

Les ondes mécaniques progressives

Lien vers la vidéo : <https://youtu.be/Nqdi90CKg0k?si=DUjaqdRKfvQguviN>

Pages du livre : 287 à 290

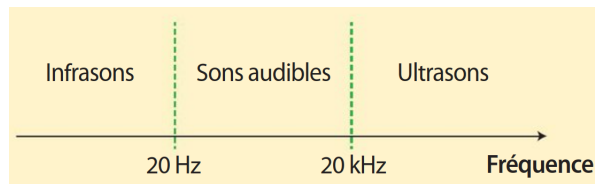
On n'oublie pas la carte mentale!



1 Les ondes mécaniques progressives

1.1 Rappels de seconde

- L'onde sonore est une onde mécanique progressive. C'est une perturbation qui se déplace dans un milieu matériel. Le son ne peut donc pas se propager dans le vide.
- La vitesse du son dans l'air est de $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ à 15°C , c'est une perturbation qui se propage de proche en proche grâce à la compression de « tranches » d'air.
- Les fréquences audibles pour l'oreille humaine sont comprises entre 20 Hz et 20 000 Hz.



1.2 Propagation d'une onde mécanique progressive

A Retenir

Une onde mécanique progressive correspond au phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu, sans déplacement de matière. Exemples :

- Perturbation le long d'une corde
- Propagation d'une onde sismique
- Perturbation de l'air par l'émission d'un son

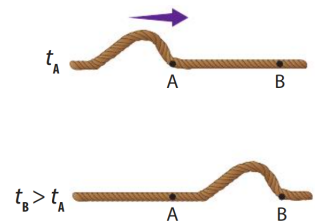


FIGURE 1.1 – Propagation d'une perturbation le long d'une corde

△ Remarque : La lumière n'a pas besoin de milieu matériel pour se propager, ce n'est pas une onde mécanique mais une onde électromagnétique.

Une onde mécanique se propage dans toutes les directions possibles (1, 2 ou 3 dimensions). La perturbation se transmet de **proche en proche** dans le milieu matériel mais **sans transport de matière**. Par contre il y a transport d'énergie. Un milieu matériel peut être un gaz, un solide ou un liquide.

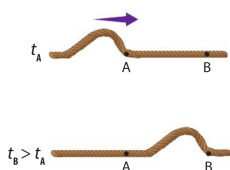
1.3 Célérité d'une onde mécanique progressive

A Retenir

La célérité d'une onde mécanique progressive correspond à la vitesse de déplacement d'une perturbation dans le milieu de propagation. Elle est égale à la distance « d » parcourue par la perturbation par unité de temps

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

Remarque : On préférera utiliser la lettre « v » plutôt que « c » que l'on réserve pour la célérité de la lumière.



Dans l'exemple précédent, la perturbation qui se propage le long de la corde a parcouru la distance AB entre les dates t_A et t_B . La célérité de l'onde se détermine donc par

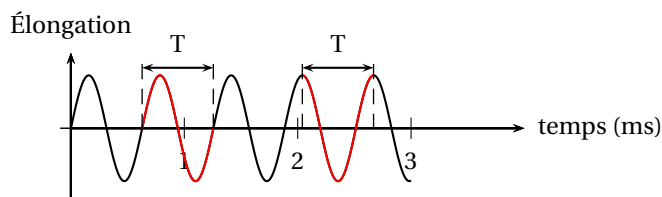
$$v = \frac{AB}{t_B - t_A}$$

2 La double périodicité temporelle des ondes mécaniques progressives

2.1 La périodicité temporelle

A Retenir

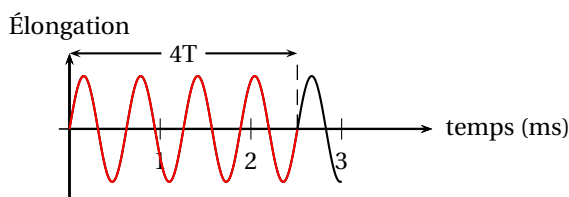
La périodicité temporelle correspond à la durée minimale au bout de laquelle le phénomène se répète identique à lui-même (durée d'un motif élémentaire du signal). La période d'un signal se détermine en général graphiquement, se note « T » et s'exprime en seconde.



Déterminer une période avec précision

Le principe repose sur les incertitudes de mesures. Pour simplifier, lorsque vous essayez de mesurer la longueur correspondant à un intervalle sur un schéma avec une règle graduée au millimètre on considère que l'incertitude est de $\frac{2 \times 0,5}{\sqrt{3}} = 0,58 \text{ mm}$, ce qui engendre une incertitude sur la durée d'une période. Si l'on mesure N périodes, alors cette incertitude est divisée par N.

À retenir Il faut mesurer plusieurs périodes et diviser par le nombre N de périodes choisies afin de gagner en précision



$$4T = 2,51 \text{ ms}$$

$$\Leftrightarrow T = \frac{2,51 \text{ ms}}{4}$$

$$\Leftrightarrow T = 6,28 \times 10^{-1} \text{ ms}$$

La période T du signal est de $6,28 \times 10^{-1} \text{ ms}$

La fréquence d'un signal périodique

A Retenir

La fréquence d'un phénomène périodique correspond au nombre de périodes contenues dans une seconde.

Exemple : Quelle est la fréquence du signal précédent de période $T = 6,28 \times 10^{-1} \text{ ms}$?

Nombre de périodes dans une seconde

durée (s)	$6,28 \times 10^{-4}$	1
Nombre de périodes	1	N

$$N = \frac{1}{6,28 \times 10^{-4}} = 1,59 \times 10^3$$

La fréquence du signal est donc de $1,59 \times 10^3 \text{ Hz}$

À retenir La fréquence d'un phénomène périodique se détermine en calculant l'inverse de la période

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

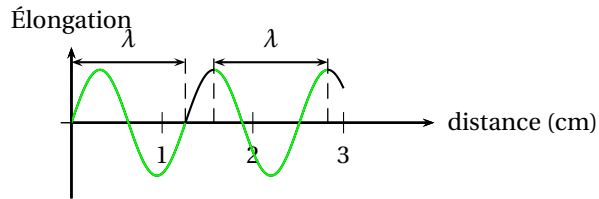
avec la période en seconde (s) et la fréquence en hertz (Hz)

⚠ Remarque : L'unité Hertz (Hz) correspond en réalité à des s^{-1}

2.2 La périodicité spatiale

A Retenir

La périodicité spatiale correspond à la distance minimale séparant 2 maximums ou 2 minimums de l'onde. Cette longueur d'onde, notée λ , peut également se déterminer graphiquement si l'on a une représentation de l'onde dans l'espace.



Dans cet exemple

$$\lambda = 1,26 \text{ cm}$$

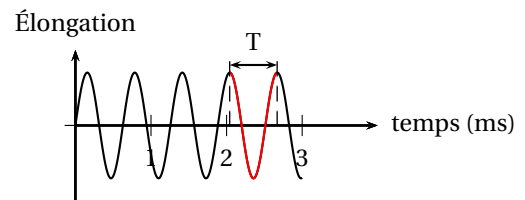
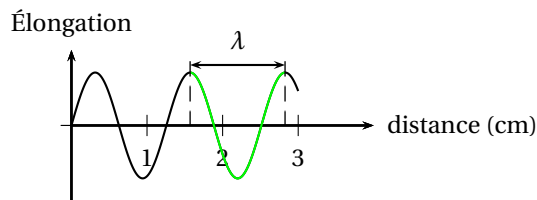
- Attention à la grandeur placée en abscisse; ce n'est plus le temps mais la distance vu que c'est une représentation de l'onde dans l'espace
- Comme dans le cas de la période temporelle, si la détermination de la longueur d'onde λ se fait graphiquement, il faut prendre le maximum de périodes spatiales possibles afin de gagner en précision.

2.3 Lien entre périodicité spatiale et temporelle

A Retenir

Les périodicités spatiales et temporelles sont reliées entre elles par la célérité de l'onde. En effet, **une onde parcourt une distance égale à la longueur d'onde λ en une durée égale à la période temporelle T** . On a donc la relation

$$v = \frac{\lambda}{T}$$



Toujours avec le même exemple, la célérité de l'onde est de

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{1,26 \times 10^{-2} \text{ m}}{6,28 \times 10^{-4} \text{ s}} = 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

3 Modèle mathématique d'une onde périodique sinusoïdale

Il est possible de modéliser mathématiquement la propagation d'une perturbation par une fonction cosinus ou sinus, voire une addition de fonction sinus, à condition que cette perturbation soit périodique.

A Retenir

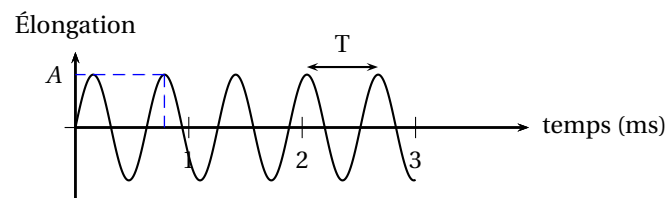
En notant y l'élongation de l'onde, la forme mathématique générale d'une onde est

$$y(t) = A \cos\left(\frac{2\pi}{T} \times t + \Phi\right)$$

où A représente l'amplitude de l'onde, ce qui correspond à son élongation maximale. ϕ correspond à la phase à l'origine de l'onde.

A Retenir

⚠ L'amplitude d'une onde représente **l'élongation maximale de l'onde par rapport à la valeur moyenne**, et non pas entre la valeur maximale et la valeur minimale ⚠

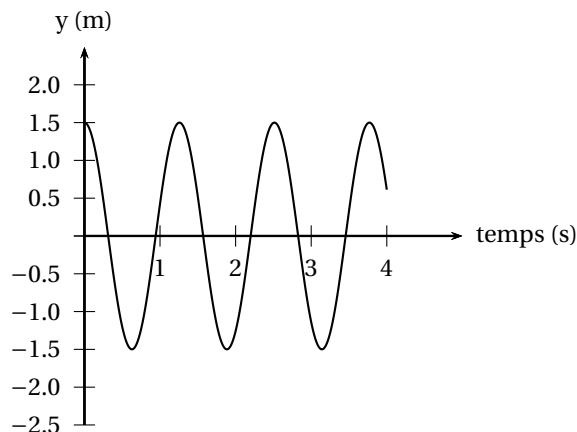


4 Quelques exemples

⚠ Cette partie peut sembler complexe si vous n'avez pas étudié la trigonométrie en mathématiques. En effet, la phase à l'origine d'une onde ϕ s'exprime en radian, qui est une unité d'angle. Voici quelques correspondances radian / degré ⚠

Angle en degré	0	90	180	360
Angle en radian	0	$\frac{\pi}{2}$	π	2π

4.1 Exemple n°1



On détermine A et T **graphiquement**

$$A = 1,5 \text{ m} \quad T = 1,26 \text{ s}$$

On détermine Φ à l'aide des **conditions initiales**, c'est à dire pour $t = 0$

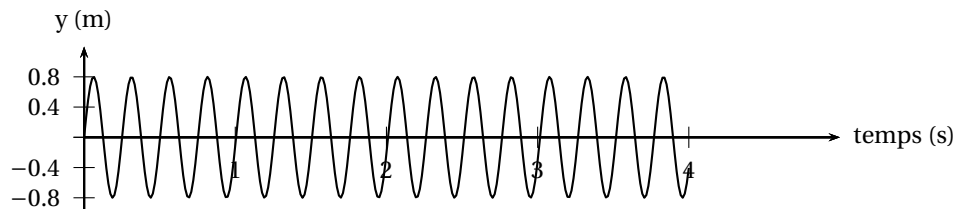
$$y(0) = A \cos(\Phi) = A$$

ce qui implique que $\cos(\Phi) = 1$ donc $\Phi = 0$

Finalement, la modélisation mathématique de l'onde est

$$y(t) = 1,5 \cos\left(\frac{2\pi}{1,26} \times t\right)$$

4.2 Exemple n°2



On détermine A et T **graphiquement**

$$A = 0,8 \text{ m} \quad T = 0,25 \text{ s}$$

On détermine Φ à l'aide des **conditions initiales**, c'est à dire pour $t = 0$

$$y(0) = A \cos(\Phi) = 0$$

ce qui implique que $\cos(\Phi) = 0$ car $A \neq 0$ donc $\Phi = \frac{\pi}{2}$

Finalement, la modélisation mathématique de l'onde est

$$y(t) = 0.8 \cos\left(\frac{2\pi}{0.25} \times t + \frac{\pi}{2}\right)$$