

FICHE N°1 – ONDES MÉCANIQUES PROGRESSIVES

Définition

Une **onde mécanique progressive** est une perturbation qui se propage dans un milieu matériel (solide, liquide ou gaz) sans transport de matière, mais avec **transport d'énergie**.



Image :

Imagine une corde à sauter. Tu agites une extrémité : une bosse se déplace jusqu'à l'autre bout. Les points de la corde ne se déplacent pas avec la bosse, ils vibrent sur place.

Grandeurs physiques

- **Célérité v** (m/s) : vitesse de propagation de l'onde.
Exemple : son dans l'air ~ 340 m/s ; son dans l'eau ~ 1500 m/s.
- **Retard τ** (s) : temps mis par l'onde pour parcourir une distance d .
 $\tau = d / v$
- **Influence du milieu** : la célérité dépend des propriétés du milieu (température, pression, élasticité).
Exemple : le son va plus vite dans l'acier que dans l'air.

Formule fondamentale

$$v = d / t$$

- d : distance parcourue (m)
- t : durée (s)

Exemple de calcul

Un sonar émet une impulsion. L'écho revient après 0,2 s.

$v = 1500$ m/s (dans l'eau).

Distance de l'obstacle : l'onde fait un aller-retour $\rightarrow d = (v \times t) / 2 = (1500 \times 0,2) / 2 = 150$ m.

FICHE N°2 – ONDES PÉRIODIQUES, PÉRIODE, LONGUEUR D'ONDE

Définitions

- **Période temporelle T (s)** : durée d'une oscillation complète.
Exemple : une corde de guitare qui vibre 440 fois par seconde
 $\rightarrow T = 1/440 \approx 0,00227 \text{ s.}$
- **Fréquence f (Hz)** : nombre d'oscillations par seconde.
 $f = 1 / T$
- **Longueur d'onde λ (m)** : distance parcourue par l'onde pendant une période.
C'est aussi la distance entre deux crêtes consécutives.



Image :

À la surface de l'eau, jette un caillou. Les vagues ont un écart entre deux crêtes : c'est λ . Si tu regardes un point fixe, le temps entre deux passages de crête est T .

Relation fondamentale

$$v = \lambda \times f$$

ou $\lambda = v / f$

ou $f = v / \lambda$

Périodicité spatiale vs temporelle

- **Périodicité spatiale** : la longueur d'onde λ (répétition dans l'espace).
- **Périodicité temporelle** : la période T (répétition dans le temps).

Exemple de calcul

Une onde sonore de fréquence 500 Hz se propage dans l'air à 340 m/s.

$$\lambda = v / f = 340 / 500 = 0,68 \text{ m (68 cm).}$$

FICHE N°3 – SPECTRE D'AMPLITUDE D'UN SIGNAL PÉRIODIQUE

Principe (théorème de Fourier)

Tout signal périodique est la **somme** :

- d'une composante continue (valeur moyenne)
- d'un **fondamental** (sinusoïde de fréquence f_1)
- de **plusieurs harmoniques** (sinusoïdes de fréquences multiples : $2f_1, 3f_1, 4f_1 \dots$)



Image :

Un son de violon (complexe) = son pur d'un diapason (fondamental) + d'autres sons plus aigus (harmoniques) mélangés.

Vocabulaire

- **Fondamental** : fréquence la plus basse, notée f_1 .
- **Harmonique de rang n** : fréquence $f_n = n \times f_1$.
- **Composante continue** : valeur moyenne du signal (à 0 Hz).

Exploitation d'un spectre

Un spectre d'amplitude est un graphique avec **fréquence (Hz)** en abscisse et **amplitude (V, Pa...)** en ordonnée.

- La plus petite fréquence non nulle → **fondamental**.
- Les autres pics → **harmoniques**.
- L'amplitude à 0 Hz → **composante continue**.

Exemple

Spectre : raies à 0 Hz (2 V), 100 Hz (5 V), 200 Hz (2 V), 300 Hz (1 V).

- Fondamental = 100 Hz.
- 2e harmonique à 200 Hz (amplitude 2 V).
- 3e harmonique à 300 Hz (amplitude 1 V).
- Composante continue = 2 V.

FICHE N°4 – TRANSMISSION D'UN SIGNAL & BANDE PASSANTE

Objectif

Transmettre un signal sans trop le déformer → il faut conserver les harmoniques importants.

Bande passante

- **Définition** : intervalle de fréquences qu'un système (câble, filtre, ampli, oreille...) peut transmettre.
- Un signal carré a besoin de beaucoup d'harmoniques pour garder sa forme. Si on coupe les hautes fréquences → les bords s'arrondissent.



Image :

Une ligne téléphonique (**bande passante ~300–3400 Hz**) laisse passer la voix mais pas les aigus d'un violon.

Règle pour choisir la bande passante

Si le fondamental est f_1 et qu'on veut transmettre les harmoniques jusqu'au rang N , la bande passante doit s'étendre au moins jusqu'à :

$$N \times f_1$$

Exemple

Un signal de fréquence fondamentale 200 Hz. On veut conserver les harmoniques jusqu'au rang 5.

Fréquence maximale = $5 \times 200 = 1000$ Hz.

Il faut donc une bande passante d'au moins 1 kHz.

Fréquence d'échantillonnage (théorème de Nyquist)

Pour numériser un signal sans perte, il faut échantillonner à une fréquence :

$$f_e > 2 \times f_{\max}.$$

Exemple : signal audio jusqu'à 20 kHz → $f_e > 40$ kHz (CD audio = 44,1 kHz).

RÉCAPITULATIF DES FORMULES (à connaître par cœur)

Grandeur	Symbole	Unité	Formule
Célérité	v	m/s	$v = d / t$
Période	T	s	$T = 1 / f$
Fréquence	f	Hz	$f = 1 / T$
Longueur d'onde	λ	m	$\lambda = v / f$
Relation			$v = \lambda \times f$
Distance par écho	d	m	$d = (v \times t) / 2$
Niveau sonore	L	dB	$L = 10 \log(I / I_0)$ avec $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$
Harmonique n	f_n	Hz	$f_n = n \times f_1$

EXEMPLES TYPES D'EXERCICES AVEC RÉOLUTION ÉTAPE PAR ÉTAPE

Exemple 1 : calcul de célérité

Énoncé : Un signal parcourt 50 m en 0,2 s. Quelle est sa célérité ?

Solution :

$$v = d / t = 50 / 0,2 = 250 \text{ m/s.}$$

Exemple 2 : déterminer une longueur d'onde

Énoncé : Un son de 440 Hz se propage à 340 m/s. Quelle est sa longueur d'onde ?

Solution :

$$\lambda = v / f = 340 / 440 \approx 0,773 \text{ m.}$$

Exemple 3 : trouver la fréquence fondamentale à partir du spectre

Énoncé : Un spectre présente des raies à 150 Hz, 300 Hz, 450 Hz. Quelle est la fréquence fondamentale ?

Solution :

Le pgcd de (150,300,450) est 150 Hz → fondamental = 150 Hz.

Exemple 4 : transmission et bande passante

Énoncé : Un signal carré de 1 kHz doit être transmis avec ses 5 premiers harmoniques. Quelle bande passante minimale ?

Solution :

Harmoniques : 1 kHz, 3 kHz, 5 kHz, 7 kHz, 9 kHz (car signal carré = impairs).

Le 5e harmonique = 9 kHz → bande passante jusqu'à 9 kHz minimum.