

Les ondes dans la matière

I Qu'est-ce qu'une onde mécanique progressive ?

Définition

Une **onde mécanique progressive** est le phénomène de propagation d'une perturbation, de proche en proche, sans transport de matière, mais avec transport d'énergie à travers un milieu matériel.

Exemples : les vagues à la surface de l'eau : les rafales de vent transmettent de l'énergie à la surface de l'eau (en la soulevant) générant la houle.

L'eau ne se déplace pas : c'est la déformation de la surface (soulèvement) qui se propage transportant ainsi de l'énergie sous forme d'énergie potentielle de pesanteur.

Mais tous les matériaux matériels peuvent être parcourus d'ondes.

Et pour nous petits terriens, la Terre est un magnifique milieu matériel d'étude, traversée qu'elle est, par les ondes sismiques et le son...

II Caractéristiques des ondes progressives périodiques

Espace & temps sont alors liés, puisque l'on retrouve la même forme d'onde plus loin, un peu plus tard, une fois qu'elle a « progressé ».

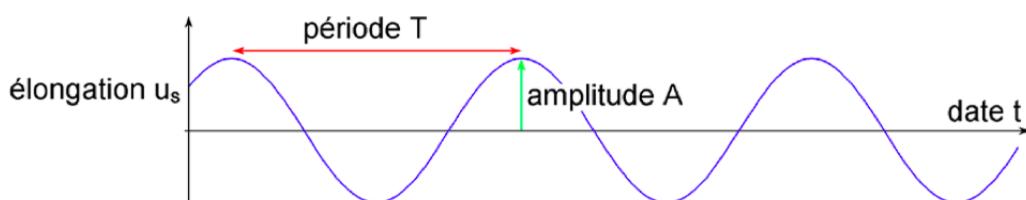
Définition

Une **onde progressive périodique** a toutes les caractéristiques de l'onde progressive, avec en plus un caractère périodique.

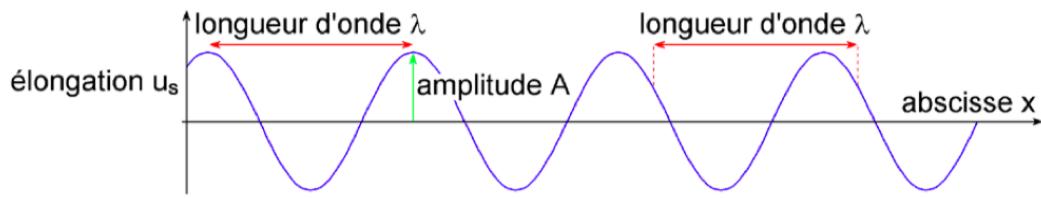
Il faut savoir reconnaître une telle onde (mettre en évidence la répétition d'un motif élémentaire), et savoir mesurer sa période T (qui est la durée d'émission d'un motif élémentaire) le plus précisément possible (typiquement, sur plusieurs périodes).

Considérons un signal u_s correspondant à l'elongation d'une onde progressive se déplaçant au cours du temps. Il apparaît deux types de périodes.

- **Période temporelle** : Chaque point du milieu subit la même perturbation à intervalles de temps égaux à T .



- **Période spatiale** : La même perturbation se reproduit identique à elle-même dans la direction de propagation. La plus petite distance entre motifs identiques consécutifs est la période spatiale. Il est encore plus correct de dire que la longueur d'onde est la plus petite distance entre deux points en phase.



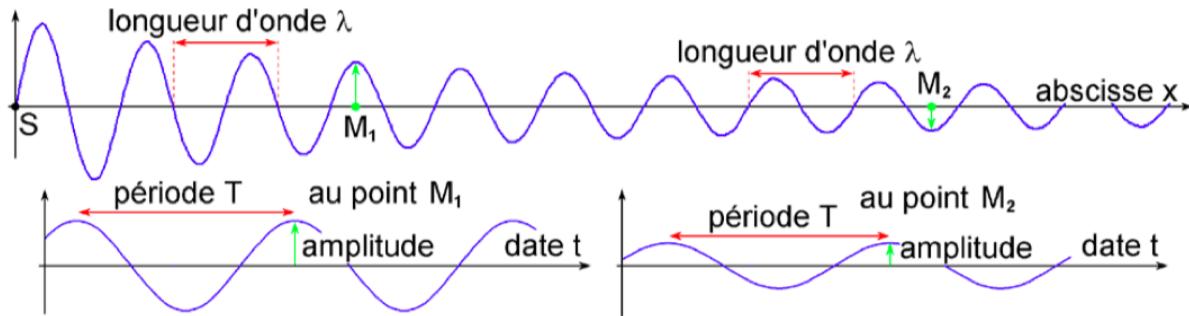
Une **onde progressive périodique** est dite **sinusoïdale** si l'évolution périodique de la source peut être associée à une fonction sinusoïdale.

La période spatiale est appelée longueur d'onde et notée λ , en mètre (m). Le lien entre période spatiale λ et période temporelle T en seconde (s) fait intervenir la célérité v de l'onde :

$$\lambda = v \times T$$

Longueur d'onde (m) Célérité de l'onde $m.s^{-1}$
 Période (s)

Les sons s'atténuent avec la distance

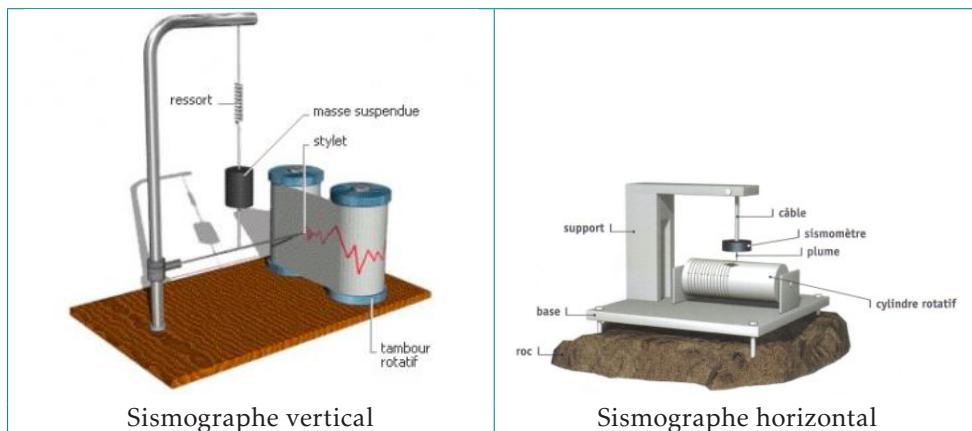


III Les ondes sismiques

Le but n'est pas de détailler les types d'ondes sismiques qui sont vues en SVT, mais plutôt de savoir les détecter et prévoir les risques suivant l'énergie transportée.

- **Détection :**

On utilise un sismographe pour détecter les ondes sismiques.



- **Amplitude :**

L'amplitude d'une onde sismique dépend de l'énergie transportée. Or cette énergie est souvent colossale ! Elle peut aller de 10^8 à 10^{20} J.

Pour tracer une échelle d'énergie linéaire en prenant 10^8 J pour 1 cm, il faudrait une longueur de dix millions de kilomètres : il est donc impossible de représenter une telle échelle !

On choisit donc une échelle, dite logarithmique, représentant une puissance de dix de l'énergie : c'est l'échelle de Richter.

On définit la magnitude d'un séisme en fonction de la puissance de 10 de l'énergie.

$$M = \log\left(\frac{A}{A_0}\right) + b + c \times \log(\Delta)$$

A est l'amplitude mesurée, Δ est la distance épcentrale exprimée en degré, b et c sont des constantes d'étalonnage.

Le tableau suivant montre les dégâts en fonction de la magnitude :

Magnitude	Description	Effets	Fréquence mondiale
< 2	micro	Non ressenti	8000 par jour
2 à 2,9	Très mineur	Non ressenti mais détecté par les sismographes	1000 par jour
3 à 3,9	Mineur	Ressenti causant très peu de dommages	50000 par an
4 à 4,9	Léger	Objets secoués dans les maisons, quelques dommages	6000 par an
5 à 5,9	Modéré	Dommages légers à majeurs selon les habitations	800 par an
6 à 6,9	Fort	Destruction jusqu'à environ 200 km de l'épicentre	120 par an
7 à 7,9	Majeur	Dommages sévères dans des zones plus vastes	18 par an
8 à 8,9	Important	Dommages sérieux jusqu'à des centaines de kilomètres de l'épicentre	1 par an
9 et plus	Exceptionnel	Dommages très sévères dans des zones plus vastes	1 à 5 par siècle

Que représente une énergie de 10^8 J ?

Cette énergie permet de faire monter un poids lourd de 10 tonnes de mille mètres d'altitude, ou 10 poids lourds à la queue leu leu de 100 mètres, ce qui franchement se fait très facilement !

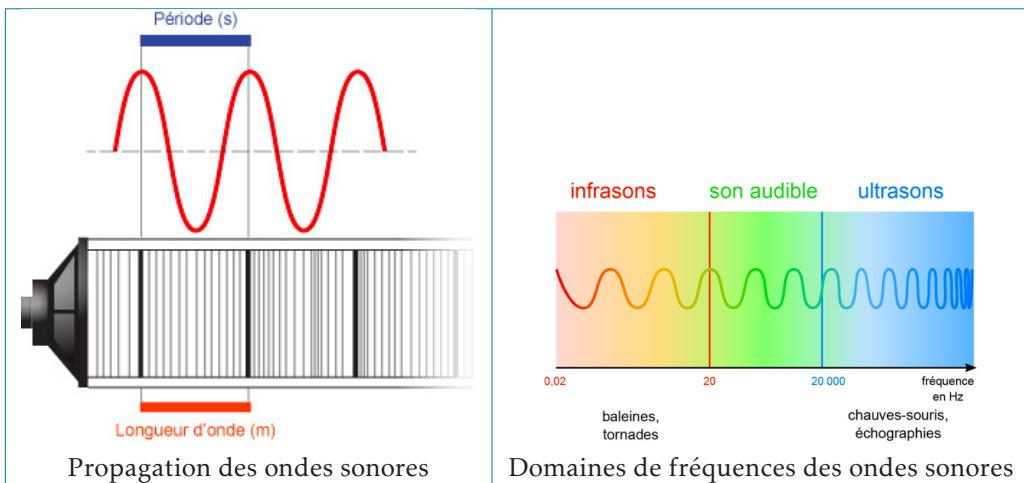
Certes, il ne ferait pas bon se la prendre sur le pied... mais à l'échelle de la Terre... ce ne serait même pas un petit saut de puce sur le dos d'un chien !

Pour donner un autre ordre d'idée, si la totalité de l'énergie de la bombe Little Boy tombée sur Hiroshima avait été dissipée sous forme d'énergie sismique, cela aurait provoqué un séisme de magnitude 6,3 sur l'échelle de Richter.

IV Les ondes sonores

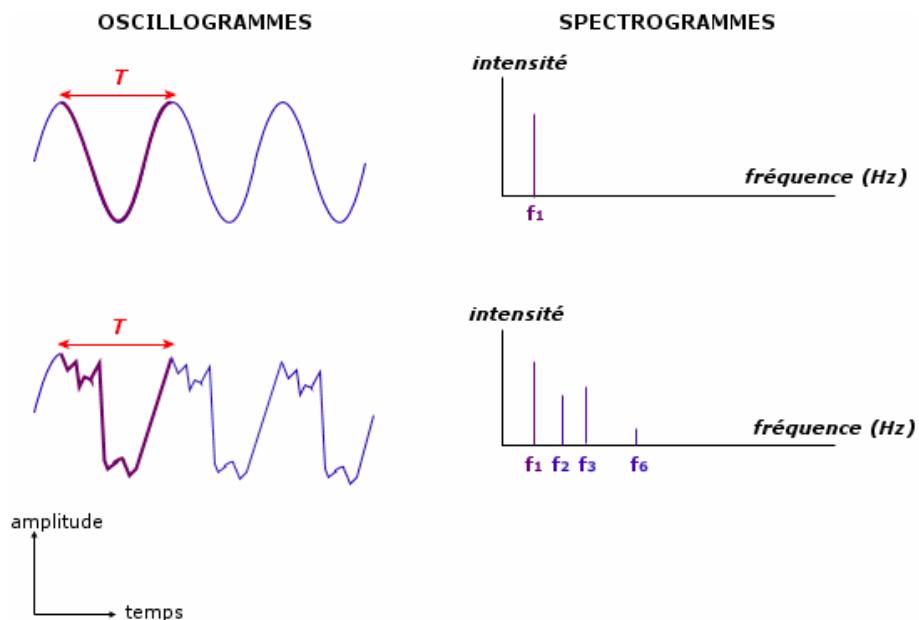
Définition

Une onde sonore est une propagation de proche en proche d'une suite de compression-dilatation du milieu matériel.



Une onde acoustique est une perturbation mécanique (onde de compression-dilatation du milieu) qui se propage dans un milieu matériel. L'être humain peut entendre des sons dont les fréquences s'étalent de 20 Hz à 20 kHz environ.

Il est possible de décomposer un signal sonore $u(t)$ de fréquence f associé à la propagation d'une onde périodique non sinusoïdale, en une somme infinie de signaux sinusoïdaux : c'est la décomposition de Fourier du signal.



Un signal périodique de fréquence f est donc une superposition de signaux sinusoïdaux :

- un signal sinusoïdal à la fréquence f nommée fondamental ou première harmonique,
- un signal sinusoïdal à la fréquence $2f$, la «deuxième和谐»,
- un signal sinusoïdal à la fréquence $3f$, la «troisième和谐», etc.

La représentation de l'amplitude des harmoniques en fonction de la fréquence constitue le spectre du signal. Les harmoniques sont des signaux sinusoïdaux de fréquences $f_n = n \times f$. Le nombre n est un entier positif appelé rang de l'harmonique.

Hauteur d'un son :

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. Une onde sonore est d'autant plus aigüe que sa fréquence est grande. Elle est d'autant plus grave que sa fréquence est petite. Remarque : si la fréquence est multipliée par deux, on passe à l'octave supérieure. À l'inverse si la fréquence est divisée par deux, on passe à l'octave inférieure.

Timbre d'un son :

Une note de musique correspond à une fréquence d'un son à toutes les octaves accessibles. La note la correspond à la fréquence $f = 440$ Hz, mais aussi à 880 Hz (octave supérieure), 220 Hz (octave inférieure), etc. Une

note de hauteur donnée n'est pas perçue de la même manière selon qu'elle est jouée par un diapason ou par un piano. Le timbre du son est différent. Des sons de même hauteur peuvent donner des sensations différentes en raison de leur timbre. Le timbre d'un son est lié à sa composition spectrale (présence, importance et durée des harmoniques) et à son évolution au cours du temps.

Intensité et niveau sonore :

Pour caractériser une onde sonore, on peut définir deux grandeurs :

- L'intensité sonore (I) : c'est la puissance sonore reçue par unité de surface. Son unité est donc le W.m^{-2} .
- Le niveau d'intensité sonore (L) : l'oreille humaine ne perçoit pas l'intensité sonore de façon linéaire, mais logarithmique. Le niveau sonore est calculé à partir de l'intensité minimale I_0 que l'oreille humaine peut percevoir :

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

Intensité sonore
(W.m^{-2})

Niveau d'intensité
sonore (dB)

$I_0 = 10^{-12} \text{ (W.m}^{-2}\text{)}$