

Chapitre 5 : Caractéristiques des ondes dans la matière

Connaissances et compétences :

- Extraire et exploiter des informations sur les manifestations des ondes mécaniques dans la matière.
- Connaître et exploiter la relation liant le niveau d'intensité sonore à l'intensité sonore.
- Définir une onde progressive à une dimension.
- Connaître et exploiter la relation entre retard, distance et vitesse de propagation (célérité).
- Pratiquer une démarche expérimentale visant à étudier qualitativement et quantitativement un phénomène de propagation d'une onde.
- 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.
- Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la période, la fréquence, la longueur d'onde et la célérité d'une onde progressive sinusoïdale.
- Réaliser l'analyse spectrale d'un son musical et l'exploiter pour en caractériser la hauteur et le timbre.

I. Propagation des ondes mécaniques

⇒ Activités 1 p38 + 2 p39

1. Les ondes mécaniques

Une onde mécanique modifie **localement** et **temporairement** les propriétés mécaniques (vitesse, position, pression...) du milieu matériel.

A l'intérieur de la matière, on distingue 2 types d'ondes :

- les ondes de **compression-dilatation** (**longitudinales**) qui provoquent un déplacement local des éléments du milieu (solide, liquide ou gazeux) dans leur **direction de propagation** ;
- les ondes de **cisaillement** (**transversales**) qui ne se propagent que dans les milieux solides en provoquant un déplacement des éléments du milieu **perpendiculairement** à leur direction de propagation.

Les ondes peuvent être guidées le long de l'interface entre 2 milieux. Ces **ondes de surface**, combinent à la fois les caractéristiques des ondes de compression et des ondes de cisaillement.

Les ondes mécaniques transportent de l'**énergie mécanique sans transporter de matière** : un apport d'énergie est nécessaire pour qu'une perturbation prenne naissance dans une région, appelée **source**, d'un milieu matériel. L'**émetteur** apporte l'énergie nécessaire à la création de cette perturbation.

2. Les ondes progressives

Le phénomène de **propagation d'une perturbation** de proche en proche dans un milieu est appelé onde progressive.

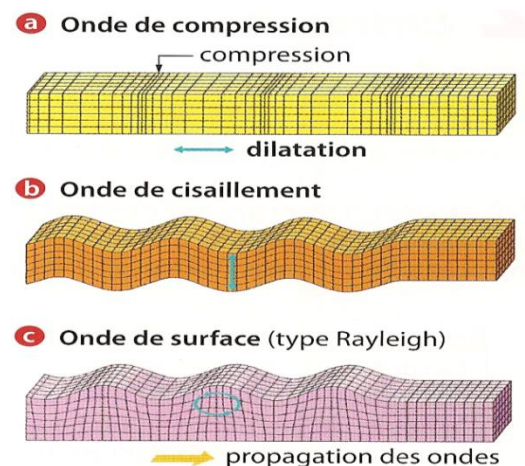
Une onde se propage dans toutes les directions de l'espace qui lui sont offertes par le milieu à partir d'un point source mais si le milieu ne permet qu'**une seule direction de propagation**, alors l'onde est dite à **une dimension** (exemple de la corde).

Les ronds dans l'eau illustrent une onde à 2 dimensions. Le son émis par une flute illustre une onde à 3 dimensions.

3. Vitesse de propagation ou célérité d'onde

La valeur de la célérité d'une onde est le rapport de la distance d qu'elle parcourt par la durée Δt mise par l'onde pour parcourir cette distance (doc. 5 p43) :

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$



d s'exprime en m, Δt en s et v en $m.s^{-1}$.

Les ondes se propagent à des célérités différentes suivant les **caractéristiques du milieu** (densité, rigidité...). Exemple : la célérité du son - dans l'air, $v = 340 m.s^{-1}$; dans l'eau, $v = 1,5. 10^3 m. s^{-1}$.



4. Notion de retard et d'élongation

Dans le cas des ondes mécaniques, un point du milieu est repéré par son **élongation**, c'est-à-dire sa **position par rapport à sa position de repos** (doc. 6 p43).

La perturbation observée au point A arrive au point B avec un **retard** τ :

$$\tau = \frac{AB}{v}$$

τ s'exprime en s, AB en m et v en $m.s^{-1}$.

II. Ondes progressives sinusoïdales

⇒ Activités 2 p39 + 3 p40 + AE : « L'écholocalisation »

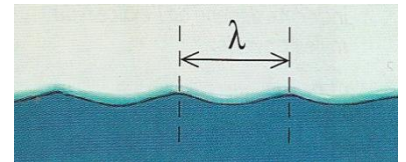
Lorsque la perturbation se reproduit **identique à elle-même** à intervalle de temps égaux, appelés **période temporelle** T , l'onde progressive est dite **périodique**.

La **fréquence** f de l'onde est le nombre de **répétitions** de la perturbation **par seconde** :

$$f = \frac{1}{T}$$

Si la perturbation est décrite par une **fonction sinusoïdale du temps**, l'onde progressive est dite **sinusoïdale**.

La **période spatiale** d'une onde progressive périodique à une dimension correspond à la **plus petite distance** séparant deux points d'un milieu présentant le même état vibratoire. Pour une onde sinusoïdale, la période spatiale s'appelle la **longueur d'onde**, notée λ (en m).



C'est aussi la distance parcourue par l'onde pendant la période temporelle T :

$$\lambda = v.T$$

Une onde progressive sinusoïdale possède donc une **double périodicité**. La **fréquence** d'une onde est **caractéristique** de cette onde, elle ne change pas quand l'onde change de milieu de propagation, contrairement à la longueur d'onde qui change quand la célérité de l'onde change.

III. Caractéristiques des ondes sonores et ultrasonores

⇒ Exercice 3 p32 + Activité 2 p39 + Activité 3 p40

1. Son et ultrasons

Une onde sonore est un phénomène **périodique** qui se propage par une suite de **compressions et de dilatations** du milieu de propagation. Un récepteur ou microphone permet de transformer un signal sonore en signal électrique analogique. La fréquence du signal électrique qui correspond à la fréquence du son permet une première caractérisation de l'onde sonore.

Le domaine des fréquences **audibles** concernant les sons se situe, selon les individus et leur âge, entre **20 et 20 000 Hz**. Au-delà d'une fréquence de 20 000 Hz, on parle d'**ultrasons**.

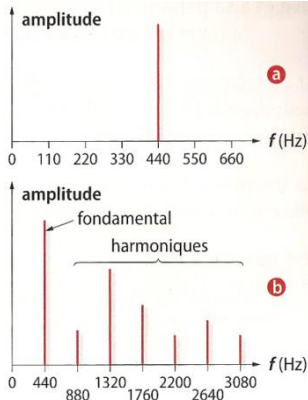
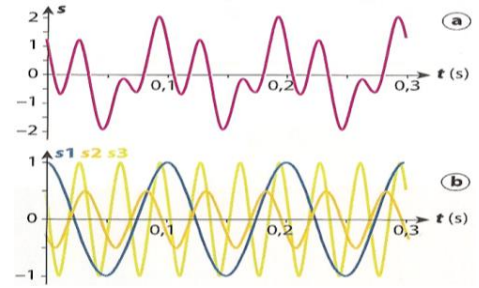
Dans le domaine des fréquences audibles, les **fréquences faibles** correspondent aux sons **graves** et les **fréquences élevées**, aux sons **aigus**.

2. Analyse spectrale

Le **signal électrique** obtenu à l'aide d'un microphone qui capte le La₃ émis par un diapason est parfaitement **sinusoïdale**. L'onde sonore produite est une **onde progressive sinusoïdale**. On dit que le son est **pur**.

Le signal électrique correspondant au son d'une **voix** ou d'un **instrument de musique** est un signal **périodique non sinusoïdal**. On dit que le son est **complexe**.

Il est possible de **décomposer le signal** périodique non sinusoïdal de fréquence f_1 en une somme de signaux sinusoïdaux, de fréquence $f_1, 2f_1, 3f_1 \dots$: c'est la **décomposition de Fourier**.



Une **analyse spectrale** est la représentation relative d'un signal en fonction de la fréquence.

Cette représentation se nomme le **spectre en fréquence**.

Le spectre en fréquence d'un **son pur** se traduit par **un seul pic**, celui d'un **son complexe** est constitué de **plusieurs pics**, qui sont régulièrement espacés pour un son harmonieux et répartis aléatoirement pour un bruit.

Un signal sinusoïdal de fréquence f_1 est nommé « **fondamental** » ou « première harmonique »

Un signal sinusoïdal de fréquence $2f_1$, la « deuxième harmonique » ...

3. Hauteur et timbre

La **hauteur** d'un son est la **fréquence f_1** de l'onde périodique considérée. C'est la fréquence du **fondamental** dans l'analyse spectrale.

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

Ainsi, la comparaison des spectres de deux sons complexes de même fréquence permet de distinguer des timbres différents, par exemple la même note jouée par des instruments différents.

4. Le niveau d'intensité sonore

⇒ *Activité documentaire* : « Intensité et niveau sonore »

L'**intensité sonore** I , est l'énergie transportée par une onde sonore par unité de temps et de surface. Elle s'exprime en Watt par mètre carré ($W \cdot m^{-2}$)

La gamme d'intensités sonores que peut recevoir l'oreille humaine étant extrêmement étendue, on introduit le **niveau d'intensité sonore** qui permet de comparer, sur une échelle **logarithmique**, l'intensité d'un son à une intensité de référence.

Par définition, l'**intensité de référence** est, par convention, le **seuil d'audibilité** moyenne de l'oreille humaine :

$$I_0 = 1,2 \cdot 10^{-12} W \cdot m^{-2}$$

Le **niveau d'intensité sonore** L (exprimé en décibel, dB) d'un son d'intensité I est donné par la relation :

$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

Il se mesure au sonomètre (*doc. 14 p45*).