

Le son: de l'objet à l'oreille

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).

>> Appli processing montrant la propagation de la perturbation sans le transport de matière??

Le son est transmis à travers les gaz et les liquides par ondes longitudinales ou ondes de compression qui se caractérisent par des zones de compression/dépansion des entités élémentaires du milieu dit transmetteur. Le son dans l'air peut être décrit par le mouvement du piston. Lorsque le piston se translate, les particules d'air capturées se meuvent de gauche à droite autour de leur position d'équilibre. Ceci crée des zones de compression et d'expansion où la pression est respectivement plus et moins élevée que la pression atmosphérique moyenne. La perturbation est transmise de proche en proche et non les particules individuelles. Dans les solides, le son peut se transmettre par ondes longitudinales mais aussi transversales, c'est à dire perpendiculaires au sens de propagation.

L'onde sonore peut être transmise dans un solide, un liquide ou un gaz.

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).

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.

Une vibration de faible amplitude est toujours sinusoïdale et est dénommée **mouvement harmonique**. La période de vibration de ce type de mouvement ne dépend pas de son amplitude et est donnée par $T = 2\pi\sqrt{m/k}$ où m et k sont respectivement la masse et la raideur de l'objet vibrant. L'onde sinusoïdale est un cas particulier des **ondes périodiques**. Le mathématicien français Fourier montra que toute onde périodique de fréquence f peut être décomposée en une somme d'ondes sinusoïdales de fréquence $f, 2f, 3f, \dots$. En ce sens, les **ondes sinusoïdales** sont les éléments fondamentaux de toute onde.

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.

>> Appli processing pendulum??

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.

>> Appli processing: les modes propres d'une corde

Tout objet peut potentiellement vibrer et présente des modes propres de vibration. 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.