

Professeur	Bahloul Khalid (+212) 622-17-65-52
Chapitre	Onde mécanique progressive (l'essentiel du cours + applications)
Niveaux	Bac français / 1 ^{ère} et 2 ^{ème} Bac International SM

1- L'onde mécanique progressive

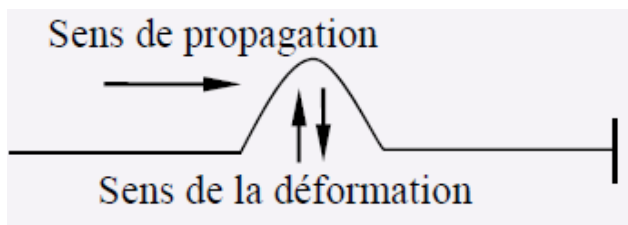
Une onde mécanique est la propagation d'une perturbation dans un milieu matériel élastique, sans transport de la matière.

L'onde mécanique produit une modification temporaire des propriétés mécaniques du milieu.

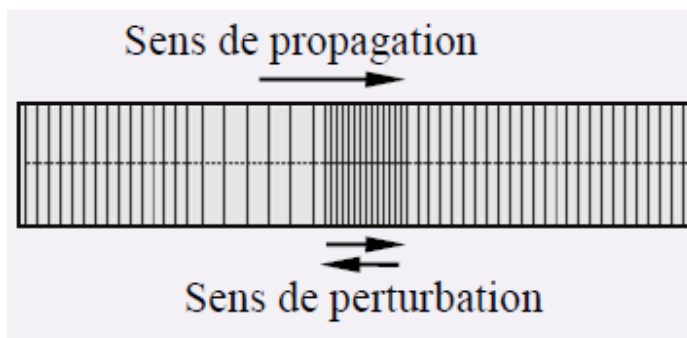
L'onde mécanique progressive est une succession entretenue des signaux mécaniques qui se propagent dans un milieu supposé infini.

2- Onde longitudinale et transversale

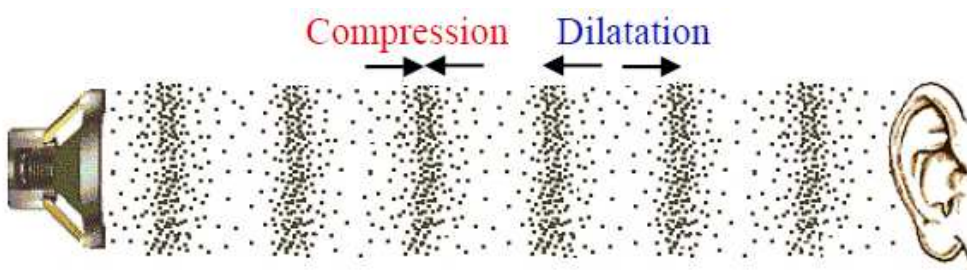
Une onde est transversale lorsque la direction de la déformation (ou perturbation) et la direction de la propagation de l'onde sont perpendiculaires.



Une onde est longitudinale lorsque la direction de la déformation (ou perturbation) et la direction de la propagation de l'onde sont parallèles.



L'onde sonore est longitudinaleLe son est une onde mécanique (il ne se propage pas dans le vide), sa propagation **nécessite la présence d'un milieu matériel** élastique (les gaz, les liquides et les corps solides)



Les ondes sonores sont des ondes longitudinales caractérisées par des **fluctuations de densité et de pression**.

L'onde sonore se propage grâce à une **compression immédiatement suivie d'une dilatation des couches du milieu de propagation** (par exemple les couches de l'air).

3- Propriétés générales des ondes

Une onde se propage, à partir de sa source, dans toutes les directions qui lui sont offertes. Nous distinguons ainsi les ondes à une, deux ou trois dimensions:

a- Onde à une dimension: La propagation a lieu dans une seule direction (mais éventuellement dans les deux sens). C'est le cas, par exemple, de l'onde se propageant le long d'une corde.

b- Onde à deux dimensions: La propagation a lieu dans un plan (milieu bidimensionnel). C'est le cas de l'onde engendrée à la surface de l'eau lorsqu'on y jette une pierre.

c- Onde à trois dimensions: La propagation a lieu dans l'espace à trois dimensions. C'est le cas d'une onde sonore.

La propagation d'une onde mécanique progressive dans un milieu quelconque est accompagnée par le transfert de l'énergie sans transport de la matière.

4- Célérités des ondes

La Célérité d'une onde dans un milieu est la vitesse de déplacement de la perturbation. Elle est donnée par la relation suivante

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

- v est la célérité de l'onde ($m.s^{-1}$).
- d est la distance parcourue (m).
- Δt est la durée du parcours (s).

Pour un milieu homogène, la célérité d'une onde est constante et indépendante de la forme de la perturbation. Tandis qu'elle dépend de la nature du milieu : son élasticité, son inertie et de sa température.

a- Influence de l'élasticité du milieu:

La célérité d'une onde augmente avec l'élasticité du milieu de propagation.

Exemple: La célérité d'une onde le long d'une corde augmente avec l'augmentation de sa tension.

b- Influence de l'inertie du milieu:

L'inertie d'un milieu représente la résistance que ce milieu oppose lorsqu'on cherche à le mettre en mouvement.

Par exemple, l'inertie d'une corde est représentée par sa masse linéique (masse par unité de longueur).

- La célérité d'une onde dans un milieu dépend de son inertie.

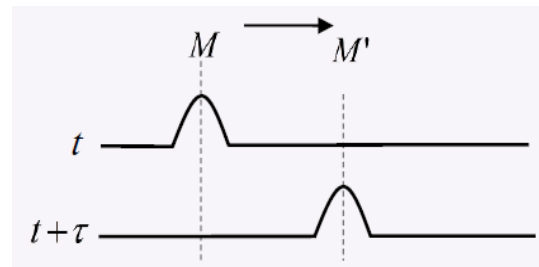
Plus l'inertie du milieu est grande et plus la célérité de l'onde se propageant dans ce milieu est faible.

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad F \text{ est la tension de la corde et } \mu = \frac{m}{l} \text{ sa masse linéique.}$$

5- Notion de retard

Au cours de la propagation d'une onde mécanique non amortie, tous les points du milieu de propagation subissent la même perturbation que la source S mais avec un

retard τ_M tel que: $\tau_M = \frac{SM}{v}$



$$y_M(t) = y_S(t - \tau)$$

L'allongement du point M présente un retard sur celui de la source

Exercice d'application 1:

Une onde mécanique est engendrée à la date $t = 0\text{ s}$, à l'extrémité d'une corde, elle se propage à une célérité $v = 5\text{ m.s}^{-1}$.

Nous considérons les points M , N et P de la corde telles que: $SM = 10\text{ m}$; $SN = 12\text{ m}$; $SP = 15\text{ m}$.

Sachant que la durée de perturbation est $\Delta t = 0,2\text{ s}$, décrire l'état de ces points à l'instant $t = 2,5\text{ s}$.

Solution:

- Le retard du point M par rapport à la source S est: $\tau_M = \frac{SM}{v} = 2\text{ s}$

L'onde arrive au point M à l'instant $t_M = 2\text{ s}$ et en considérant la durée de perturbation, elle aura dépassé ce point à l'instant $t'_M = \tau_M + \Delta t = 2,2\text{ s}$ donc à l'instant $t = 2,5\text{ s}$ le point M est au repos.

- Le retard du point N par rapport à la source S est: $\tau_N = \frac{SN}{v} = 2,4\text{ s}$

Et en considérant la durée de perturbation l'onde arrive au point N à l'instant $t_N = 2,4\text{ s}$ pour qu'elle le dépasse à l'instant $t'_N = 2,6\text{ s}$ donc à l'instant $t = 2,5\text{ s}$ le point N est en vibration.

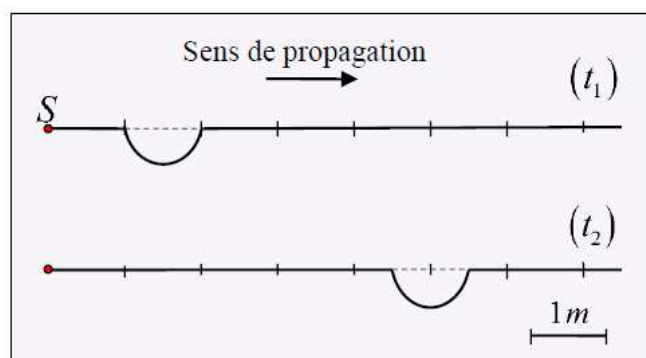
- Le retard du point P par rapport à la source S est : $\tau_P = \frac{SP}{v} = 3\text{ s}$

Donc à l'instant $t = 2,5\text{ s}$ le point P est encore immobile.

Exercice d'application 2:

La figure ci-dessous représente l'aspect d'une corde tendue à deux instants différents $t_1 = 3\text{ s}$ et $t_2 = 6,5\text{ s}$.

- Calculer la célérité de l'onde le long de la corde.
- Déduire la durée de déformation.
- à quel instant la perturbation a-t-elle commencé sa course à partir de la source?
- Représenter l'aspect de la corde à l'instant $t_3 = 8,5\text{ s}$.



Solution:

1- La célérité de l'onde est: $v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{d}{t_2 - t_1}$ A.N: $v = 1 \text{ m.s}^{-1}$

2- La durée de déformation θ : à partir de la figure, nous déterminons la longueur de déformation $l = 1 \text{ m}$, et en considérant la relation $\theta = \frac{l}{v}$ nous trouvons:

$$\theta = 1 \text{ s}$$

3- Déterminons t_0 : à l'instant t_1 la perturbation (l'ébranlement) a parcouru la

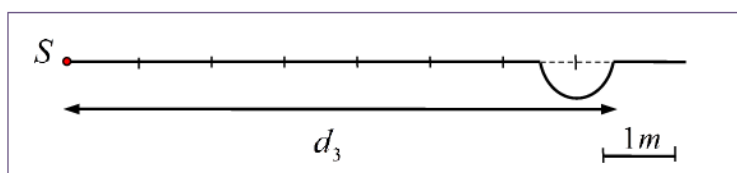
distance $d_1 = 2 \text{ m}$ et nous écrivons: $v = \frac{d_1}{t_1 - t_0}$. d'où: $t_0 = t_1 - \frac{d_1}{v}$ A.N: $t_0 = 1 \text{ s}$

4- L'aspect de la corde: à l'instant t_3 : l'onde parcourt la distance d_3 .

Et comme: $v = \frac{d_3}{t_3 - t_0}$ on trouve: $d_3 = v.(t_3 - t_0)$

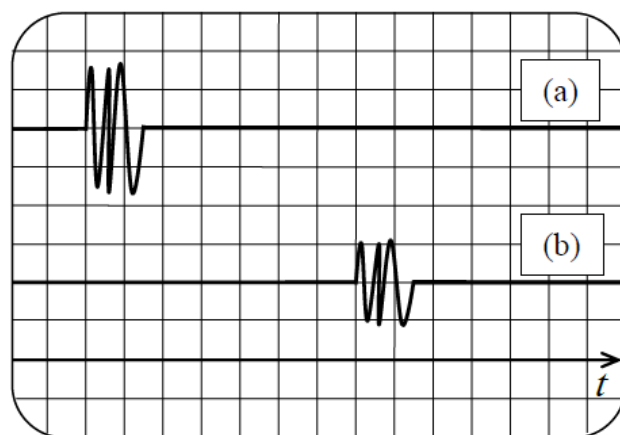
A.N: $d_3 = 7,5 \text{ m}$

D'où l'aspect de la corde est donné ci-contre:



Exercice d'application 3: Ondes ultrasonores

Devant un émetteur d'ondes ultrasonores, nous plaçons deux récepteurs R_1 et R_2 séparés par une distance $d = 23,8 \text{ cm}$. Le récepteur R_1 est le plus proche de la source. Les deux récepteurs R_1 et R_2 sont liés respectivement aux entrées Y_1 et Y_2 d'un oscilloscope. La figure ci-contre représente l'enregistrement obtenu, la sensibilité horizontale choisie vaut $100 \mu\text{s} / \text{div}$



- 1- Assigner chaque courbe à l'entrée qui lui correspond.
- 2- Déterminer la durée de la perturbation.
- 3- Calculer v_1 la célérité de l'onde ultrasonore dans l'air.
- 4- En médecine, les ondes ultrasonores sont utilisées pour faire des échographies. Nous donnons la célérité v_2 de l'onde ultrasonore dans le corps humain: $v_2 = 1500 \text{ m.s}^{-1}$.
 - 4-1- Comparer v_1 et v_2 . Interpréter.
 - 4-2- Au cours de l'échographie du cœur d'un patient, nous mesurons la durée Δt_2 entre l'émission et la réception de l'onde ultrasonore, nous trouvons: $\Delta t_2 = 20 \mu\text{s}$
Calculer la distance l entre le capteur (source) et le cœur du patient.

Solution:

- 1- La courbe (a) correspond à l'entrée Y_1 et la courbe (b) correspond à l'entrée Y_2 .
- 2- Graphiquement, la durée de la perturbation est:
 $\theta = 1,5 \times 100.10^{-6} \text{ s} = 1,5.10^{-4} \text{ s}$
- 3- La célérité de l'onde est: $v_1 = \frac{d}{t_2 - t_1}$

Graphiquement, nous trouvons: $t_2 - t_1 = 7.10^{-4} \text{ s}$, d'où: $v_1 = 340 \text{ m.s}^{-1}$

4-

4-1 $v_2 > v_1$ car le corps humain est plus dense que l'air.

4-2 La distance l : nous avons $v_2 = \frac{2l}{\Delta t_2}$ d'où: $l = \frac{v_2 \times \Delta t_2}{2}$

A.N: $l = 0,015 \text{ m} = 1,5 \text{ cm}$