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

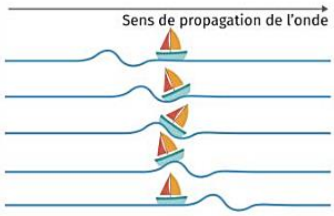
1) Définition

- Une **onde mécanique** est une perturbation qui se propage dans un milieu matériel (contrairement aux ondes électromagnétiques qui peuvent se propager dans le vide).

Exemples : le son, onde le long d'une corde, onde le long d'un ressort, ondes sismiques, vagues à la surface de l'eau, …

Doc. 1 Bateau dans la houle

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



- Une onde mécanique est **progressive** car la perturbation se propage de proche en proche plus ou moins rapidement.
  L'onde ne s'accompagne pas d'un déplacement global de la matière, mais seulement d'un déplacement local et temporaire de particules.

- Une onde mécanique transporte avec elle de l'**énergie**.

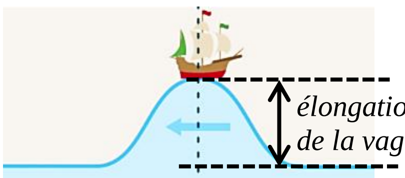
Exemple : bateau soulevé par une vague, dégâts causés par un séisme ou par un tsunami, …

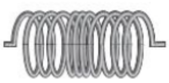
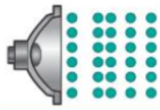
Une onde mécanique progressive est une perturbation qui se propage dans un milieu matériel, sans transport global de matière mais avec transport d'énergie.

2) Exemples de grandeurs physiques qui varient

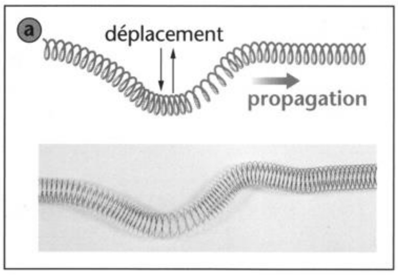
Pour étudier la propagation d'une onde mécanique, on mesure une grandeur physique qui varie, appelée **élongation**.

Exemple : pour la propagation d'une vague à la surface de l'eau, on mesure la hauteur de la vague par rapport à la surface de l'eau au repos.



Exemples d'onde mécanique	Onde le long d'une corde 	Onde le long d'un ressort 	Onde sonore dans l'air 
Milieu élastique de propagation	Corde	Ressort	Air
Élongation (grandeur physique qui varie)	Distance d'un point de la corde par rapport à sa position de repos	Distance de la position d'une spire par rapport à sa position de repos	Pression de l'air par rapport à la pression moyenne

3) Ondes transversales et longitudinales

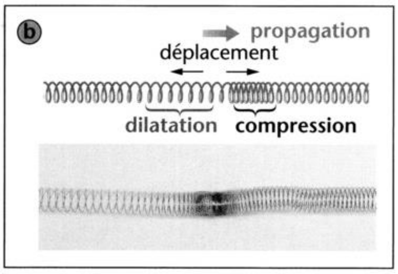


Lors du passage de l'onde, les particules du milieu sont momentanément mises en mouvement.

Une onde est transversale si le déplacement du milieu est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde.

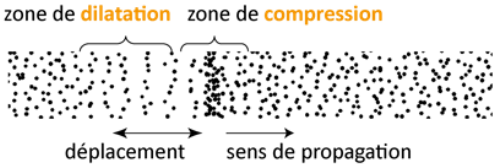
Exemple : propagation le long d'un ressort ou d'une corde.

Une onde est <u>longitudinale</u> si le déplacement du milieu est parallèle à la direction de propagation de l'onde.



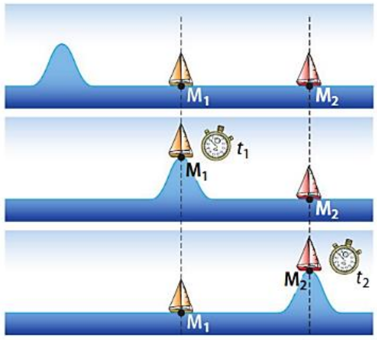
Exemples : propagation le long d'un ressort, propagation d'une onde sonore dans un gaz.

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



II La célérité d'une onde mécanique

1) Le retard



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

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.

$$\tau = t_2 - t_1$$

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 :

$$v = \frac{M_1M_2}{\tau} = \frac{d}{\tau}$$

M_1M_2 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) Deux bouées, distantes de 5,0 km, détectent une vague avec un retard de 36 s. Calculer la célérité de la vague.

$v = \frac{d}{\tau} = \frac{5\,000}{36} = \underline{139\ m.s^{-1}}$ (= 500 $km.h^{-1}$!!)

2) Calculer la distance parcourue par une onde en 34 min si sa célérité est $v = 2{,}7\ m.s^{-1}$.

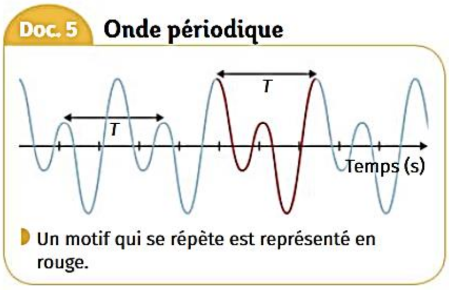
Retard : $\tau = 34 \times 60 = 2\,040$ s. Distance parcourue : $d = v \times \tau = 2{,}7 \times 2\,040 = \underline{5\,508\ m}$

3) 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 cm = 2,40 m. Retard : $\tau = \frac{d}{v} = \frac{2{,}40}{4{,}5} = \underline{0{,}53\ s}$

III Les ondes mécaniques progressives périodiques

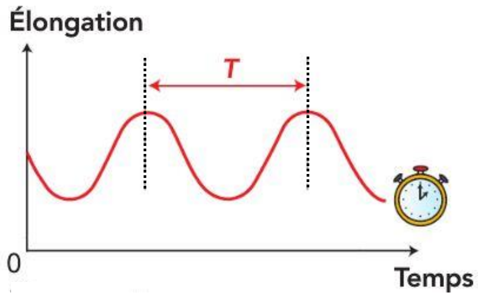
Quand le phénomène qui crée l'onde mécanique est périodique, chaque point du milieu de propagation subit une perturbation périodique. On peut donc dire que **l'onde mécanique qui en résulte est périodique**.



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

1) La période et la 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 (pour une onde transversale). La **période** est la durée nécessaire à ce point pour se retrouver au nouveau au sommet.



La <u>période</u> de l'onde (ou période temporelle) est la plus petite durée nécessaire à un point du milieu pour retrouver la même position. Elle se note T et se mesure en seconde.

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

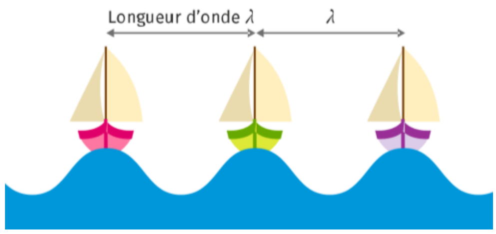
La <u>fréquence</u> de l'onde est le nombre de périodes par seconde. Elle se note f et se mesure en hertz.

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

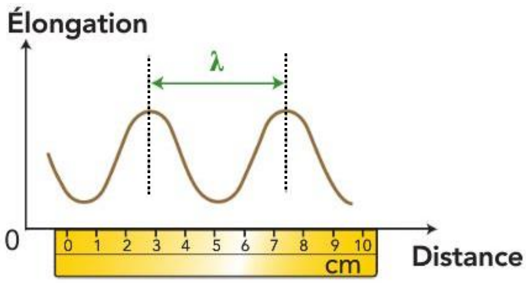
f en hertz (Hz)
T en seconde (s)

2) 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.



<u>Exemple</u> : Les trois bateaux oscillent simultanément de façon identique. Deux bateaux voisins sont séparés d'une longueur d'onde.

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).

Si une onde progressive est temporellement périodique, elle est aussi spatialement périodique.
<u>Exemple</u> : vagues à la surface de l'eau :

- Un point sur l'eau monte et descend à intervalle de temps régulier : on a donc une **périodicité temporelle**.
- La surface de l'eau, à un instant donné, présente des hauts et des creux à intervalles de distance réguliers : on a donc aussi une **périodicité spatiale**.

Les ondes progressives périodiques présentent donc une <u>double périodicité</u>, à la fois spatiale et temporelle.

3) 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.

distance On a donc la relation : $v = \frac{\lambda}{T}$ *temps*

On en déduit : $\lambda = v \times T$ ou $\lambda = \frac{v}{f}$

λ en mètre (m)
v en mètre par seconde ($m.s^{-1}$)
T en seconde (s)
f en hertz (Hz)

<u>Exercices</u> :

1) Une onde sonore a pour fréquence f = 980 Hz. Sa célérité est v = 340 $m.s^{-1}$. Calculer sa longueur d'onde.

$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{980} = \underline{0{,}347\ m}$

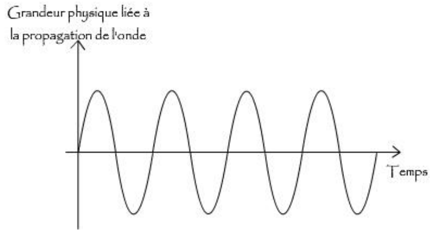
2) Une onde a pour longueur d'onde λ = 3,0 mm. Sa célérité est v = 2,5 × 10^{-6} $m.s^{-1}$. Calculer sa période puis sa fréquence.

$\lambda = 3{,}0 \times 10^{-3}$ m **Période** $T = \frac{\lambda}{v} = \frac{3{,}0 \times 10^{-3}}{2{,}5 \times 10^{-6}} = 1\,200$ s **Fréquence** $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1200} = \underline{8{,}33 \times 10^{-4}\ Hz}$

4) 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.



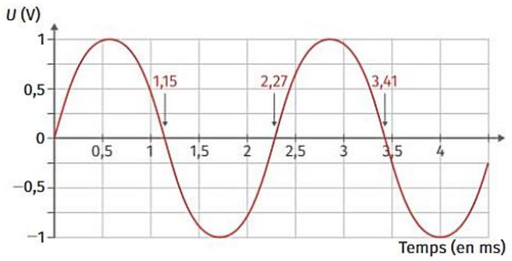
<u>Remarque</u> : En pratique, peu d'ondes dans la nature ont une allure sinusoïdale. Toutefois, il est possible de montrer mathématiquement que n'importe quel signal périodique peut être considéré comme une somme de signaux sinusoïdaux.
On peut alors analyser l'onde en étudiant chaque onde sinusoïdale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

<u>Exercice</u> : Le diapason
Un diapason permet de générer un son quasiment sinusoïdal. L'enregistrement à l'aide d'un micro donne la courbe suivante.

Données

• **Célérité du son dans l'air :** $v_{air} = 340\ m \cdot s^{-1}$;

Note	Do3	Ré3	Mi3	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 × 10^{-3} s

Fréquence : $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2{,}27 \times 10^{-3}} = \underline{441\ Hz}$

2) A quelle note correspond sa hauteur ? **Sa hauteur correspond à la note « La3 ».**
3) Calculer sa longueur d'onde dans l'air.

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