

Chapitre n°2 : Caractéristiques des ondes

Notions et contenus	Compétences exigibles
Caractéristiques des ondes Ondes progressives. Grandeurs physiques associées. Retard. Ondes progressives périodiques, ondes sinusoïdales. Ondes sonores et ultrasonores. Analyse spectrale. Hauteur et timbre.	Définir une onde progressive à une dimension. Connaître et exploiter la relation entre retard, distance et vitesse de propagation (célérité). <i>Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier qualitativement et quantitativement un phénomène de propagation d'une onde.</i> Définir, pour une onde progressive sinusoïdale, la période, la fréquence et la longueur d'onde. Connaître et exploiter la relation entre la période ou la fréquence, la longueur d'onde et la célérité. <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la période, la fréquence, la longueur d'onde et la célérité d'une onde progressive sinusoïdale.</i> Réaliser l'analyse spectrale d'un son musical et l'exploiter pour en caractériser la hauteur et le timbre.

I. Propagation d'ondes

1. Ondes progressives

Ondes à 3 dimensions : propagation isotrope (dans toutes les directions).

Ondes à une dimension : propagation de la perturbation dans une unique direction.

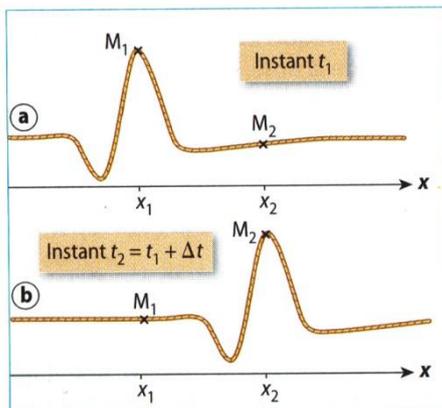
2. Célérité

$$c_{\text{vide}} = 3.0.10^8 \text{ m.s}^{-1}.$$

Ondes acoustiques : $c_{\text{son}} = 340 \text{ m.s}^{-1}$ dans l'air.

$c =$ constante dans un milieu homogène.

3. Retard



L'onde arrive en retard en M_2 : $\Delta t = \frac{\Delta x}{c_{\text{onde}}}$.

II. Ondes progressives périodiques

- Fréquence : c'est une caractéristique imposée par l'émetteur de l'onde, elle ne varie pas lors de la propagation ;

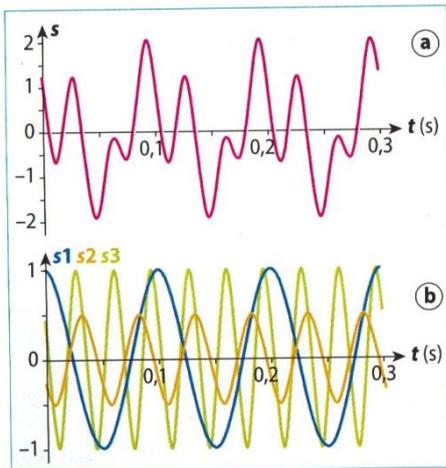
- Ondes sinusoïdales : cuve à ondes, diapason, laser He-Ne → onde lumineuse monochromatique* (* une seule fréquence)

Longueur d'onde : $\lambda = c_{\text{onde}} T = \frac{c_{\text{onde}}}{\nu}$; domaine audible : $20 \text{ Hz} < \nu_{\text{son}} < 20 \text{ kHz}$.

III. Analyse spectrale

1. Décomposition de Fourier

On peut décomposer un signal $s(t)$ de fréquence f associé à une onde périodique non sinusoïdale (un son) en une somme infinie de signaux sinusoïdaux : c'est la décomposition de Fourier du signal.



Exemple : un signal carré de fréquence f se décompose comme suit :

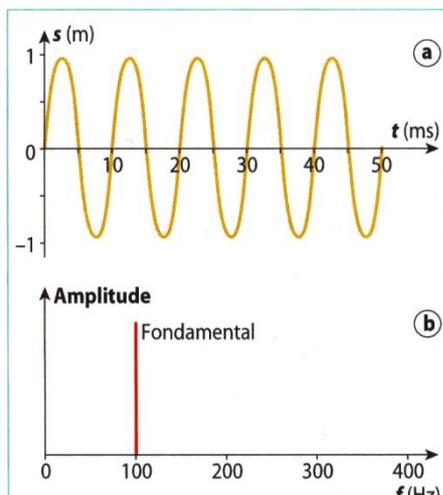
$$s(t) = \frac{A}{1} \sin(2\pi ft) + \frac{A}{3} \sin(2\pi 3ft) + \frac{A}{5} \sin(2\pi 5ft) + \dots$$

fondamental 3^{ème} harmonique 5^{ème} harmonique

Les harmoniques sont des signaux sinusoïdaux de fréquence $f_n = nf$; n : entier (on parle aussi de rang).

2. Spectre d'un signal sonore

Un signal sonore se décompose en une somme d'harmoniques de différentes amplitudes. La représentation de l'amplitude a_n des harmoniques en fonction de la fréquence constitue le spectre du signal.



Un son pur est sinusoïdal et son spectre ne présente qu'une unique harmonique : le fondamental.

A l'inverse, le spectre des sons complexes fait apparaître plusieurs harmoniques, nécessaires pour reconstituer des signaux périodiques non sinusoïdaux.

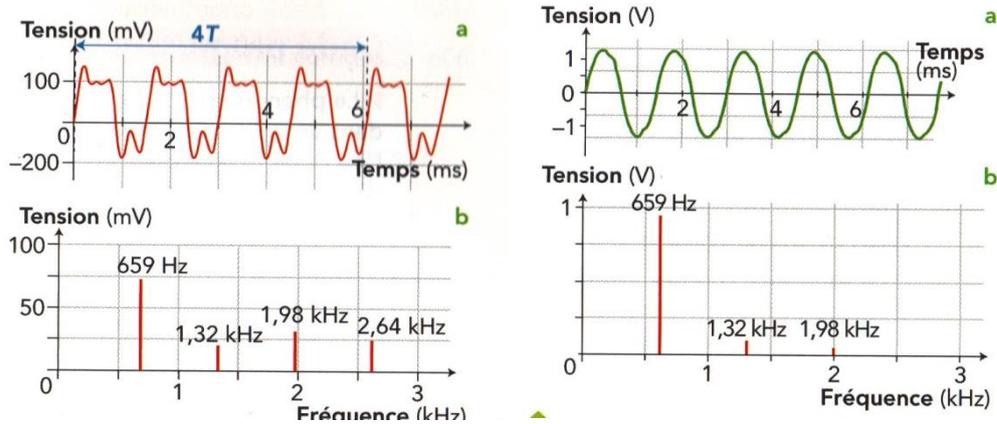


Fig : mi_4 joué à la guitare (660 Hz)

mi_4 joué à la flûte

Exemple : le signal sonore délivré par un diapason est un son pur. Le signal sonore délivré par un instrument de musique est le plus souvent complexe.

3. Hauteur et timbre

La hauteur d'un son est la fréquence f de l'onde périodique considérée. C'est la fréquence du fondamental dans la décomposition de Fourier de cette onde.

Si la fréquence est multipliée par deux, on passe à l'octave supérieure, et inversement.

Nombre d'octaves entre 20 Hz et 20 kHz : $20 \cdot 10^3 / 20 = 1000$, peu éloigné de $1024 = 2^{10}$, il y a donc à peu près 10 octaves.

Une note de musique correspond à une fréquence f d'un son à toutes les octaves possibles.

Exemple : la note La correspond à la fréquence $f = 440$ Hz, mais aussi à 880 Hz, 220 Hz, etc.

Le timbre caractérise chaque instrument de musique. Il est défini par le nombre des harmoniques présents dans le spectre du son émis, et leurs amplitudes respectives.