

FICHE DE COURS

Ondes mécaniques

Ondes progressives, célérité, retard et double périodicité

1. Onde mécanique progressive

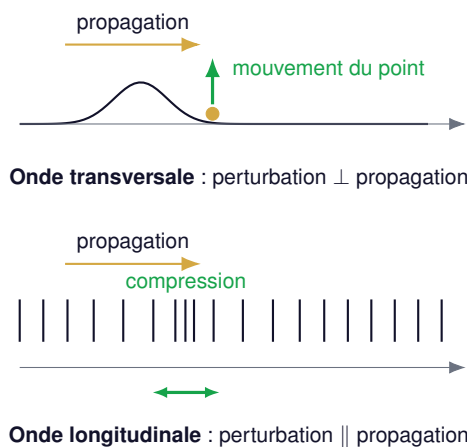
Une **onde mécanique progressive** est la propagation d'une **perturbation** dans un milieu matériel, sans **transport de matière**, mais avec **transport d'énergie**.

Deux caractéristiques essentielles :

- chaque point du milieu **reproduit le mouvement** de la source, avec un **retard** ;
- après le passage de l'onde, chaque point **revient à sa position initiale** : il n'y a pas de déplacement d'ensemble de la matière.

On distingue :

- les ondes **transversales** : la perturbation est **perpendiculaire** à la direction de propagation (corde, vague) ;
- les ondes **longitudinales** : la perturbation est **parallèle** à la direction de propagation (son, ressort comprimé).



2. Célérité et retard

La **célérité** v d'une onde est la vitesse de propagation de la perturbation dans le milieu :

$$v = \frac{d}{\Delta t} \quad v \text{ en m/s, } d \text{ en m, } \Delta t \text{ en s}$$

Elle dépend **uniquement du milieu** (nature, température, tension d'une corde...), et **pas** de l'amplitude de la perturbation.

Le **retard** τ d'un point M par rapport à un point S est la durée que met l'onde pour parcourir la distance SM :

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

Le point M reproduit alors le mouvement de S avec ce retard.

Ordres de grandeur des célérités du **son** :

air (20 °C) : 340 m/s eau : 1500 m/s acier : 5000 m/s

Le son se propage d'autant plus vite que le milieu est **dense et rigide** ; il ne se propage **pas dans le vide**.

Exemple : On voit l'éclair puis on entend le tonnerre 6,0 s plus tard. À quelle distance a frappé la foudre ?

La lumière parvient quasi instantanément ; on néglige donc sa durée de propagation.

$$d = v \times \Delta t = 340 \times 6,0 = 2,0 \times 10^3 \text{ m}$$

D'où la règle pratique : **environ 1 km pour 3 secondes**.

Exemple : Localiser une source. Deux microphones distants de $D = 1,70 \text{ m}$ enregistrent un même son avec un décalage $\tau = 2,0 \text{ ms}$. Le son parcourt donc, entre les deux, une distance supplémentaire :

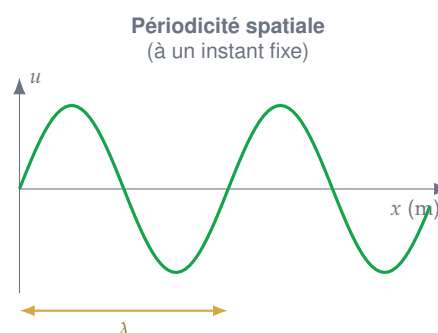
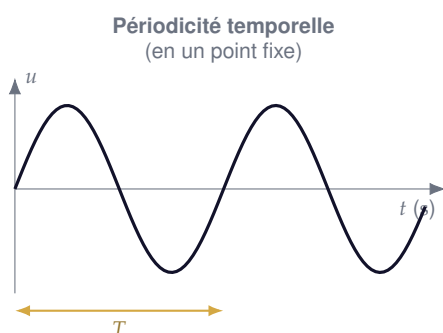
$$d = v \times \tau = 340 \times 2,0 \times 10^{-3} = 0,68 \text{ m}$$

Cette différence de trajet permet de situer la source par rapport à l'axe des deux microphones.

3. Ondes périodiques : la double périodicité

Une onde est **périodique** lorsque la perturbation se reproduit identique à elle-même à intervalles réguliers. Elle présente alors **deux périodicités** :

- une **périodicité temporelle** : la **période** T (en s), durée d'un motif en un point donné. La **fréquence** est $f = \frac{1}{T}$, en hertz (Hz) ;
- une **périodicité spatiale** : la **longueur d'onde** λ (en m), distance séparant deux points consécutifs dans le même état vibratoire, à un instant donné.



Piège classique : ces deux graphiques se ressemblent, mais l'axe des abscisses n'est pas le même. Il faut **toujours** regarder si l'axe porte un temps (t , en s) — on lit alors T — ou une distance (x , en m) — on lit alors λ .

Pendant une période T , l'onde parcourt exactement une longueur d'onde λ . D'où la **relation fondamentale** :

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

Exemple : Un haut-parleur émet un son de fréquence $f = 680 \text{ Hz}$ dans l'air ($v = 340 \text{ m/s}$).

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{680} = 1,47 \times 10^{-3} \text{ s} \qquad \lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{680} = 0,50 \text{ m}$$

Ce même son, émis dans l'eau ($v = 1500 \text{ m/s}$), garde la **même fréquence** (imposée par la source), mais sa longueur d'onde devient :

$$\lambda' = \frac{1500}{680} = 2,2 \text{ m}$$

À retenir : lors d'un changement de milieu, f ne change **pas**, mais v et λ changent.

Mesurer une célérité. Pour améliorer la précision, on mesure la durée de propagation sur une **grande distance** ou sur un **grand nombre de périodes** :

- deux microphones reliés à une carte d'acquisition, séparés d'une distance d connue : on mesure le décalage τ entre les deux signaux, puis $v = \frac{d}{\tau}$;
- pour la période : on mesure la durée de n périodes et on divise par n , ce qui divise l'incertitude relative par n .

Onde mécanique : transport d'énergie sans transport de matière.

Célérité : $v = \frac{d}{\Delta t}$, propriété du milieu seul.

Retard : $\tau = \frac{SM}{v}$.

Double périodicité : T (temps, en un point) et λ (espace, à un instant), reliées par $\lambda = v T = \frac{v}{f}$.

Changement de milieu : f est conservée, v et λ changent.