

Ondes et signaux — Caractéristiques

2^{de}

Programme de seconde générale et technologique — BO spécial n°1 du 22 janvier 2019

Pendant un orage, l'éclair arrive tout de suite et le tonnerre plusieurs secondes après. Rien n'a voyagé de la foudre jusqu'à vous : ni air, ni lumière matérielle. Ce qui s'est déplacé, c'est une perturbation — et deux perturbations de vitesses très différentes. Compter les secondes entre l'éclair et le coup de tonnerre, c'est déjà faire de la physique des ondes, et c'est tout ce chapitre en une expérience gratuite.

1 Ce qu'est une onde

DÉFINITION

Une **onde** est la **propagation d'une perturbation** dans un milieu ou dans le vide. Elle transporte de l'**énergie** et de l'**information**, mais **pas de matière** : le bouchon monté par la vague redescend à sa place, il n'accompagne pas la vague. Une onde **mécanique** a besoin d'un milieu matériel — le son n'existe pas dans le vide. Une onde **électromagnétique** se propage même dans le vide : c'est le cas de la lumière.

DÉFINITION

Pour une onde **périodique**, la **période** T est la durée d'un motif complet, en **secondes**. La **fréquence** f est le nombre de motifs par seconde, en **hertz** (Hz). Les deux sont l'inverse l'une de l'autre : connaître l'une, c'est connaître l'autre.

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

DÉFINITION

La longueur d'onde λ est la **distance** parcourue par l'onde pendant **une période**. Elle se lit sur un enregistrement **spatial** — une photographie de l'onde à un instant donné — alors que la période se lit sur un enregistrement **temporel**, en un point fixe. Confondre les deux graphiques est l'erreur la plus coûteuse du chapitre.

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

LE PIÈGE QUI COÛTE LE PLUS DE POINTS

Croire que la longueur d'onde d'un son ou d'une lumière reste la même quand on change de milieu. — La **fréquence** est imposée par la **source** : elle traverse les milieux sans changer. La **vitesse**, elle, dépend du milieu — le son va environ quatre fois plus vite dans l'eau que dans l'air. Comme $\lambda = v/f$, c'est donc la longueur d'onde qui change. Attribuer la constance à la mauvaise grandeur fait rater tous les exercices de passage d'un milieu à un autre.

Le réflexe : La **fréquence** appartient à la **source**, la longueur d'onde appartient au **milieu**.

CALCULER UNE LONGUEUR D'ONDE

- ① Identifier la nature de l'onde et le **milieu** de propagation, puis relever la **vitesse** v correspondante.
- ② Repérer laquelle des deux grandeurs temporelles est donnée : la **période** T en secondes, ou la **fréquence** f en hertz.
- ③ Si c'est la période qui est donnée, passer d'abord à la fréquence.
 $1 \div 0,0025 = 400$
 Une période de 2,5 ms correspond à une fréquence de 400 Hz.
- ④ Appliquer la relation, toutes les grandeurs étant en unités du système : mètres, secondes, hertz.
 $340 \div 400 = 0,85$
 Ce son de 400 Hz a dans l'air une longueur d'onde de 0,85 m.
- ⑤ Contrôler l'**ordre de grandeur** : quelques dizaines de centimètres pour un son audible, moins d'un micromètre pour la lumière visible.

EXEMPLE

Le la du diapason a une fréquence de 440 Hz. Le son se propage dans l'air à $340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Calculer sa longueur d'onde, puis sa période.

- ① La longueur d'onde s'obtient en divisant la vitesse par la fréquence :
 $340 \div 440 \approx 0,77$
 - ② Soit environ **0,77 m**, c'est-à-dire 77 cm — l'ordre de grandeur d'un bras, ce qui est cohérent pour un son audible.
 - ③ La période est l'inverse de la fréquence :
 $1 \div 440 \approx 0,0023$
 - ④ Soit environ **2,3 ms**.
- $\lambda \approx 0,77 \text{ m}$ et $T \approx 2,3 \text{ ms}$**

2 Le son, une onde mécanique

PROPRIÉTÉ

La **vitesse** du son dépend du milieu, et elle augmente quand le milieu est plus dense et plus rigide : environ **$340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$** dans l'air, **$1\,500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$** dans l'eau, plus de **$5\,000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$** dans l'acier. Dans le **vide**, le son ne se propage pas du tout : il n'y a rien à faire vibrer.

L'oreille humaine perçoit approximativement de **20 Hz à 20 000 Hz**. Au-dessus de cette limite, on parle d'**ultrason** ; en dessous, d'**infrason**. Un **ultrason** n'est pas un son « plus fort » : c'est un son **très aigu** pour être entendu. Les chauves-souris, les sonars et l'échographie l'utilisent précisément parce que sa faible longueur d'onde permet de détecter de petits obstacles.

3 Le spectre électromagnétique

RÈGLE

Toutes les ondes électromagnétiques vont à la même vitesse dans le vide, environ **$300\,000 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$** . Ce qui les distingue est leur **fréquence**. Rangées par fréquence **croissante**, elles forment le **spectre** : ondes **radio**, micro-ondes, **infrarouge**, lumière **visible**, ultraviolet, rayons X, rayons gamma. Quand la fréquence augmente, la longueur d'onde **diminue** et l'énergie transportée **augmente** — d'où la dangerosité croissante vers la droite du **spectre**.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Le domaine **visible** n'occupe qu'une bande étroite du **spectre**, du violet (environ 400 nm) au rouge (environ 800 nm). Juste au-delà du rouge se trouve l'**infrarouge**, que nous ne voyons pas mais que nous sentons comme une chaleur : c'est lui que détectent les caméras thermiques et les télécommandes.

LE PIÈGE QUI COÛTE LE PLUS DE POINTS

Dire qu'une onde de grande longueur d'onde est « plus puissante ». — C'est l'inverse. L'énergie transportée par une onde électromagnétique croît avec sa **fréquence**, donc **diminue** quand la longueur d'onde augmente. Les ondes **radio**, de très grande longueur d'onde, sont inoffensives ; les rayons X, de très petite longueur d'onde, sont ionisants. La confusion vient du mot « grand », qu'on associe spontanément à « fort ».

Le réflexe : Grande longueur d'onde, petite **fréquence**, faible énergie — les trois vont ensemble.

À VÉRIFIER

- Ai-je vérifié que mes grandeurs sont en **unités du système** : mètres, secondes, hertz ?
- Ai-je bien lu une **période** sur un graphique **temporel** et une longueur d'onde sur un graphique **spatial** ?
- En changeant de milieu, ai-je gardé la **fréquence** constante et fait varier la longueur d'onde ?
- Ma longueur d'onde sonore fait-elle quelques dizaines de centimètres, et non quelques kilomètres ?
- Ai-je utilisé la vitesse du **milieu** demandé, et non systématiquement $340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$?
- Pour un aller-retour d'écho, ai-je pensé à **diviser la distance par deux** ?

À RETENIR

- Une **onde** propage une perturbation : elle transporte de l'**énergie**, pas de matière.
- **$f = 1 / T$** : la **fréquence** en hertz, la **période** en secondes.
- **$\lambda = v / f$** : la longueur d'onde est la distance parcourue en une **période**.
- La **fréquence** vient de la **source** ; la **vitesse** et la longueur d'onde dépendent du milieu.
- Son : environ **$340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$** dans l'air, **$1\,500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$** dans l'eau, rien dans le vide.
- Audible de **20 Hz à 20 kHz** ; au-delà, **ultrason**.
- **Spectre** par fréquence croissante : radio, **infrarouge**, visible, ultraviolet, X, gamma.
- Fréquence qui monte : longueur d'onde qui baisse, énergie qui monte.
- Un **écho** : diviser la distance parcourue par **deux**.