

Chapitre 10 : Ondes mécaniques

Objectifs et trame du chapitre

I. Ou'est- ce qu'une onde mécanique progressive périodique ?

Activité expérimentale n°10.1 : Définir une onde mécanique.

Capacités visées :

- Décrire, dans le cas d'une onde mécanique progressive, la propagation d'une perturbation mécanique d'un milieu dans l'espace et au cours du temps : houle, ondes sismiques, ondes sonores, etc.
- Expliquer à l'aide d'un modèle qualitatif la propagation d'une perturbation mécanique dans un milieu matériel.
- Produire une perturbation et visualiser sa propagation dans des situations variées, par exemple : onde sonore, onde le long d'une corde ou d'un ressort, onde à la surface de l'eau.
- Distinguer périodicité spatiale et périodicité temporelle.
- Justifier et exploiter la relation entre période, longueur d'onde et célérité.
- Déterminer les caractéristiques d'une onde mécanique périodique à partir des représentations spatiales ou temporelles.
- Déterminer la période, la longueur d'onde et la célérité d'une onde progressive sinusoïdale à l'aide d'une chaine de mesure.
- Utiliser les représentations graphiques des fonctions sinus et cosinus.

Exercices d'application à faire après l'activité : 3-4-5-6-13-14-15-16-17-18 p 294 à 296

II. La célérité d'une onde mécanique

Activité expérimentale n°10.2 : Mesure de la célérité du son avec un smartphone.

Capacités visées :

- Exploiter la relation entre la durée de propagation, la distance parcourue par une perturbation et la célérité, notamment pour localiser une source d'onde.
- Déterminer, par exemple à l'aide d'un microcontrôleur ou d'un smartphone, une distance ou la célérité d'une onde.
- Définir qualitativement une incertitude-type.
- Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A).
- Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B).
- Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
- Comparer qualitativement un résultat à une valeur de référence.

Activité documentaire n°10.3 : Épicentre d'un séisme

Capacités visées :

- Exploiter la relation entre la durée de propagation, la distance parcourue par une perturbation et la célérité, notamment pour localiser une source d'onde.
- Expliquer à l'aide d'un modèle qualitatif la propagation d'une perturbation mécanique dans un milieu matériel.

Exercices d'application à faire après l'activité : 7-8-9-10-11-12 p 294 à 296

Activité numérique AN 10.4 - cahier python : Érosion des lacs – p 72

Capacités visées :

Représenter un signal périodique et illustrer l'influence de ses caractéristiques (période, amplitude) sur sa représentation. Simuler à l'aide d'un langage de programmation, la propagation d'une onde périodique.

Bilan des activités :

Vidéo: double périodicité et grandeurs associées

https://youtu.be/O_LR_tIgfzA



I. Qu'est- ce qu'une onde mécanique progressive périodique ?

1) <u>Définition d'une onde mécanique progressive</u>

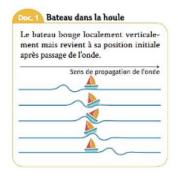
Quand on jette un caillou sur une surface parfaitement calme d'un lac, on crée une **perturbation**: plusieurs petites vagues circulaires se forment et se **propagent**. Au bout de quelques instants, le calme revient, la perturbation a cessée. Cette perturbation qui se propage dans un milieu matériel s'appelle une **onde mécanique**.



Un bateau peut être soulevé par une vague. Celle-ci transporte donc avec elle de l'énergie. Le bateau revient ensuite à sa position d'équilibre. La vague ne le transporte pas avec elle sur son trajet.

Quand une perturbation se propage, les molécules ou atomes du milieu se déplacent puis reviennent à leur position d'équilibre. Ce déplacement local met alors ne mouvement les particules voisines, qui poussent à leur tour les voisines. La perturbation se propage de proche en proche : l'onde est **progressive**.

L'onde mécanique ne s'accompagne donc pas d'un déplacement global de la matière, mais seulement d'un déplacement local et temporaire de particules.



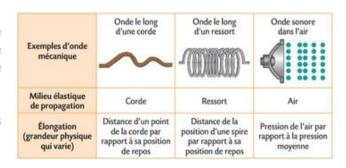
Une <u>onde mécanique progressive</u> est une perturbation qui se propage dans un milieu matériel, sans transport global de matière mais avec transport d'énergie.

<u>Remarque</u>: Les ondes mécaniques ont besoin d'un support matériel pour se propager (air, eau, métal, bois, ...), contrairement aux ondes électromagnétiques qui peuvent se propager dans le vide.

2) Exemples de grandeurs physiques qui varient.

Quand le caillou tombe dans l'eau, il provoque une perturbation de la surface de l'eau. Pour étudier cette perturbation, on mesure son élongation, c'est-à-dire l'écart par rapport à la hauteur de l'eau au repos.

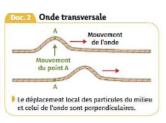
La hauteur de l'eau est la grandeur de l'eau qui varie lors du passage de la perturbation.



3) Ondes transversales et ondes longitudinales

Lors du passage de l'onde, les particules du milieu sont momentanément mises en mouvement.

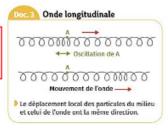
Une onde est <u>transversale</u> si la direction de la perturbation (du déplacement) est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde.



Exemple: propagation le long d'une corde.

Une onde est <u>longitudinale</u> si la direction de la perturbation est parallèle à la direction de propagation de l'onde.

<u>Exemples</u>: propagation le long d'un ressort, propagation d'une onde sonore dans un gaz.



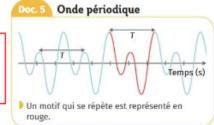
Une onde mécanique longitudinale se propage par compressions et dilatations successives du milieu.



4) <u>Définition d'une onde mécanique progressive périodique</u>

Quand le phénomène qui crée l'onde mécanique est périodique, chaque point du milieu de propagation subit une perturbation périodique. On peut donc dire que l'onde mécanique qui en résulte est périodique. Sa période est imposée par la source de la perturbation.

Une onde mécanique progressive est <u>périodique</u> quand la perturbation se répète, identique à elle-même sur un intervalle de temps régulier : la période T. Un motif se répète sur les courbes.



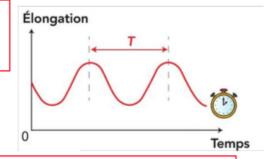
5) Période et fréquence

Si on prend **un point** à un « sommet » de l'onde périodique, celui-ci est soumis (comme les autres points) à une perturbation périodique : il descend puis remonte au cours du temps.

La <u>période</u> de l'onde (ou période temporelle) est la plus petite durée qui sépare deux perturbations identiques d'un même point. Elle se note T et se mesure en seconde.

C'est donc la durée nécessaire à un point du milieu pour retrouver la même position.

Elle se mesure avec la durée d'un motif sur une représentation temporelle de l'onde (avec le temps en abscisse).



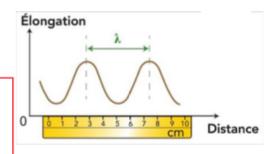
La <u>fréquence</u> de l'onde est le nombre de périodes par seconde. Elle se note f et se mesure en hertz.

$$\mathbf{f} = \frac{1}{T}$$
 | f en hertz (Hz)
T en seconde (s)

6) La longueur d'onde

Deux points espacés d'une certaine distance qui suivent le même mouvement oscillent de la même façon. On dit qu'ils sont en phase. Ils sont dans le même « état vibratoire ».

La <u>longueur d'onde</u> (ou période spatiale) est la plus petite distance séparant deux points du milieu en phase. Elle se note λ (« lambda » dans l'alphabet grec) et se mesure en mètre.



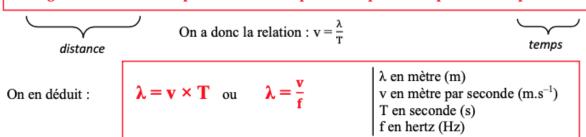
Elle se mesure avec la distance entre deux sommets de motifs par exemple sur une représentation spatiale de l'onde (avec la distance en abscisse).

<u>Remarque</u>: Si une onde progressive est temporellement périodique, elle est aussi spatialement périodique. Les ondes progressives périodiques présentent donc une **double périodicité**, à la fois spatiale et temporelle.

7) Relation entre période, longueur d'onde et célérité

On considère une onde mécanique progressive périodique qui se déplace avec la célérité v.

La longueur d'onde λ correspond à la distance parcourue par l'onde pendant une période T.



Exercices:

- 1) Une onde sonore a pour fréquence f = 980 Hz. Sa célérité est v = 340 m.s⁻¹. Calculer sa longueur d'onde. $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{980} = 0,347$ m.
 - 2) Une onde a pour longueur d'onde $\lambda = 3.0$ mm. Sa célérité est $v = 2.5 \times 10^{-6}$ m.s⁻¹. Calculer sa période puis sa fréquence.

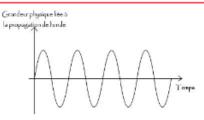
$$\lambda = 3.0 \times 10^{-3} \text{ m}$$
 Période $T = \frac{\lambda}{v} = \frac{3.0 \times 10^{-3}}{2.5 \times 10^{-6}} = 1\ 200 \text{ s}$ Fréquence $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1200} = 8.33 \times 10^{-4} \text{ Hz.}$

8) Ondes sinusoïdales

Une <u>onde sinusoïdale</u> est un cas particulier d'ondes périodiques pour lequel les variations de la perturbation se font en suivant la fonction mathématique sinus.

On peut identifier ce type de fonction à partir du graphique comportant une alternance de « vagues » positives et négatives de mêmes amplitudes.

<u>Remarque</u>: En pratique, peu d'ondes dans la nature ont une allure sinusoïdale. Toutefois, il est possible de montrer mathématiquement que n'importe quel signal périodique peut être considéré comme une somme de signaux sinusoïdaux.



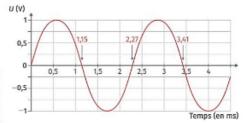
On peut alors analyser l'onde en étudiant chaque onde sinusoïdale qui la compose.

Exercice: Le diapason

Un diapason permet de générer un son quasiment sinusoïdal. L'enregistrement à l'aide d'un micro donne la courbe suivante.



• Céléi	rité du s	on dans	l'air: va	= 340	m·s ⁻¹ ;		
Note	Do3	Ré3	міз	Fa3	Sol3	La3	Si3
f(Hz)	262	294	330	349	392	440	494



1) Déterminer la période puis la fréquence du son émis par le diapason.

Un motif occupe une durée de 2,27 ms, donc la période vaut T=2,27 ms = 2,27 \times 10⁻³ s Fréquence : $f=\frac{1}{T}=\frac{1}{2.27\times10^{-3}}=441$ Hz.

- 2) A quelle note correspond sa hauteur?
- 3) Calculer sa longueur d'onde dans l'air.

Longueur d'onde : $\lambda = v \times T = 340 \times 2,27 \times 10^{-3} = 0,772 \text{ m}.$

II. La célérité d'une onde mécanique

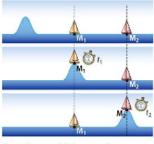
1) Le retard

Une onde progressive qui se propage atteint le point M_1 à un instant t_1 puis le point M_2 à un instant t_2 .

Le décalage temporel entre ces deux instants est appelé « retard » de l'onde.

Le <u>retard</u> d'une onde se propageant entre un point M_1 et un point M_2 est la durée séparant son passage entre ces deux points. Il se note τ (« tau » dans l'alphabet grec) et se mesure en seconde.

$$\tau = t_2 - t_1$$



Doc. 4 Le retard de la vague lors de sa propagation entre M_1 et M_2 est $\tau = t_2 - t_1$.

2) La célérité

Le terme « célérité » désigne la vitesse de propagation d'une onde progressive. Il permet d'insister le fait qu'il n'y a pas propagation globale de matière (Il ne s'agit pas de la vitesse de déplacement d'un objet). Elle est quand même notée « v ».

Une onde se propageant d'un point M_1 à un point M_2 avec un retard τ a une célérité qui se calcule par :

$$\mathbf{v} = \frac{\mathbf{M_1 M_2}}{\mathbf{\tau}} = \frac{\mathbf{d}}{\mathbf{\tau}}$$

M₁M₂ ou d en mètre (m) τ en seconde (s) v en mètre par seconde (m.s⁻¹)

La célérité d'une onde dépend du type d'onde et également du milieu de propagation. Plus le milieu est rigide (difficile à déformer), plus la célérité est grande.

Milieu	Air	Eau	Acier
Célérité du son (m.s ⁻¹)	340	1 500	5 600

Exercices:

- 1) Calculer la distance parcourue par une onde en 34 min par une onde si sa célérité est $v = 2.7 \text{ m.s}^{-1}$.
- 2) Une onde se déplace à la célérité v = 4,5 m.s⁻¹ dans un milieu. Calculer avec quel retard elle arrivera à un récepteur situé à 240 cm de sa source.

Distance :
$$240 \text{ cm} = 2,40 \text{ m}.$$

Retard:
$$\tau = \frac{d}{v} = \frac{2,40}{4,5} = 0,53 \text{ s.}$$

L'essentiel à retenir

Les ondes mécaniques progressives

Propagation

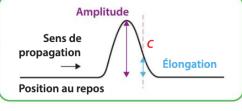
Onde mécanique

progressive

Propagation d'une perturbation dans un milieu matériel élastique.

Sans transport de matière.

Avec transport d'énergie.



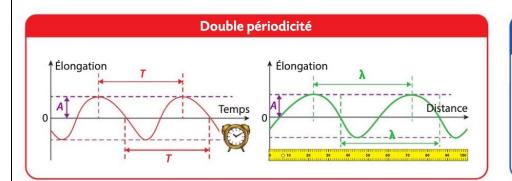
Célérité

 $v \text{ en m} \cdot \text{s}^{-1}$ $v = \frac{d}{\Delta t}$ $\Delta t \text{ en s}$

Interactions microscopiques

Manifestation macroscopique des interactions microscopiques entre constituants du milieu matériel lors d'une perturbation.

Les ondes mécaniques progressives périodiques



Période, longueur d'onde et célérité

$$v \text{ en m} \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow v = \frac{\lambda}{T} \stackrel{\text{den m}}{\longleftarrow} T \text{ en s}$$

La longueur d'onde λ est la distance parcourue par l'onde pendant la période T.

Cas de l'onde sinusoïdale caractérisée par son amplitude A, par sa période \emph{T} et sa longueur d'onde λ

