

Ondes progressives

Une onde transporte de l'énergie sans transporter de matière : une vague soulève un bateau puis le repose, sans l'emporter avec elle.

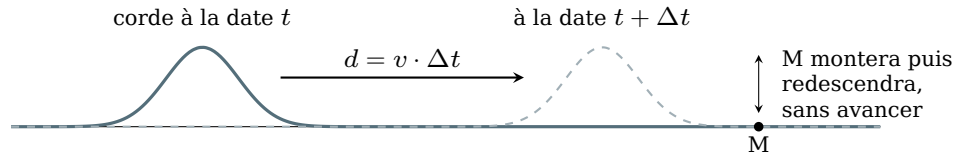
Cette fiche rappelle les trois grandeurs à connaître : la célérité v , la période T et la longueur d'onde λ .

1. L'onde progressive

Onde progressive

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

Exemple. Une impulsion se propage le long d'une corde. Chaque point de la corde monte puis redescend lorsque la bosse passe, mais il ne se déplace pas avec elle. C'est la perturbation qui avance.



Dans un modèle simple de propagation sans déformation, chaque point du milieu reproduit le mouvement de la source avec un retard d'autant plus grand qu'il est loin d'elle.

Ondes mécaniques et électromagnétiques

On distingue deux familles d'ondes :

- l'**onde mécanique** se propage dans un **milieu matériel** (eau, air, corde, roche...), dont elle perturbe une grandeur physique — altitude de la surface pour les rides, **pression** pour le son ;
- l'**onde électromagnétique** est la propagation d'une perturbation du **champ électromagnétique** : elle n'a pas besoin de support matériel et se propage **aussi dans le vide** (lumière, ondes radio, rayons X...).

Exemple. La lumière du Soleil traverse le vide jusqu'à la Terre. Le son, lui, ne se propage pas dans le vide : il a besoin d'un milieu matériel.

Pour une onde mécanique, on distingue :

- une onde **transversale** si la perturbation est perpendiculaire à la propagation ;
- une onde **longitudinale** si elle est parallèle à la propagation.

Exemple. La bosse sur la corde est transversale (la corde bouge verticalement, l'onde avance horizontalement). Le **son** est une onde longitudinale : les tranches d'air sont tour à tour comprimées puis dilatées dans la direction même où le son se propage.

2. La célérité

Célérité d'une onde

La **célérité** v d'une onde est la vitesse à laquelle la **perturbation** se déplace :

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

où d est la distance parcourue par la perturbation pendant la durée Δt (en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ avec d en m et Δt en s).

Exemple. Une vague parcourt les 150 m qui la séparent de la plage en 30 s : $v = d/\Delta t = 150/30 = 5,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Célérités de référence

- **La lumière dans le vide** : $c = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \simeq 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ — une valeur **exacte** (elle définit le mètre), la même pour toutes les ondes électromagnétiques. La valeur à trois chiffres significatifs est encore valide **dans l'air**;
- **le son dans l'air** : $v_{\text{son}} \simeq 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ — une valeur qui dépend de plusieurs facteurs, en particulier de la **température** et de l'**humidité** de l'air.

La célérité d'une onde mécanique dépend du milieu de propagation et de son état : dans l'eau, beaucoup moins compressible que l'air, le son se propage à environ $1500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

C'est le rapport entre ces deux célérités — presque un million — qui fait que l'éclair se voit instantanément quand le tonnerre, lui, se fait attendre.

3. Les ondes périodiques : période et fréquence

Quand la source répète le même mouvement à intervalles de temps réguliers, l'onde est **périodique** : en tout point du milieu, la perturbation se reproduit identique à elle-même.

Période et fréquence

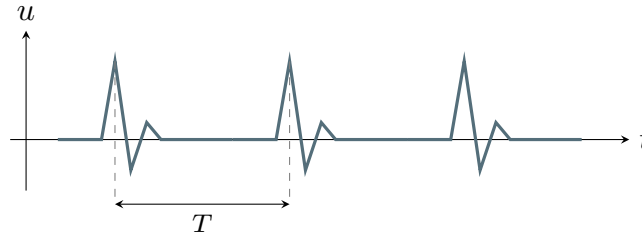
La **période** T est la durée au bout de laquelle un point du milieu **reproduit son mouvement** (en s). La **fréquence** f est le nombre de répétitions par seconde (en

hertz, Hz) :

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

La fréquence est fixée par la source. Lorsqu'une onde change de milieu, sa fréquence reste la même ; sa célérité et sa longueur d'onde peuvent changer.

Exemple. Perturbation créée par un robinet qui goutte régulièrement dans l'évier.



Exemple (onde mécanique). Le robinet goutte deux fois par seconde : $f = 2,0$ Hz, donc $T = 1/f = 0,50$ s — et un train de rides périodiques parcourt l'évier. Un son musical est aussi une onde mécanique périodique : le la du diapason vibre à $f = 440$ Hz.

Exemple (onde électromagnétique). La lumière **visible** est une onde périodique extraordinairement rapide : environ $f \sim 10^{14}$ à 10^{15} Hz — des millions de milliards d'oscillations par seconde. Les ondes radio, elles, oscillent « seulement » à quelques 10^5 à 10^9 Hz.

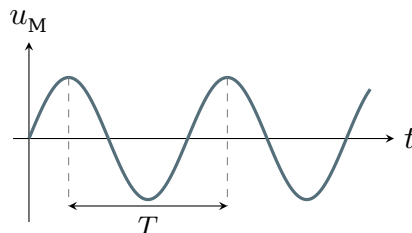
4. L'onde sinusoïdale et la longueur d'onde

Le cas le plus important d'onde périodique est l'onde **sinusoïdale**.

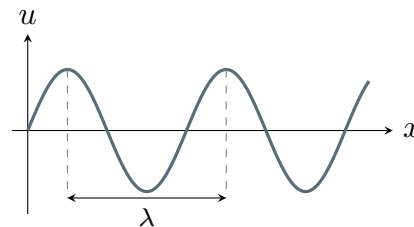
Onde sinusoïdale

Une onde est **sinusoïdale** lorsque la grandeur perturbée oscille en un point comme une fonction **sinus** du temps, de période T .

Une onde sinusoïdale se décrit par **deux graphes différents** — c'est la **double périodicité** :



un point M au cours du temps :
on y lit la **période** T (en s)



le milieu entier à un instant donné :
on y lit la **longueur d'onde** λ (en m)

Longueur d'onde

La **longueur d'onde** λ est la distance entre deux crêtes successives — plus précisément, la distance parcourue par l'onde pendant une période (en m). C'est la période **spatiale** de l'onde, comme T en est la période **temporelle**.

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

avec λ en m, v en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, T en s et f en Hz.

Avant de mesurer sur un tel graphe, regarder toujours l'axe horizontal : - axe en secondes : on lit une période T ; - axe en mètres : on lit une longueur d'onde λ .

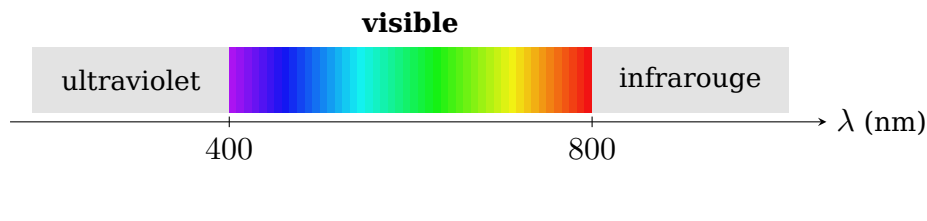
Exemple. Le la du diapason ($f = 440 \text{ Hz}$) dans l'air ($v = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) : $\lambda = v/f = 340/440 = 0,77 \text{ m}$. Dans l'eau ($v = 1500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) : $\lambda = 3,4 \text{ m}$. La fréquence est imposée par la source, mais λ dépend du milieu traversé.

Les domaines des ondes électromagnétiques

On classe les ondes électromagnétiques par longueur d'onde **dans le vide** ($\lambda = c/f$). Le découpage, des plus courtes aux plus longues : rayons **gamma** et **X** ($\lambda < 10 \text{ nm}$), **ultraviolet**, **visible**, **infrarouge**, **micro-ondes** puis ondes **radio** (λ du centimètre au kilomètre).

Spectre visible

Le **spectre visible** s'étend d'environ **400 nm** (violet) à **800 nm** (rouge) — deux limites à connaître. Juste en deçà de 400 nm commence l'**ultraviolet** (UV) ; juste au-delà de 800 nm, l'**infrarouge** (IR), tous deux invisibles à l'œil.



Pièges fréquents

- Une onde **ne transporte pas de matière** : le bouchon monte et descend au passage de la vague, il ne part pas vers la plage.
- $f = 1/T$ exige T en **secondes** : $T = 2,0 \text{ ms}$ donne $f = 5,0 \times 10^2 \text{ Hz}$, pas $0,50 \text{ Hz}$.
- La célérité dépend du **milieu**, pas de l'amplitude : crier plus fort ne fait pas arriver le son plus tôt.
- Ne pas confondre les **deux graphes** : abscisse en **secondes** → on y lit T ; abscisse en **mètres** → on y lit λ . Regarder l'axe avant de mesurer quoi que ce soit.
- Quand une onde change de milieu, sa **fréquence ne change pas** (elle est

imposée par la source) : c'est $\lambda = v/f$ qui change car la célérité change.

- Les limites du visible se retiennent en **nm** et dans le bon sens : **400 nm côté violet, 800 nm côté rouge** (le rouge a la plus grande longueur d'onde, donc la plus petite fréquence).

5. Auto-test

Répondez avant de regarder les corrigés.

1. Des rides circulaires se propagent à la surface d'un étang ; un bouchon de pêche monte et descend à leur passage. Que transporte l'onde ? Pourquoi le bouchon ne dérive-t-il pas vers le bord ?
2. Une vague parcourt 60 m en 12 s : quelle est sa célérité ?
3. Un point d'une corde reproduit son mouvement toutes les 4,0 ms. Donner T puis f .
4. Au large, deux crêtes de houle successives sont distantes de 40 m et une crête passe devant une bouée toutes les 8,0 s. Identifier λ et T , puis calculer la célérité de la houle.
5. Un émetteur à ultrasons vibre à $f = 40$ kHz dans l'air ($v = 340$ m·s⁻¹). Calculer la longueur d'onde.
6. Entre quelles longueurs d'onde s'étend le spectre visible ? Quels domaines trouve-t-on juste en deçà et juste au-delà ?
7. Calculer la fréquence d'une lumière rouge de longueur d'onde $\lambda = 700$ nm dans l'air.

Corrigés

1. L'onde transporte de l'**énergie** (le bouchon se met en mouvement), mais **pas de matière** : l'eau monte et descend sur place, seule la déformation de la surface se propage — le bouchon, porté par l'eau, reste donc où il est.
2. $v = d/\Delta t = 60/12 = 5,0$ m·s⁻¹.
3. $T = 4,0$ ms = $4,0 \times 10^{-3}$ s ; $f = 1/T = 1/(4,0 \times 10^{-3}) = 2,5 \times 10^2$ Hz.
4. La distance entre crêtes est la période spatiale : $\lambda = 40$ m ; la durée entre deux passages est la période temporelle : $T = 8,0$ s. D'où $v = \lambda/T = 40/8,0 = 5,0$ m·s⁻¹.
5. $\lambda = v/f = 340/(40 \times 10^3) = 8,5 \times 10^{-3}$ m = 8,5 mm.
6. De 400 à 800 nm environ. En deçà de 400 nm : l'**ultraviolet** ; au-delà de 800 nm : l'**infrarouge**.
7. Dans l'air, la lumière va à $c = 3,00 \times 10^8$ m·s⁻¹ : $f = c/\lambda = 3,00 \times 10^8/(700 \times 10^{-9}) = 4,3 \times 10^{14}$ Hz.