa le verre avec le son de sa voix, l'onde sonore émise engendre une telle vibration que les particules (molécules/atomes), vibrant trop, outrepassent la zone élastique de l'objet, aboutissant à sa rupture.

Tout objet peut potentiellement vibrer et présente des modes propres de vibration. (On parlera même de mode de vibration pour une salle.) Les formes des modes de vibration peuvent être déduites pour des objets simples à 1 dimension ou 2 dimensions, par résolution des équations mécaniques en continu. Lorsque l'objet est plus complexe, on utilise la méthode des éléments finis pour discrétiser l'objet et permettre de résoudre les équations mécaniques à l'échelle des éléments discrets. Quelque fois, on considère que la masse et la raideur de l'objet sont répartis sur sa surface en des points, appelés noeuds, et que la vibration sonore naît d'une multitude de systèmes "masse -ressort" dont la période de vibration est donnée par $T = 2\pi \sqrt{m/k}$ où m et k sont respectivement la masse et la raideur du ressort. Dès lors, grâce au mathématicien Joseph Fourier qui montra que toute onde périodique de fréquence f peut être décomposée en une somme d'ondes sinusoïdales de fréquence f , $2f$, $3f$, ... , nous pouvons sommer la contribution de chaque système "masse-ressort" pour obtenir le son final.

2. L'onde sonore: un transport d'énergie sans transport de matière

L'onde sonore est une onde mécanique caractérisée par de petits déplacements locaux ou vibration des éléments du milieu qui supportent cette onde. On parle d'onde car il s'agit de la propagation d'une perturbation, le mouvement local de molécules, entraînant un transport d'énergie et non un transport de matière. D'où la nécessité d'une matière pour la porter, et l'absence de son dans le vide. L'onde sonore peut être ainsi rapprochée au mouvement de la vague marine qui transporte horizontalement l'énergie du vent sans transport global de l'eau, les particules d'eau n'ayant qu'un mouvement approximativement elliptique (observable par le mouvement uniquement transversal du flotteur du pêcheur sur la surface de l'eau).

L'onde sonore peut être transmise dans un solide, un liquide ou un gaz. Dans les gaz et les liquides, le son est transmis par ondes longitudinales ou ondes de compression qui se caractérisent par des

zones de compression/dépression des entités élémentaires du milieu dit transmetteur. Dans les solides, le son peut se transmettre par ondes longitudinales mais aussi transversales, c'est à dire perpendiculaires au sens de propagation.

La vitesse de propagation du son dépend de la nature, de la température et de la pression du milieu. Les ondes sonores se déplacent dans l'air à 20°C à une vitesse de 344 m/s, tandis que dans des milieux solides, elles peuvent se propager plus rapidement: 1482 m/s dans l'eau, 5050 m/s dans l'acier (les indiens d'Amérique le savaient bien, en collant l'oreille sur le sol pour s'assurer de l'approche d'animaux ou de personnes, des rails de chemins de fer par exemple).