

1 Qu'est-ce qu'une onde mécanique progressive ?

A Une onde mécanique progressive

➤ Lorsque l'on jette un caillou sur la surface parfaitement calme et plane de l'eau d'un lac, on crée une perturbation : une ou plusieurs petites vagues circulaires se forment, dont le diamètre grandit. Cette perturbation se propage dans le milieu aquatique. Au bout de quelques instants le calme revient, la perturbation est passée.

Une perturbation qui se propage dans un milieu matériel s'appelle une onde mécanique. Cette perturbation peut modifier la position d'un objet lors de son passage : elle possède donc de l'énergie. Ensuite, l'objet déplacé retourne à sa place initiale : l'onde ne le transporte pas avec elle.

Exemple : un bateau est soulevé par la vague de la houle mais n'est pas emporté avec elle sur tout son trajet horizontal (**doc. 1**).

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

B Propagation de l'onde

➤ Lorsqu'un évènement perturbe un milieu, ce milieu subit localement une déformation : les molécules ou les atomes se déplacent. Ils vont et viennent autour de leur position initiale, avec un écart maximal appelé amplitude. Ce mouvement est appelé oscillation.

Ce déplacement local microscopique met alors en mouvement les particules voisines à leur tour poussées, qui poussent les suivantes avant de revenir à leur position initiale. La perturbation se propage de proche en proche.

On en conclut que les ondes mécaniques ont besoin d'un support pour se propager (l'air, l'eau, le métal, le bois, etc.).

Remarque : Les ondes électromagnétiques n'ont pas besoin de milieu de propagation. Dans le vide, la lumière se propage, mais pas le son.

C Ondes transversales et longitudinales

➤ Lors du passage de l'onde, les atomes ou les molécules du milieu sont momentanément mis en mouvement.

Si la perturbation se produit dans une direction perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde, on dit que **l'onde est transversale (doc. 2)**. Si la perturbation se produit dans la même direction que la propagation, **l'onde est dite longitudinale (doc. 3)**

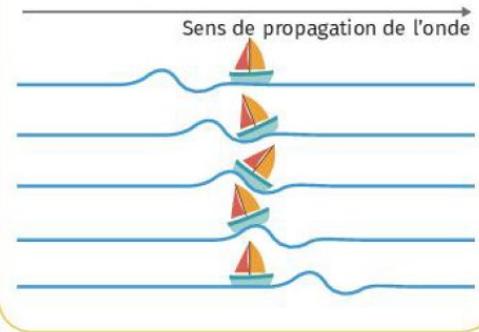
Numérique

Retrouvez plus d'informations sur des ondes mécaniques particulières : les ondes sonores en Enseignement scientifique.

LLS.fr/ES1P184

Doc. 1 Bateau dans la houle

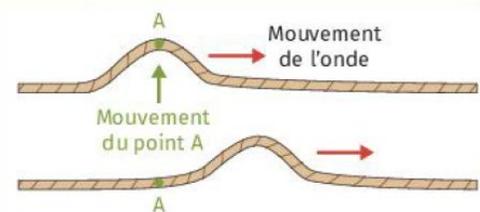
Le bateau bouge localement verticalement mais revient à sa position initiale après passage de l'onde.



Vocabulaire

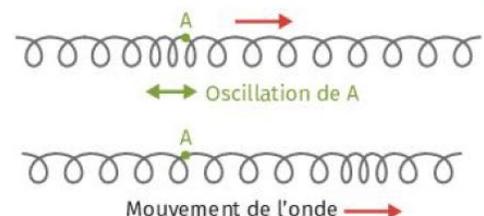
- **Perturbation** : bouleversement, modification d'un équilibre ou d'une situation invariable jusque-là.
- **Propagation** : fait de se déplacer, de s'étendre.
- **Amplitude** : écart entre la valeur maximale d'une grandeur et sa valeur moyenne « au repos ».
- **Élongation** : distance entre la position actuelle d'un point et sa position d'équilibre.

Doc. 2 Onde transversale



➤ Le déplacement local des particules du milieu et celui de l'onde sont perpendiculaires.

Doc. 3 Onde longitudinale



➤ Le déplacement local des particules du milieu et celui de l'onde ont la même direction.

2 Les grandeurs physiques associées à la propagation d'une onde mécanique

A Le retard

Une onde progressive qui se propage atteint un point A à un instant t_A , puis un point B à un instant t_B .

Le décalage temporel entre ces instants est appelé retard et noté τ (tau). Il s'exprime en seconde dans le système international.

Le retard est la durée nécessaire à l'onde progressive pour parcourir la distance d entre 2 points A et B du milieu de propagation (doc. 4).

$$\tau = t_B - t_A$$

Le retard peut être mesuré pour n'importe quelle valeur de la perturbation véhiculée par l'onde.

B La célérité

Une perturbation se déplace à une certaine vitesse. Puisque la perturbation ne correspond pas au déplacement d'un corps matériel mais plutôt au déplacement d'une énergie dans le milieu de propagation, on préfère utiliser le terme célérité plutôt que celui de vitesse.

La célérité est la vitesse de propagation d'une onde progressive.

Soit deux points A et B séparés d'une distance d_{AB} avec τ le retard de l'onde entre A et B. La célérité de l'onde est alors :

$$v = \frac{d_{AB}}{\tau}$$

Dans le système international, l'unité est le $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Elle dépend du type d'onde et du milieu.

Onde	Son	Son	Sismique	Vague
Milieu de propagation	Air	Eau	Terre/roche	Eau
$v (\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	340	1 500	1500 à 5000	0,1 à 10 voire plus

Les principaux facteurs jouant sur la célérité d'une onde mécanique sont la température, la masse volumique et l'élasticité du milieu de propagation.

Application

On lance une pierre dans un lac et elle tombe dans l'eau à une distance $L = 9,3 \text{ m}$ de la rive.

Calculer le retard de l'onde créée à la surface de l'eau, quand elle arrive sur le rivage, si sa célérité est $v = 5,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Corrigé : Il faut convertir la célérité en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. $v = \frac{5,0}{3,6} = 1,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

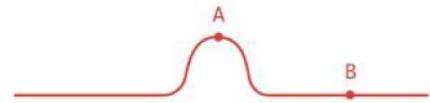
Le retard s'écrit ici $\tau = \frac{L}{v} = \frac{9,3}{1,4} = 6,6 \text{ s}$.

Il signifie qu'entre le moment où l'onde est créée (lorsque la pierre touche la surface de l'eau) et le moment où elle atteint le rebord, il s'est écoulé 6,6 s.

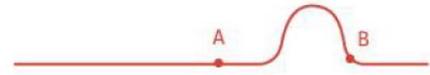
Doc. 4 Le retard τ d'une onde



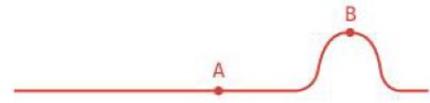
Allure de la corde à l'instant t_A



Allure de la corde à l'instant t'_A



Allure de la corde à l'instant t_B



Allure de la corde à l'instant t'_B

Le retard est constant :

$$\tau = t_B - t_A = t'_B - t'_A$$

Vocabulaire

• **Célérité** : vitesse de propagation de la perturbation, pour un phénomène ondulatoire.

Éviter

les erreurs



- Une onde peut-elle ne pas être progressive ? Oui, certaines ondes sont qualifiées de stationnaires. Elles résultent de la superposition de plusieurs ondes de même fréquence.
- Attention aux unités dans les calculs (vitesses en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, distances en m, durées en s).

Numérique

Pour visualiser une onde stationnaire, rendez-vous sur LLS.fr/PC1P326.

3 Les ondes mécaniques périodiques

A Des ondes mécaniques particulières

➤ Lorsque le phénomène qui crée l'onde est périodique (vibration des ailes d'un moustique, gouttes qui tombent d'un robinet sur la surface de l'eau dans l'évier, etc.), les différentes ondes successives n'en forment plus qu'une appelée onde périodique.

Une onde périodique apparaît quand la perturbation se répète, identique à elle-même, sur un intervalle de temps régulier appelé période. Visuellement, un motif se répète (voir **doc. 5**).

Une onde périodique de période T (exprimée en s) est aussi caractérisée par sa fréquence f (en Hertz, de symbole Hz) :

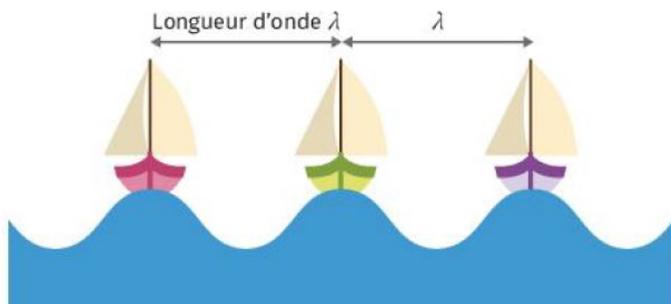
$$f = \frac{1}{T}.$$

B La double périodicité

- Une onde périodique présente une double périodicité :
- un point, à un instant sur un « sommet » de l'onde périodique, est soumis régulièrement à la même perturbation : il descend, puis remonte en suivant la forme de l'onde. La durée nécessaire pour retrouver la même position est la **période temporelle** (notée T et exprimée en secondes) (**doc. 6**) ;
 - deux points espacés qui suivent le même mouvement oscillent de la même façon, avec la même amplitude, en raison de la régularité de l'onde. La distance qui sépare ces points est appelée longueur d'onde ou **période spatiale**. On la note λ (lambda) et elle s'exprime en mètre.

La longueur d'onde λ est la distance parcourue par l'onde ayant une célérité v pendant une période T : $\lambda = v \cdot T$.

➤ Si le phénomène physique qui crée l'onde varie de manière sinusoïdale, l'onde a alors une forme de « sinusoïde » (**doc. 7**).

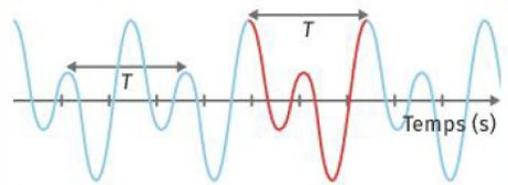


➤ Les trois bateaux oscillent simultanément de façon identique. Le bateau rouge et le vert sont séparés d'une longueur d'onde.

BON À SAVOIR : POURQUOI LES ONDES SINUSOÏDALES ?

En pratique, peu d'ondes ont une allure sinusoïdale. On peut facilement obtenir des ondes sonores sinusoïdales, mais dans d'autres domaines elles sont relativement rares. Toutefois il est possible de montrer mathématiquement que n'importe quel signal périodique peut être considéré comme une somme de signaux sinusoïdaux (par une décomposition en série de Fourier ou transformation de Fourier). On peut alors analyser une onde périodique en étudiant chaque onde sinusoïdale qui la compose (voir exercice 35 p. 337).

Doc. 5 Onde périodique

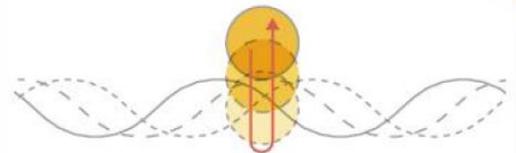


➤ Un motif qui se répète est représenté en rouge.

Vocabulaire

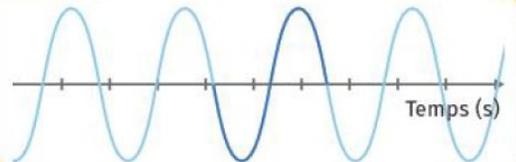
- **Période** : durée au bout de laquelle le phénomène périodique se reproduit de manière identique. Notée T , en s.
- **Fréquence** : nombre de périodes dans une seconde. Notée f , en Hz : $1\text{Hz} = \frac{1}{\text{s}} = 1\text{s}^{-1}$.
- **Longueur d'onde** : plus petite distance entre deux points du milieu qui oscillent simultanément de manière identique.

Doc. 6 Ballon en mouvement



➤ Le ballon suit la forme de la vague (sinusoïdale ici) et revient à sa position initiale régulièrement.

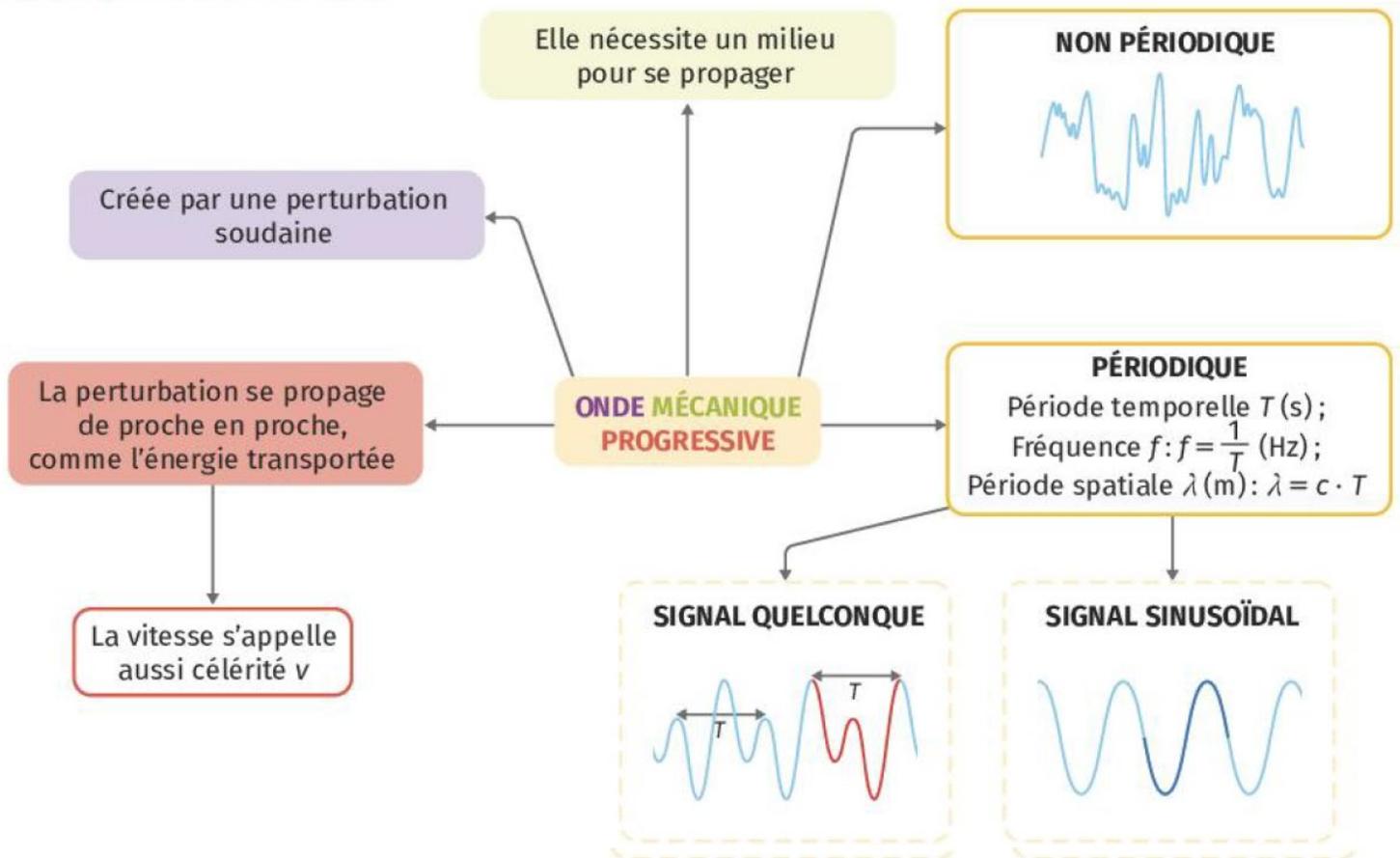
Doc. 7 Onde sinusoïdale



Éviter les erreurs

- Il existe une période spatiale et une période temporelle. Si l'énoncé ne précise pas de laquelle il s'agit, par défaut le mot période désigne la période temporelle.
- Sur un graphique sauf exception, la période temporelle ou la période spatiale se mesurent à partir de l'axe des abscisses.

Principales notions

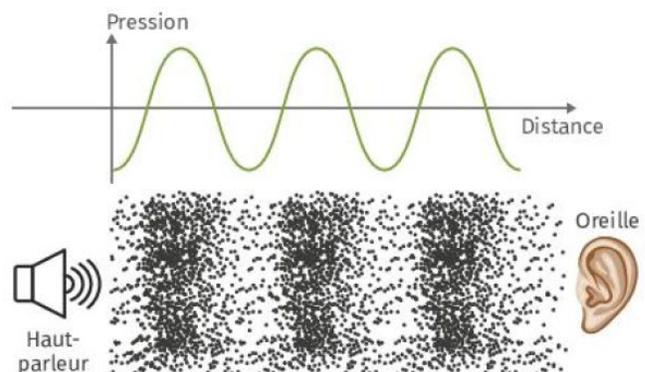


Retard d'une onde	Célérité	Célérité d'une onde périodique
$\tau = \frac{d}{v}$	$v = \frac{d}{\Delta t}$	$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$

Modélisation d'une onde progressive sinusoïdale

Une onde progressive est sinusoïdale si les variations de sa perturbation dans le temps se font en suivant une fonction mathématique de type sinus ou cosinus. L'onde est définie par son amplitude A , sa période et sa valeur à un instant donné ($t = 0$, par exemple).

L'onde sonore ci-contre est une **onde de pression** : si cette onde est sinusoïdale, c'est que la grandeur physique pression évolue de manière sinusoïdale au cours du temps.



Modélisation d'une onde sonore sinusoïdale.

Les limites de la modélisation

L'élasticité du milieu n'est jamais totale, l'énergie n'est pas intégralement restituée à l'onde. Celle-ci est donc progressivement amortie et son amplitude finit par atteindre la valeur nulle.

Cet amortissement n'a pas été étudié ici. Par ailleurs des ondes peuvent se superposer entraînant alors des phénomènes d'interférences qui seront traités en terminale.