

Ondes mécaniques

Cours de sciences physiques - niveau 1re

Un caillou tombe dans une mare : des cercles s'éloignent du point d'impact, mais le bouchon posé sur l'eau ne part pas avec eux, il monte et descend sur place. Ce qui voyage, ce sont les **ondes mécaniques** : une perturbation qui se transmet de proche en proche en transportant de l'énergie, sans transporter de matière. Du son aux séismes en passant par la houle, la même description scientifique s'applique.

Ce cours est à **télécharger en PDF et à imprimer gratuitement** : le bouton se trouve en bas de la page, sans inscription.

Qu'est-ce qu'une onde mécanique ?

DÉFINITION

Une **onde mécanique progressive** est la propagation d'une **perturbation** dans un **milieu matériel** (solide, liquide ou gaz), de proche en proche, sans déplacement d'ensemble de la matière. Chaque point du milieu reproduit, avec un certain retard, le mouvement du point qui le précède.

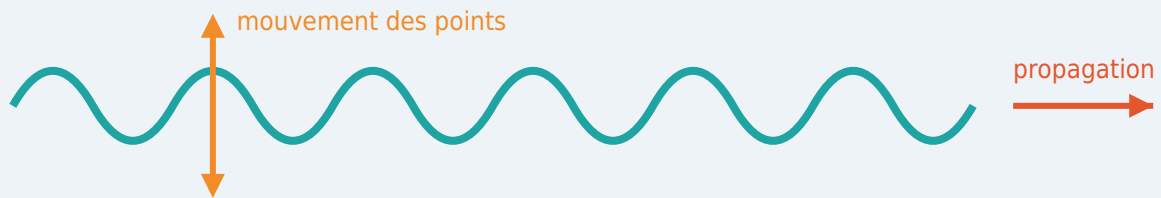
Trois idées sont à retenir. D'abord, il faut un **milieu matériel** : le son ne se propage pas dans le vide, contrairement à la lumière. Ensuite, la perturbation **transporte de l'énergie** : une vague peut casser une digue, une onde sismique peut détruire un immeuble. Enfin, la **matière ne voyage pas** : chaque point oscille autour de sa position d'équilibre puis y revient.

Ondes transversales et ondes longitudinales

On classe les ondes selon la direction du mouvement des points du milieu par rapport à la direction de propagation.

- Onde **transversale** : les points se déplacent perpendiculairement à la direction de propagation (onde le long d'une corde, onde sismique S).
- Onde **longitudinale** : les points se déplacent parallèlement à la direction de propagation, en créant des zones de compression et de dilatation (onde sur un ressort, son dans l'air, onde sismique P).

Onde transversale (corde)



Onde longitudinale (ressort)



Dans l'onde transversale, les points oscillent perpendiculairement à la propagation ; dans l'onde longitudinale, ils oscillent dans la même direction que la propagation.

ERREUR FRÉQUENTE

Ne pas dire que « l'onde transporte de l'eau » ou « de l'air » : seule l'**énergie** (et l'information) se déplace. Un bouchon sur l'eau oscille sur place pendant que la vague passe.

La célérité : à quelle vitesse se propage l'onde ?

La **célérité** v d'une onde est la vitesse de propagation de la perturbation. Elle ne dépend pas de la source mais uniquement du **milieu** (nature, température, tension d'une corde...). On la mesure en repérant le **retard** τ pris par le signal entre deux points distants de d .

FORMULE À RETENIR

$$v = d \div \tau \quad \text{soit} \quad \tau = d \div v$$

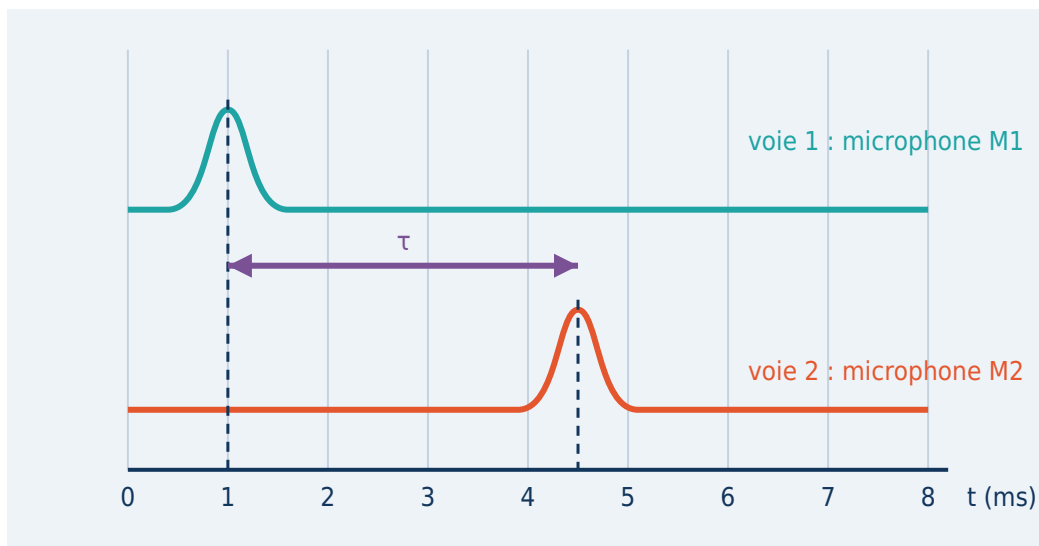
v en m/s, d en m, τ (retard) en s.

Milieu	Célérité approximative
Air à 0 °C	331 m/s
Air à 20 °C	343 m/s
Eau à 20 °C	$1,48 \times 10^3$ m/s
Acier	$5,9 \times 10^3$ m/s

APPLICATION NUMÉRIQUE

Deux microphones sont distants de $d = 1,20$ m. Un claquement est reçu par le second

avec un retard $\tau = 3,5$ ms sur le premier. Célérité : $v = d \div \tau = 1,20 \div (3,5 \times 10^{-3}) \approx 3,4 \times 10^2$ m/s (deux chiffres significatifs, comme la durée).



Le même signal arrive en M2 avec un retard τ : ici $\tau = 3,5$ ms (entre 1 ms et 4,5 ms).

Ondes périodiques : période et fréquence

Si la source produit une perturbation qui se répète identique à elle-même, l'onde est dite **périodique**. La **période** T est la durée d'un motif élémentaire (en secondes). La **fréquence** f est le nombre de motifs par seconde (en hertz, Hz).

FORMULE À RETENIR

$$f = 1 \div T$$

f en hertz (Hz), T en secondes (s). Exemple : $T = 2,0$ ms donne $f = 500$ Hz.

La fréquence est **imposée par la source** et ne change pas quand l'onde passe d'un milieu à un autre. La célérité, elle, change.

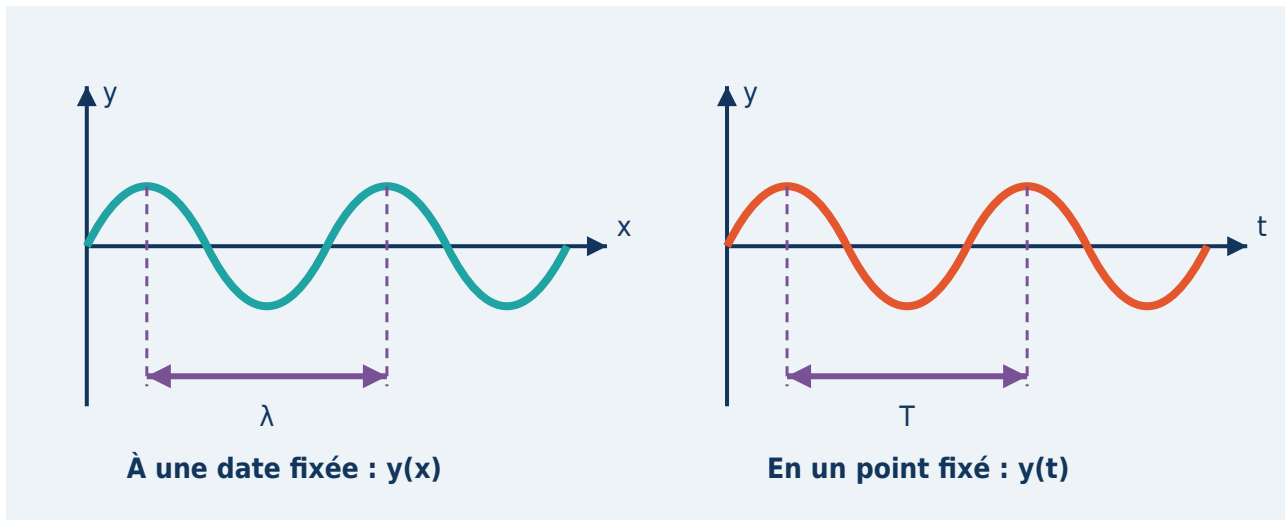
La longueur d'onde : une double périodicité

Une onde périodique est **périodique dans le temps** (en un point fixé, le mouvement se répète toutes les T) et **périodique dans l'espace** (à une date fixée, l'aspect du milieu se répète tous les λ). La **longueur d'onde** λ est la plus petite distance entre deux points qui vibrent exactement de la même façon (par exemple deux crêtes consécutives). Pendant une période T , l'onde avance d'une longueur d'onde.

FORMULE À RETENIR

$$\lambda = v \times T = v \div f$$

λ en m, v en m/s, T en s, f en Hz.



À gauche, l'aspect de la corde à une date donnée : la distance entre deux crêtes est λ . À droite, le mouvement d'un point : la durée entre deux maxima est T .

APPLICATION NUMÉRIQUE

Un diapason émet un son de fréquence $f = 440$ Hz dans l'air à 20°C ($v = 343$ m/s).

Période : $T = 1 \div 440 \approx 2,27 \times 10^{-3}$ s. Longueur d'onde : $\lambda = v \div f = 343 \div 440 \approx \mathbf{0,78}$ m.

Retard, phase et opposition de phase

Un point M situé à la distance d de la source S reproduit le mouvement de S avec le retard $\tau = d \div v$: son élongation à la date t est celle de la source à la date $t - \tau$. Deux points d'une onde périodique séparés d'une distance d vibrent :

- **en phase** (mouvements identiques) si $d = k \times \lambda$, avec k entier ($\lambda, 2\lambda, 3\lambda \dots$) ;
- **en opposition de phase** (mouvements opposés à chaque instant) si $d = (k + \frac{1}{2}) \times \lambda$ ($\lambda/2, 3\lambda/2 \dots$).

EXEMPLE

Sur une corde, $\lambda = 0,50$ m et $v = 2,0$ m/s. Deux points M_1 et M_2 sont distants de $d = 1,25$ m. Le rapport $d \div \lambda = 1,25 \div 0,50 = 2,5$: ils vibrent **en opposition de phase**. Le retard entre eux vaut $\tau = d \div v = 1,25 \div 2,0 \approx \mathbf{0,63}$ s.

Quelques ondes mécaniques à connaître

- **Le son** : onde longitudinale dans l'air, de fréquences audibles de 20 Hz à 20 kHz environ.
- **La houle** : onde à la surface de l'eau ; une bouée monte et descend avec la période de la houle.

- **Les ondes sismiques** : les ondes P (longitudinales, plus rapides) arrivent avant les ondes S (transversales, plus lentes) ; l'écart entre les deux arrivées permet de situer l'épicentre.

L'essentiel à retenir

- Une onde mécanique progressive transporte de l'énergie, sans transport de matière, dans un milieu matériel.
- Elle est transversale si les points oscillent perpendiculairement à la propagation, longitudinale s'ils oscillent dans la direction de propagation.
- La célérité dépend du milieu : $v = d \div \tau$.
- La période T (s) et la fréquence $f = 1 \div T$ (Hz) sont imposées par la source.
- La longueur d'onde est $\lambda = v \times T = v \div f$: c'est la double périodicité spatiale et temporelle.
- En phase si $d = k\lambda$; en opposition de phase si $d = (k + \frac{1}{2})\lambda$.