

Fiche de cours Ondes mécaniques

L'essentiel du chapitre en deux pages

définitions · lois · méthodes · à savoir par cœur

1 ONDE MÉCANIQUE PROGRESSIVE

Définition. Une **onde mécanique progressive** est la propagation, de proche en proche, d'une **perturbation** dans un *milieu matériel*. Elle transporte de l'**énergie sans transport de matière** : chaque point du milieu, atteint par l'onde, effectue un mouvement autour de sa position d'équilibre puis y revient.

Définition. L'onde est **transversale** si la perturbation est *perpendiculaire* à la direction de propagation (corde, vague, onde sismique S), **longitudinale** si elle lui est *parallèle* (son dans l'air, ressort comprimé, onde sismique P).

Remarque. Une onde mécanique ne se propage pas dans le vide ; deux ondes qui se croisent se superposent puis poursuivent leur trajet sans être modifiées.

2 CÉLÉRITÉ ET RETARD

Définition. La **célérité** v de l'onde est la vitesse de propagation de la perturbation :

$$v = \frac{d}{\Delta t} \quad (v \text{ en m}\cdot\text{s}^{-1}, d \text{ en m}, \Delta t \text{ en s}).$$

Propriété — retard. Un point M situé à la distance d de la source reproduit le mouvement de la source avec le **retard**

$$\tau = \frac{d}{v}.$$

Deux points distants de d sur la direction de propagation reçoivent la perturbation avec ce décalage temporel.

Propriété. La célérité **dépend du milieu** (nature, température, tension d'une corde) et non de la forme ni de l'amplitude de la perturbation. En général, elle est plus grande dans les liquides que dans les gaz, et plus encore dans les solides : $v_{\text{air}} < v_{\text{eau}} < v_{\text{acier}}$.

3 ONDES PÉRIODIQUES : LA DOUBLE PÉRIODICITÉ

Définition. Une onde **périodique** reproduit identiquement la même perturbation à intervalles réguliers. Elle présente une **double périodicité** :

- **temporelle** : chaque point vibre avec la **période** T (en s) ; la **fréquence** est $f = \frac{1}{T}$ (en Hz). T et f sont imposées par la *source*.
- **spatiale** : la **longueur d'onde** λ (en m) est la distance parcourue par l'onde pendant une période, c'est-à-dire la période spatiale du phénomène.

Théorème. Relation fondamentale : $\lambda = vT = \frac{v}{f}$. Deux points distants de $k\lambda$ (k entier) vibrent **en phase** ; distants de $(k + \frac{1}{2})\lambda$, ils vibrent en **opposition de phase**.

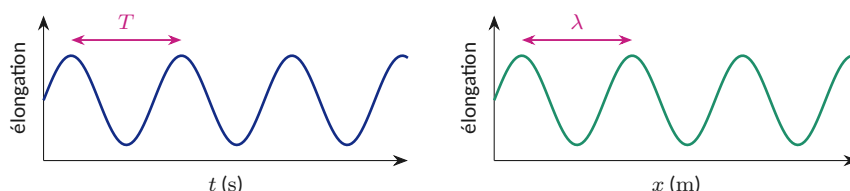


Figure 1 — À gauche, représentation *temporelle* (élongation d'un point au cours du temps) : on y lit la période T . À droite, représentation *spatiale* (photographie du milieu à un instant donné) : on y lit la longueur d'onde λ .

■ DONNÉES — Célérités et ordres de grandeur

- Son : $343 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dans l'air à 20°C • $\approx 1\,500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dans l'eau • $\approx 5\,000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dans l'acier.
- Séismes : ondes P (longitudinales, les plus rapides) $\approx 6,0 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ • ondes S (transversales) $\approx 3,5 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$.

4 MESURER ET APPLIQUER

Méthode — lire T ou λ sur une courbe. repérer deux points identiques consécutifs (deux maxima, ou deux passages par zéro dans le même sens); mesurer n périodes et diviser par n pour gagner en précision.

Méthode — mesurer une distance par l'écho. l'onde parcourt deux fois la distance cherchée, donc $d = \frac{v \Delta t}{2}$. C'est le principe du sonar (profondeur, banc de poissons), de l'échographie médicale et du télémètre à ultrasons.

Méthode — localiser un séisme. les ondes P, plus rapides, arrivent avant les ondes S; l'écart Δt donne la distance station-épicerie par $\Delta t = d \left(\frac{1}{v_S} - \frac{1}{v_P} \right)$, et trois stations situent l'épicentre.

5 SAVOIR-FAIRE DU CHAPITRE

► SAVOIR-FAIRE

- Décrire une onde mécanique progressive et reconnaître son caractère transversal ou longitudinal.
- Exploiter $v = d/\Delta t$ et $\tau = d/v$: célérité, retard entre deux capteurs, distance par la méthode de l'écho.
- Déterminer T sur une représentation temporelle et λ sur une représentation spatiale.
- Exploiter $\lambda = vT = v/f$ et prévoir ce qui change quand l'onde passe d'un milieu à un autre.
- Localiser la source d'un séisme à partir du décalage d'arrivée des ondes P et S.

6 EXEMPLES TYPES

★ EXEMPLE — méthode de l'écho : sondeur

Un sondeur émet une salve ultrasonore vers le fond et reçoit l'écho $\Delta t = 80$ ms plus tard; dans l'eau $v = 1\,500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. L'onde a parcouru l'aller et le retour : $d = \frac{v \Delta t}{2} = \frac{1500 \times 80 \times 10^{-3}}{2} = 60 \text{ m}$.

★ EXEMPLE — fréquence imposée, longueur d'onde variable

Un diapason émet un son de fréquence $f = 440 \text{ Hz}$, donc de période $T = 1/f = 2,27 \text{ ms}$. Dans l'air, $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343}{440} = 0,78 \text{ m}$; dans l'eau, $\lambda = \frac{1500}{440} = 3,4 \text{ m}$. En changeant de milieu, f ne change pas (elle vient de la source) : c'est v , donc λ , qui change.

★ EXEMPLE — distance d'un séisme

Une station reçoit les ondes P ($v_P = 6,0 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$) puis, $\Delta t = 12 \text{ s}$ plus tard, les ondes S ($v_S = 3,5 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$). Comme $\Delta t = \frac{d}{v_S} - \frac{d}{v_P}$, on obtient $d = \frac{\Delta t}{\frac{1}{v_S} - \frac{1}{v_P}} = \frac{12}{\frac{1}{3500} - \frac{1}{6000}} = 1,0 \times 10^5 \text{ m} = 1,0 \times 10^2 \text{ km}$. Trois stations suffisent alors pour situer l'épicentre.

★ EXEMPLE — mesurer la célérité du son

Deux microphones placés sur la même direction, distants de $d = 2,50 \text{ m}$, enregistrent un même claquement avec un décalage $\tau = 7,3 \text{ ms}$. La célérité vaut $v = \frac{d}{\tau} = \frac{2,50}{7,3 \times 10^{-3}} = 3,4 \times 10^2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, en accord avec la valeur de référence dans l'air.

✗ PIÈGES

- Croire que la matière est transportée : seule la perturbation, donc l'énergie, se déplace.
- Oublier le trajet aller-retour dans une mesure par écho : la distance cherchée vaut $v \Delta t/2$.
- Confondre période T (durée, en s) et longueur d'onde λ (distance, en m) : les repérer sur la bonne représentation.
- Penser que f change en changeant de milieu : f vient de la source, v et λ changent ensemble. Penser aussi à convertir les $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ et les ms.