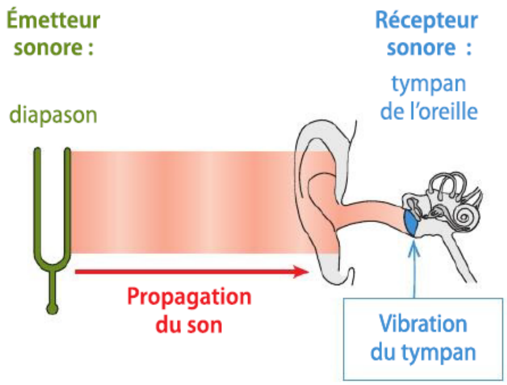
Révisions

Propagation d'un signal sonore

- Un signal sonore est émis par une source (**émetteur**), se propage dans un milieu matériel (solide, liquide ou gaz). Il peut être reçu par un **récepteur**.
- Un signal sonore est émis par la mise en vibration d'un objet. Dans un fluide comme l'air, le son se propage en faisant vibrer localement les molécules présentes. Cette vibration se propage de proche en proche, mais les molécules elles-mêmes ne se propagent pas (doc. 1).
- La **vitesse du son dans l'air** dans les conditions usuelles de température et de pression vaut environ **340 m·s^{-1}**.
- Un signal sonore ne peut pas se propager dans le vide.



Doc. 1 Propagation d'un signal sonore dans l'air.

Signal périodique

- Un **signal périodique** peut être caractérisé par sa période ou sa fréquence.

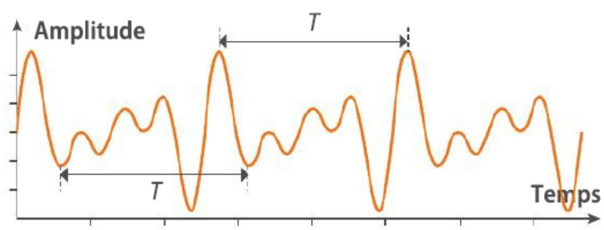
La **période** T est la plus petite durée de reproduction d'un phénomène à l'identique (doc. 2).

La **fréquence** f est le nombre de fois par seconde qu'un phénomène périodique se produit :

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

f en hertz (Hz)
T en seconde (s)
1 Hz = 1 s^{-1}

Pour une bonne précision sur la mesure de T, on peut mesurer la durée de plusieurs périodes, puis diviser par le nombre de périodes.



Doc. 2 Détermination graphique d'une période.

- Domaine de fréquences des sons audibles par l'oreille humaine, des infrasons et des ultrasons :

Infrasons	Sons audibles	Ultrasons

20 Hz — 20 kHz — Fréquence

MaThs

- **Fonction sinus** : c'est la fonction notée **sin** et définie sur $\mathbb{R}$ par $x \mapsto \sin(x)$.
- **Fonction cosinus** : c'est la fonction notée **cos** et définie sur $\mathbb{R}$ par $x \mapsto \cos(x)$.

Propriété 1 La période des fonctions sinus et cosinus est 2π ; pour tout nombre réel x, on a :

$$\sin(x + 2\pi) = \sin(x)$$
$$\cos(x + 2\pi) = \cos(x)$$

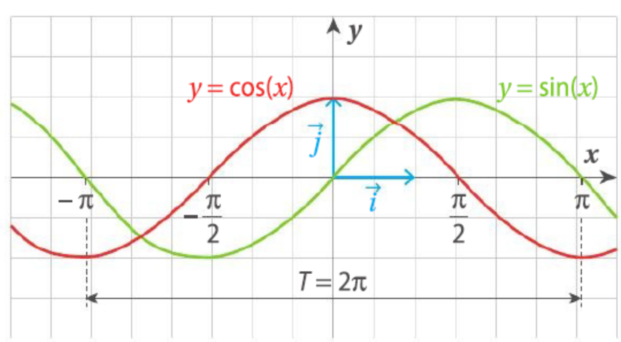
Propriété 2 Pour tout nombre réel x, on a :

$$-1 \leqslant \cos(x) \leqslant 1$$
$$-1 \leqslant \sin(x) \leqslant 1$$

Propriété 3 Pour tout nombre réel x, on a :

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - x\right) = \sin(x) \quad \text{et} \quad \sin\left(\frac{\pi}{2} - x\right) = \cos(x)$$

- **Représentations graphiques**



La courbe représentative de chaque fonction est invariante par translations de vecteur $2k\pi\,\vec{i}$ où $k \in \mathbb{Z}$. Ces courbes s'appellent des **sinusoïdes**.

1 Ondes mécaniques progressives

Le son qui se propage dans une salle de concert, des vagues dans une piscine, des ultrasons utilisés dans l'échographie peuvent être décrits par des ondes mécaniques (doc. 1).

Doc. 1 Piscine à vagues.

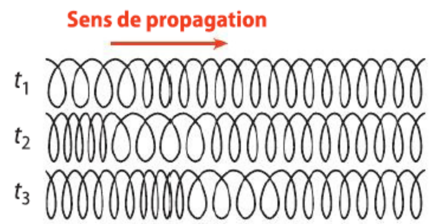
a. Définition

- Une **onde mécanique progressive** est le phénomène de **propagation** d'une perturbation dans un milieu matériel.
- Elle s'accompagne d'un **transport d'énergie** sans transport de matière dans toutes les directions possibles à partir d'une source.

Une onde mécanique progressive ne s'accompagne pas d'un déplacement global de la matière constituant le milieu, mais d'un déplacement local et temporaire. L'onde mécanique progressive fait vibrer une zone du milieu, qui elle-même fait vibrer la zone voisine, et ainsi de suite. Les différentes zones ne se déplacent pas.

Exemples

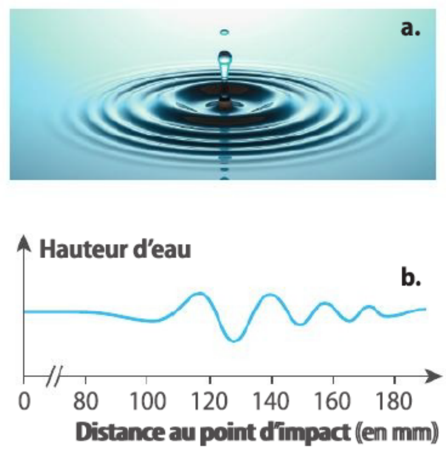
Après le passage d'une vague, l'eau revient à la même place (doc. 1).
La déformation du ressort se propage le long du ressort, mais les spires du ressort ne se déplacent pas, elles se déforment (doc. 2).



Doc. 2 Propagation le long d'un ressort.

b. Exemples de grandeurs physiques associées

- Lorsqu'une goutte tombe dans l'eau (doc. 3a), elle provoque une déformation de la surface de l'eau. Les ronds dans l'eau créés se propagent vers l'extérieur entraînant une variation de la hauteur d'eau sur leur passage. La **hauteur de l'eau** est une caractéristique de cette déformation (doc. 3b).
- Le son qui se propage d'un diapason à une oreille est caractérisé par la **surpression acoustique** dans l'air, c'est-à-dire la variation de la pression de l'air par rapport à la pression atmosphérique.



Doc. 3 Onde à la surface de l'eau (**a**) et évolution de la hauteur de l'eau au passage de l'onde (**b**).

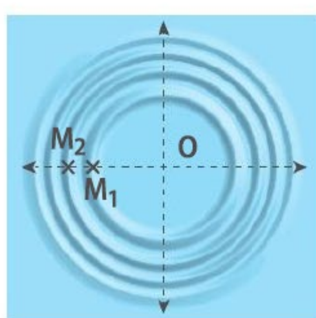
c. Retard

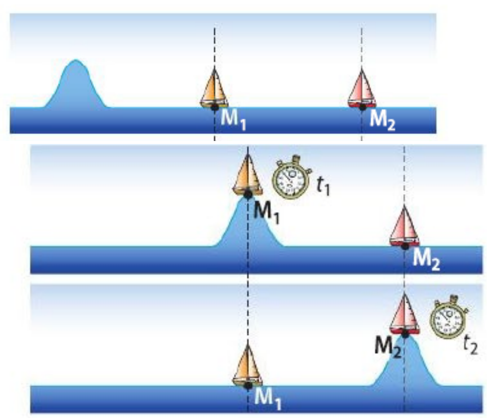
Le **retard** d'une onde se propageant entre un point M_1 et un point M_2 est la durée séparant son passage entre ces deux points (doc. 4). Il est noté τ (lettre grecque *tau*) et exprimé en secondes.

Pour une déformation passant en M_1 à la date t_1 puis en M_2 à la date t_2, le retard est $\tau = t_2 - t_1$.
Pour une onde à plusieurs dimensions, les points M_1 et M_2 doivent être alignés avec la source sur une direction de propagation de l'onde.

Exemple

La goutte d'eau est tombée dans l'eau au point O. Les vagues se propagent dans toutes les directions.
Si O, M_1 et M_2 sont alignés, τ mesure la durée pour que la perturbation passe de M_1 et M_2.





Doc. 4 Le retard de la vague lors de sa propagation entre M_1 et M_2 est $\tau = t_2 - t_1$.

d. Célérité

La **célérité** d'une onde est sa vitesse de propagation.
Dans un milieu homogène à une dimension, une onde se propageant d'un point M_1 à un point M_2 avec un retard τ a une célérité :

$$v = \frac{M_1M_2}{\tau}$$

M_1M_2 en mètres (m)
τ en secondes (s)
v en mètres par seconde ($m{\cdot}s^{-1}$)

v dépend des caractéristiques du milieu de propagation (doc. 5).

Exemple

La foudre tombe (doc. 6). Un observateur éloigné de la distance d de l'impact voit l'éclair instantanément, mais entend le tonnerre (qui voyage à $v = 340\ m{\cdot}s^{-1}$) avec un décalage temporel $\tau = 6$ s.
La distance d à laquelle la foudre est tombée est $d = v\tau$, soit $d = 340 \times 6 = 2 \times 10^3$ m : environ deux kilomètres.

Activité d'exploitation 5 p. 334 Exercices 27 p. 343 et 38 p. 344

Milieu de propagation	Célérité du son approximative
Air à 20 °C	343 $m{\cdot}s^{-1}$
Eau	1,5 $km{\cdot}s^{-1}$
Béton	3,1 $km{\cdot}s^{-1}$
Acier	5,6 à 5,9 $km{\cdot}s^{-1}$

Doc. 5 Influence du milieu sur la célérité du son.

Doc. 6 La foudre est composée d'un éclair (ci-dessus) et d'un coup de tonnerre.

2 Ondes mécaniques progressives périodiques

Lorsque le phénomène à la source d'une onde mécanique est périodique, chaque point du milieu de propagation subit une perturbation périodique. On peut donc dire que **l'onde est périodique**. Sa période est **imposée par la source** et ne dépend pas du milieu de propagation.

a. Période, fréquence

La **période de l'onde**, notée T est la plus petite durée qui sépare deux perturbations identiques d'un même point de l'espace.
La **fréquence** de l'onde notée f est le nombre de périodes par seconde :

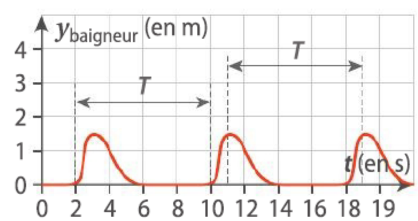
$$f = \frac{1}{T}$$

f en hertz (Hz)
T en secondes (s)

Exemple

Les vagues à la surface de la mer provoquent une onde progressive périodique de période T (doc. 7). Un baigneur à la surface de l'eau a un mouvement périodique du fait du passage de ces vagues (doc. 8).
Le doc. 8 montre la position du baigneur **au cours du temps** donc permet la détermination d'une **période**.

Doc. 7 Ondes progressives périodiques dans la mer.



Doc. 8 Mouvement d'un baigneur au cours du temps.

b. Longueur d'onde

Deux points d'un milieu parcouru par une onde sont dits **en phase** s'ils sont dans le même état vibratoire à chaque instant.

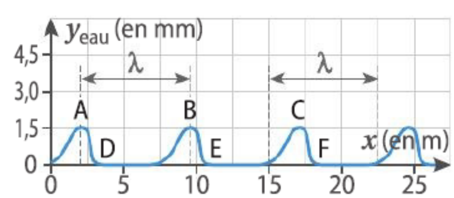
La **longueur d'onde** λ d'une onde progressive mécanique périodique est la distance minimale séparant deux points en phase du milieu matériel de propagation.

Notation

λ est la lettre grecque *lambda*.

Exemple

Deux points situés chacun au sommet d'une vague ou au creux d'une vague au même instant sont en phase (doc. 9). Les points A, B et C sont à chaque instant dans le même état vibratoire : ils sont en phase. Il en va de même pour les points D, E, F, en phase les uns avec les autres. La longueur d'onde des vagues est la distance séparant deux sommets successifs.
Le doc. 9 montre, **à un instant donné**, le profil de la surface de la mer, donc permet la détermination de la **longueur d'onde**.



Doc. 9 Profil spatial de la surface de l'eau et mesure de la longueur d'onde.

c. Relation entre période, longueur d'onde et célérité

Un point quelconque A à la surface de l'eau (doc. 10) subit le passage de vagues de période T.

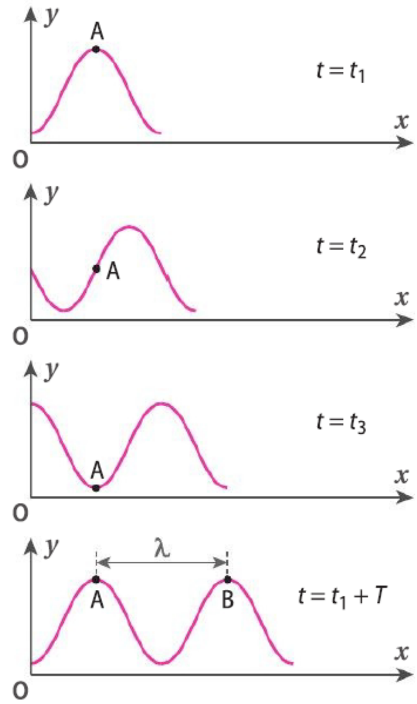
À un instant t_1, ce point est au sommet d'une vague.
Au cours du temps, la vague se propage dans le sens de x croissant.
Le point A, lui, se déplace vers le bas et vers le haut.

L'instant t_2 est quelconque ; à l'instant t_3, A est au creux d'une vague.

À l'instant $t_1 + T$, le point A est au sommet de la vague suivante.

La première vague s'est propagée et son sommet est au point B.
A et B sont donc dans le même état vibratoire : ils sont **en phase**.
La distance entre A et B est, par définition, la longueur d'onde λ de l'onde.
La vague a donc parcouru la distance λ pendant la durée T.

Sa célérité v est donc $v = \dfrac{\lambda}{T}$.



Doc. 10 Progression de la déformation de l'eau.

Savoir-faire

Il faut savoir refaire la démonstration de la relation entre longueur d'onde, célérité et période de l'onde.

La longueur d'onde d'une onde périodique est la **distance parcourue par l'onde pendant une période.**
D'où les relations :

$$\lambda = vT \quad \text{ou} \quad \lambda = \frac{v}{f}$$

λ en mètres (m)
v en mètres par seconde ($m{\cdot}s^{-1}$)
T en secondes (s)
f en hertz (Hz)

Exemple

La houle au large en mer peut se propager avec la célérité $v = 5{,}0\ m{\cdot}s^{-1}$.
Si la période de cette houle est $T = 2{,}0$ s, sa longueur d'onde est $\lambda = vT$, soit $\lambda = 5{,}0 \times 2{,}0 = 10$ m.

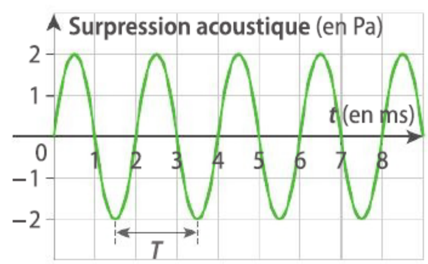
d. Ondes sinusoïdales

Quand la perturbation créée par la source est sinusoïdale, l'onde est qualifiée d'**onde progressive sinusoïdale**.

Exemple

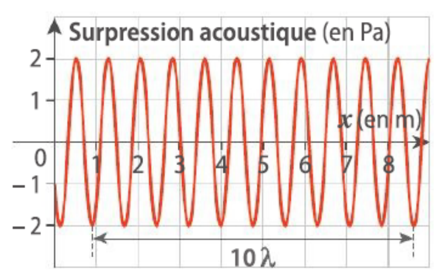
Le son émis par un diapason La_3 (de fréquence $f = 440$ Hz) peut être caractérisé par une onde mécanique progressive périodique sinusoïdale de période $T = \dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{440} = 2{,}27 \times 10^{-3}$ s.

La représentation temporelle d'une onde progressive sinusoïdale est donnée par le doc. 11, elle permet la détermination de la période T.



Doc. 11 Surpression acoustique sonore en fonction du temps.

La représentation spatiale d'une telle onde est donnée par le doc. 12, elle permet la détermination de la longueur d'onde λ.



Doc. 12 Surpression acoustique de l'air en fonction de l'éloignement de la source sonore.

Pour améliorer la précision dans la détermination graphique on peut, au lieu de mesurer directement λ, mesurer la longueur de plusieurs motifs.
Sur le graphique du doc. 12, on mesure :

$$10\lambda = 7{,}7 \text{ m}$$

D'où l'on déduit que $\lambda = 0{,}77$ m.
On connaît ainsi λ au centimètre près, alors que la mesure de la longueur d'un seul motif aurait présenté trop d'incertitude pour obtenir cette précision.
Par le calcul, on obtient la célérité v de l'onde sonore dans l'air :

$$v = \lambda f \text{ soit } v = 0{,}77 \times 440 = 3{,}4 \times 10^2\ m{\cdot}s^{-1}.$$

Remarque : le choix de modéliser une onde périodique par une sinusoïde n'est souvent possible que sur un domaine de validité restreint ou pour des approches simplificatrices. Rares sont les phénomènes réels rigoureusement sinusoïdaux.

Activités d'exploitation 2 p. 331 et 4 p. 333
Exercices 29, 31, 35 p. 343

Essentiel

Vidéo
Schéma bilan animé
Manuel numérique

ONDES MÉCANIQUES PROGRESSIVES

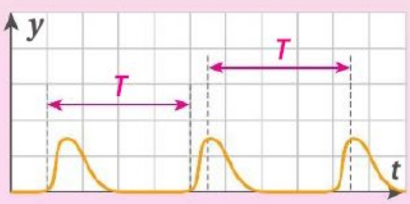
Une **onde mécanique progressive** est le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu matériel qui s'accompagne d'un transport d'énergie sans transport de matière.

La **célérité *v*** (ou vitesse de propagation) d'une onde dépend du milieu de propagation. Elle est souvent exprimée en mètres par seconde ($m \cdot s^{-1}$).

ONDES PÉRIODIQUES

Période *T*

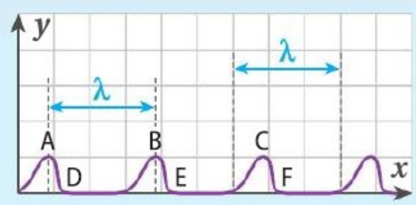
La plus petite durée qui sépare deux perturbations identiques d'un même point de l'espace.



$$\lambda = vT$$

Longueur d'onde λ

Distance minimale séparant deux points du milieu matériel qui vibrent en phase pour une onde progressive mécanique périodique.



f est en hertz (Hz) si *T* est en secondes (s)

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

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

Fréquence *f*

Nombre de périodes par seconde