

# Ondes mécaniques

Propagation d'une perturbation, célérité, retard et double périodicité d'une onde progressive

Spécialité Physique-Chimie

Première

## CAPACITÉS EXIGIBLES (PROGRAMME OFFICIEL 2019)

- Expliquer, à l'aide d'un modèle qualitatif, la propagation d'une perturbation mécanique dans un milieu matériel.
- Relier la distance parcourue par une perturbation, la durée de propagation et la célérité de l'onde.
- Exploiter la relation entre retard, distance et célérité, notamment pour localiser une source d'onde.
- Distinguer une onde mécanique progressive périodique d'une onde sinusoïdale.
- Distinguer périodicité temporelle (période) et périodicité spatiale (longueur d'onde).
- Connaître et exploiter la relation entre période, longueur d'onde et célérité.
- Déterminer les caractéristiques d'une onde mécanique périodique à partir d'une représentation spatiale ou temporelle.

## 1 Ondes mécaniques progressives

### 1.1 Définitions

Lorsqu'on perturbe localement un milieu (on pince une corde, on tape sur une table, on lâche une pierre dans l'eau), cette perturbation ne reste pas immobile : elle se transmet de proche en proche aux points voisins du milieu. C'est ce phénomène de transmission que l'on appelle une onde.

#### ONDE MÉCANIQUE PROGRESSIVE

Une **onde progressive** est la transmission de proche en proche, dans un milieu, de la perturbation créée localement par une source. Une onde progressive se propage **sans transport de matière**, mais avec un **transport d'énergie**.

Une **onde mécanique** résulte du déplacement local de matière (une portion de corde, une tranche d'air...) : elle se propage donc nécessairement dans un **milieu matériel** et ne peut pas se propager dans le vide.

#### NE PAS CONFONDRE

Chaque point du milieu oscille **autour de sa position d'équilibre** sans être transporté par l'onde : c'est l'information (la perturbation) qui voyage, pas la matière. Une bouée sur l'eau monte et descend au passage d'une vague, elle n'est pas poussée vers le rivage.

## 1.2 Caractéristiques d'une onde progressive

Une onde mécanique progressive se propage depuis sa source dans toutes les directions qui lui sont offertes par le milieu. On la caractérise par la direction de la perturbation par rapport à la direction de propagation, et par le nombre de dimensions selon lesquelles elle se propage.

### ONDE TRANSVERSALE OU LONGITUDINALE

Une onde est **transversale** si la direction de la perturbation est **perpendiculaire** à la direction de propagation.

Une onde est **longitudinale** si la direction de la perturbation est **parallèle** à la direction de propagation.

Une onde peut se propager à **une, deux ou trois dimensions**, selon qu'elle se propage le long d'un axe, sur une surface ou dans un volume.

*Nature, dimensions et milieu de propagation de quelques ondes usuelles*

|                   | Corde tendue<br>(secousse verticale) | Ressort (compression/<br>traction) | Vague à la surface<br>de l'eau | Son d'une note de<br>piano       |
|-------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| <b>Nature</b>     | Transversale                         | Longitudinale                      | Transversale                   | Longitudinale                    |
| <b>Dimensions</b> | 1 (le long de la corde)              | 1 (le long du ressort)             | 2 (à la surface de<br>l'eau)   | 3 (dans tout le<br>volume d'air) |
| <b>Milieu</b>     | Corde (solide)                       | Ressort (solide)                   | Eau (liquide)                  | Air (gaz)                        |

1

Repérer la **direction de la perturbation** (déplacement local de matière)

2

Repérer la **direction de propagation** de l'onde

3

Comparer les deux directions

4

Conclure : parallèles → **longitudinale** ;  
perpendiculaires → **transversale**

## 1.3 Célérité et retard

La vitesse à laquelle se propage une onde est appelée **célérité**. Contrairement à une vitesse de déplacement de matière, elle caractérise la rapidité avec laquelle l'information se transmet dans le milieu.

### CÉLÉRITÉ D'UNE ONDE

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

$c$  en  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  ;  $d$ , distance parcourue en m ;  $\Delta t$ , durée de propagation en s

Le **retard**  $\tau$  est la durée que met l'onde progressive pour parcourir la distance  $d$  entre deux points A et B du milieu de propagation :

### RETARD ENTRE DEUX POINTS

$$\tau = t_B - t_A$$

En combinant les deux définitions précédentes, célérité et retard sont reliés par :

$$c = \frac{d}{\tau}$$

### EXEMPLE RÉSOLU

Une perturbation parcourt une corde tendue sur une distance  $d = 0,50 \text{ m}$  en une durée  $\Delta t = 200 \text{ ms}$ . La célérité de l'onde vaut :

$$c = \frac{d}{\Delta t} = \frac{0,50}{0,200} = 2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Si un point B situé  $0,80 \text{ m}$  après le point A est atteint par la même onde, le retard entre A et B vaut

$$\tau = \frac{d}{c} = \frac{0,80}{2,5} = 0,32 \text{ s, soit } 320 \text{ ms.}$$

Ordres de grandeur de quelques célérités d'ondes mécaniques

| Onde                              | Son | Son   | Sismique      | Vague                |
|-----------------------------------|-----|-------|---------------|----------------------|
| Milieu de propagation             | Air | Eau   | Terre / roche | Eau                  |
| $c \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1})$ | 340 | 1 500 | 1 500 à 5 000 | 0,1 à 10, voire plus |

La célérité d'une onde ne dépend donc **ni de la source, ni de l'amplitude** de la perturbation : elle dépend uniquement du **type d'onde** et des **propriétés du milieu** de propagation (nature, état, température...).

### À VOUS DE JOUER

Un séisme est détecté par deux stations sismiques distantes de  $120 \text{ km}$ . Sachant que l'onde sismique se propage à  $4,0 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ , calculer le retard entre les instants de détection dans les deux stations (en supposant l'épicentre aligné avec les deux stations).

## 2 Ondes mécaniques périodiques

### 2.1 Définitions

Lorsque la perturbation à l'origine de l'onde se répète **identique à elle-même**, à intervalle de temps régulier, les ondes successives ne forment plus qu'une seule onde : une **onde périodique**.

### ONDE PÉRIODIQUE

Une onde périodique apparaît quand la perturbation se répète, à intervalle de temps régulier, identique à elle-même. Visuellement, un **motif se répète** le long du milieu de propagation.

**Exemple** : des gouttes qui tombent régulièrement d'un robinet sur la surface de l'eau d'un évier créent une onde périodique circulaire.

## 2.2 Double périodicité

Une onde mécanique périodique présente deux périodicités indépendantes : l'une **dans le temps**, l'autre **dans l'espace**.

### Période et fréquence

#### PÉRIODICITÉ TEMPORELLE

La **période temporelle**  $T$  d'un phénomène périodique est le plus petit intervalle de temps au bout duquel l'onde se reproduit identique à elle-même. Elle s'exprime en **seconde (s)**.

La **fréquence**  $f$  est le nombre de répétitions du phénomène par unité de temps. Elle s'exprime en **hertz (Hz)**.

#### RELATION PÉRIODE / FRÉQUENCE

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

### Longueur d'onde

#### PÉRIODICITÉ SPATIALE OU LONGUEUR D'ONDE $\lambda$

La **longueur d'onde**  $\lambda$  est la plus petite distance séparant deux points du milieu qui vibrent **en phase** (qui reproduisent le même mouvement au même instant). Elle correspond à la distance parcourue par l'onde pendant une période  $T$ . Elle s'exprime en **mètre (m)**.

#### RELATION ENTRE PÉRIODE, LONGUEUR D'ONDE ET CÉLÉRITÉ

$$\lambda = c \times T$$

$\lambda$  en m ;  $c$  en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;  $T$  en s

### EXEMPLE RÉSOLU

Une onde périodique se propage à la surface de l'eau à la célérité  $c = 0,60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . La période temporelle mesurée est  $T = 0,50 \text{ s}$  (fréquence  $f = \frac{1}{0,50} = 2,0 \text{ Hz}$ ). La longueur d'onde vaut :

$$\lambda = c \times T = 0,60 \times 0,50 = 0,30 \text{ m}$$

Deux points de la surface distants de 30 cm vibrent donc exactement en phase.

1

Mesurer la **période T** sur un enregistrement temporel (oscilloscope, capteur)

2

Mesurer la **longueur d'onde  $\lambda$**  sur une photo à un instant donné

3

En déduire la **célérité**  $c = \lambda/T$  de l'onde

Exercices 34 et 36 page 343 ; 40 page 344 ; 55 page 347

## 3 Ondes sonores (rappel de seconde)

### ONDE SONORE

Une **onde sonore** (ou acoustique) est une perturbation mécanique progressive périodique **longitudinale**, due à des successions de compressions et de dilatations de couches de fluide (liquide ou gaz).

L'oreille humaine peut percevoir des sons dont la fréquence est comprise entre **20 Hz et 20 000 Hz** (20 kHz).

*Classification des ondes sonores selon leur fréquence*

| Domaine de fréquence                           | Nom           | Perception humaine |
|------------------------------------------------|---------------|--------------------|
| $f < 20 \text{ Hz}$                            | Infrasons     | Non audibles       |
| $20 \text{ Hz} \leq f \leq 20\,000 \text{ Hz}$ | Sons audibles | Audibles           |
| $f > 20\,000 \text{ Hz}$                       | Ultrasons     | Non audibles       |

### À RETENIR

$$v_{\text{air}} = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Célérité du son dans l'air, dans les conditions usuelles de température

Exercices 28, 30 et 32 page 343 ; 53 page 347

### L'ESSENTIEL À RETENIR

- Une onde mécanique progressive transporte de l'énergie, sans transport de matière, dans un milieu matériel.
- Elle est transversale si la perturbation est perpendiculaire à la propagation, longitudinale si elle lui est parallèle.
- La célérité  $c = d/\Delta t$  ne dépend que du type d'onde et du milieu ; le retard  $\tau$  entre deux points vaut  $d/c$ .
- Une onde périodique possède une double périodicité : temporelle (période  $T$ , fréquence  $f = 1/T$ ) et spatiale (longueur d'onde  $\lambda$ ).
- Période, longueur d'onde et célérité sont reliées par  $\lambda = c \times T$ .
- Le son est une onde mécanique longitudinale ; l'oreille humaine perçoit les fréquences entre 20 Hz et 20 000 Hz.

---

*Ouverture : la relation  $\lambda = c \times T$ , établie ici pour les ondes mécaniques, se retrouvera à l'identique pour les **ondes électromagnétiques** (lumière), où la célérité  $c$  prendra alors la valeur particulière de la vitesse de la lumière dans le vide.*