

Ondes mécaniques progressives

Animations	Corde	Corde	Corde	Son
	Son	Eau	Son	Sonar

I / Propagation d'un ébranlement :

1) Définitions.

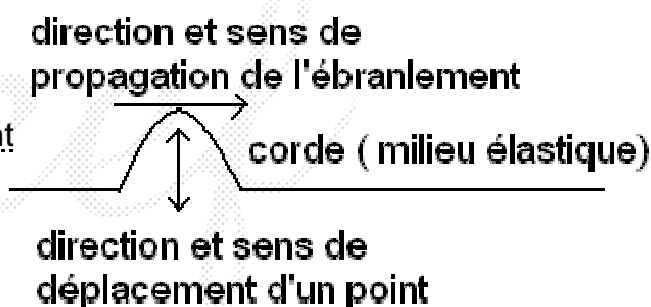
- Ebranlement : Déformation
- Milieu élastique : milieu qui reprend sa forme initiale après avoir subi une déformation
-

2) Ebranlement longitudinal et ébranlement transversal

◆ a/ Ebranlement transversal.

Un ébranlement est dit transversal lorsque le déplacement des points du milieu de propagation s'effectue perpendiculairement à la direction de propagation.

Dans l'exemple schématisé ci-contre, la déformation provoquée sur la corde se propage de proche en proche dans la direction horizontale alors que les points de la corde se déplacent verticalement (d'abord de bas en haut puis de haut en bas).

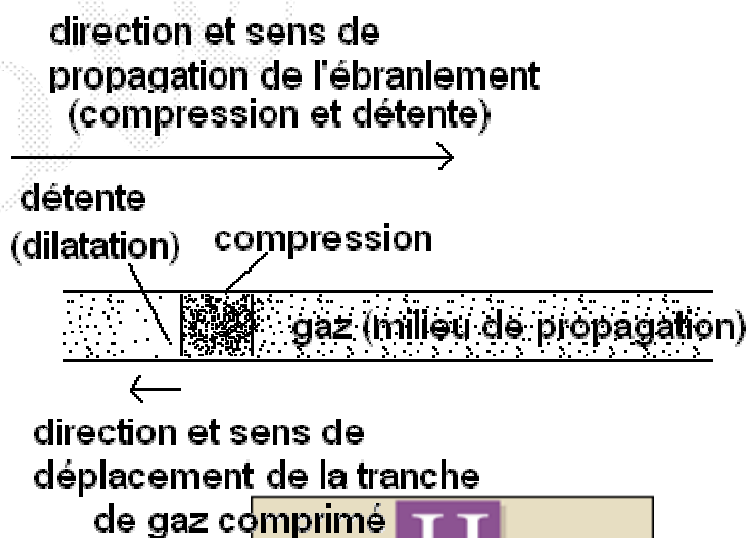


◆ b/ Ebranlement longitudinal.

Un ébranlement est dit longitudinal lorsque le déplacement des points du milieu de propagation s'effectue dans la même direction que celle de la propagation.

Exemple 1

Dans l'exemple schématisé ci-contre, la perturbation (succession de compression et de détente) engendrée dans une colonne de gaz se propage de proche en proche horizontalement (vers la droite) alors que les molécules du gaz effectuent un va-et-vient horizontalement.



(de gauche à droite puis de droite à gauche sous l'effet de la compression puis de la détente).

Exemple 2 :

On comprime un certain nombre de spires d'un ressort puis on abandonne le système à lui même on remarque que la compression se propage de proche en proche

compression



compression



3) Célérité de l'ébranlement

On appelle célérité V d'un ébranlement la vitesse de propagation de l'ébranlement. C'est le rapport entre la distance d parcourue par l'ébranlement et la durée Δt du parcours.

$$V = \frac{d}{\Delta t} \quad \text{avec } d(\text{m}) \Delta t (\text{s}) \text{ et } V(\text{m.s}^{-1})$$

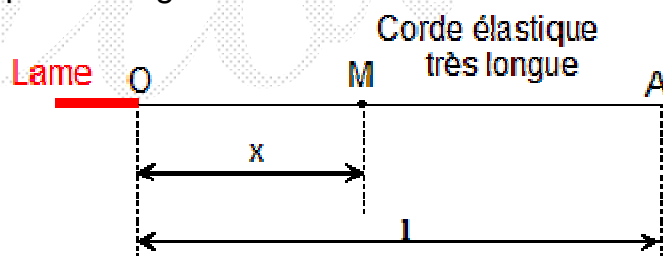
remarque : On préfère le mot célérité au mot vitesse auquel est associé la notion de déplacement de matière (vitesse d'une automobile, d'une particule etc...)

La célérité d'un ébranlement est une propriété du milieu de propagation et ne dépend pas de la façon dont la source a engendré l'ébranlement. Elle est donc constante dans un milieu donné dans des conditions données.

II / Propagation d'une onde sinusoïdale entretenue le long d'une corde élastique :

* L' **onde** est le phénomène résultant de la propagation d'une succession d'ébranlements identiques émis régulièrement par un système appelé **source** .

* Soit une corde élastique de longueur $OA = \ell$.



Posons $y_o(t) = a \cdot \sin(\frac{2\pi}{T}t + \phi_o)$, pour $t \geq 0$.

* D'après le principe de propagation , on a :

$$y_M(t) = y_o(t - \theta) , \text{ pour } t \geq \theta \text{ avec } \theta = \frac{x}{v} .$$



$$\Rightarrow y_M(t,x) = a \cdot \sin\left[\frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v}\right) + \varphi_0\right] \Rightarrow y_M(t,x) = a \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi_0\right)$$

1) Sinusoïde des temps d'un point M_1 d'abscisse x_1 :

Soit un point M_1 de la corde tel que $OM_1 = x_1$. L'équation horaire (appelée aussi sinusoïde des temps) s'écrit alors :

$$\begin{cases} y_{M_1}(t) = a \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi x_1}{\lambda} + \varphi_0\right) & \text{pour } t \geq \theta_1. \\ y_{M_1}(t) = 0 & \text{pour } 0 \leq t \leq \theta_1. \end{cases}$$

C'est une fonction sinusoïdale de période **T** dite **période temporelle** (temps mis par tout point de la corde pour effectuer une oscillation).

2) Sinusoïde des espaces : aspect de la corde à un e date t_1 :

On fixe le temps $t = t_1$ et on étudie les variations de y en fonction de la variable x (sinusoïde des espaces).

$$y_M(t,x) = a \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi_0\right)$$

$$y_{t_1}(x) = a \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T} t_1 - \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi_0\right)$$

$$y_{t_1}(x) = a \cdot \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda} - \frac{2\pi}{T} t_1 - \varphi_0 + \pi\right) \quad \text{pour } 0 \leq x \leq x_1.$$

$$y_{t_1}(x) = 0 \quad \text{pour } x_1 \leq x \leq l.$$

C'est une fonction sinusoïdale de période λ dite **période spatiale** appelée **longueur d'onde**

(λ : distance parcourue par l'onde au cours d'une période temporelle **T**)

3) Déphasage par rapport à la source :

Soit $\Delta\varphi$ le déphasage du point **M** par rapport à la source **O**.

$$\Delta\varphi = -\frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi_0 - \varphi_0 = -\frac{2\pi x}{\lambda}$$

a) Points de la corde vibrant en phase avec la source : M vibre en phase avec la source $\Rightarrow -\frac{2\pi x}{\lambda} = 2k\pi$

$$\Rightarrow x = x = k\lambda, \quad k \in \mathbb{IN} \quad \text{et } 0 < x < l$$

b) Points de la corde vibrant en opposition de phase avec la source :

M vibre en opposition de phase avec la source $\Rightarrow -\frac{2\pi x}{\lambda} = (2k + 1)\pi$

$$\Rightarrow x = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad k \in \mathbb{IN}^* \quad \text{et } 0 < x < l$$



c) Points de la corde vibrant en quadrature avance de phase par rapport à la source :

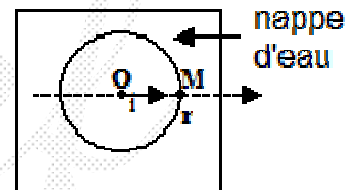
M vibre en quadrature avance de phase par rapport à la source \Rightarrow
 $-\frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{\pi}{2} + 2k\pi \Rightarrow x = (4k - 1)\frac{\lambda}{4}, k \in \mathbb{N}^*$ et $0 < x < \ell$

d) Points de la corde vibrant en quadrature retard de phase par rapport à la source :

M vibre en quadrature retard de phase par rapport à la source \Rightarrow
 $-\frac{2\pi x}{\lambda} = -\frac{\pi}{2} + 2k\pi \Rightarrow x = (4k + 1)\frac{\lambda}{4}, k \in \mathbb{N}$ et $0 < x < \ell$

III / Propagation d'une onde sinusoïdale entretenue à la surface d'un liquide :

- ❑ Suivant une direction quelconque (O, \vec{i}) de la surface du liquide, tout ce passe comme le long d'une corde élastique .
- ❑ Tous les points situés à la même distance r du point source O , ont à tout instant le même état de mouvement .
- ❑ Pour l'aspect de la surface du liquide à une date t_1 , on représente une coupe transversale de la surface du liquide suivant (O, \vec{i}) .



IV / Propagation d'une onde Sonore

1) Qu'est-ce que le son?

Le son est une vibration ou une onde de molécules d'air résultant du mouvement d'un objet. L'onde est une onde de compression dans laquelle la densité des molécules est plus élevée. Cette onde se propage dans l'air à une vitesse qui dépend de la température. Une onde sonore contient de l'énergie qui peut à son tour provoquer un mouvement. Toutefois, si une onde entre en contact avec un objet solide, elle est réfléchi, ce qui produit un écho. L'énergie sonore peut être transformée en d'autres types d'énergie, par exemple, en énergie électrique, et inversement; cette propriété est à la base des communications téléphoniques.

2) Propagation d'un son dans l'air .

L'air est un mélange de gaz. Il se comporte comme un gaz. Il est compressible et expansible, élastique....

Lors de l'émission d'un son, la membrane d'un H.P se déplace. En avançant, elle crée une compression, elle comprime les couches d'air voisines de sa surface.. L'air comprimé pousse dans toutes les directions l'air qui l'entoure et reprend sa position initiale. La compression se propage de proche en proche, c'est l'onde sonore.

- La perturbation créée par la membrane est une variation de pression. Si p_0 est la pression initiale, et p la pression lors de la compression, la variation de pression est $\Delta p = p - p_0$.
- L'oreille détecte le son émis par le H.P car elle est sensible à la variation de pression Δp bien qu'elle soit faible par rapport à la pression atmosphérique.

3) Nécessité d'un milieu matériel

Une expérience simple illustrant la nécessité d'un milieu matériel, l'air par exemple. Le problème de l'utilisation de la cloche à vide est que dès que l'on place l'émetteur sonore sous la cloche, le son devient à peine perceptible.

Pour contourner ce problème, il peut être intéressant de placer un sonomètre sous la cloche.

Le dispositif comprend une cloche à vide , pompe à vide et un émetteur sonore constitué par un générateur de mélodie relié à un haut-parleur

On observe les variations de l'aiguille (image ci-dessous)



Lorsqu'on fait le vide partiel à l'intérieur de la cloche le son n'est plus entendu de l'extérieur \Rightarrow pour se propager le son a besoin d'un milieu matériel (Le son est une onde mécanique)

4) Les propriétés du son

- ⊕ Le son est une onde longitudinale la direction de propagation est parallèle à la direction de la perturbation.
- ⊕ La propagation d'un son nécessite un milieu matériel. Le son ne se propage pas dans le vide.
- ⊕ Le son transporte de l'énergie.

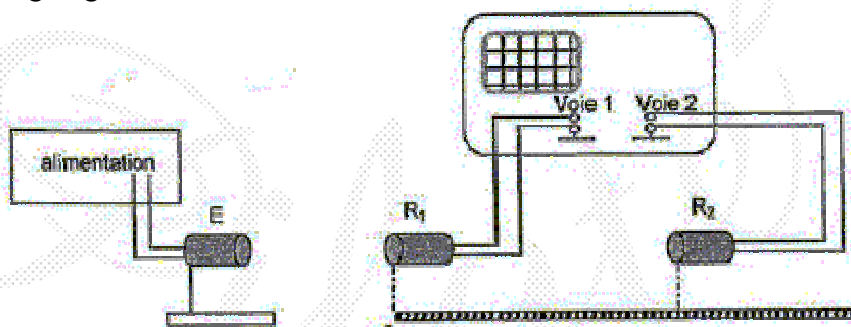
5) Célérité du son

- La célérité du son dépend du milieu de propagation.
- La célérité du son est plus grande dans les solides que dans les liquides et le gaz.
- Car moins le milieu est compressible, plus il est difficile à déformer et plus il est rigide.
- Plus il est rigide, plus grande est sa célérité.

6) Etude expérimentale.

On peut utiliser le montage ci-après pour étudier

- ⊕ un émetteur d'ultrasons E et son alimentation électrique ;
- ⊕ deux récepteurs d'ultrasons R_1 et R_2 ;
- ⊕ un oscilloscope
- ⊕ une règle graduée.



L'émetteur E génère une onde ultrasonore progressive sinusoïdale de fréquence N qui se propage dans l'air jusqu'aux récepteurs R_1 et R_2 . L'émetteur et les deux récepteurs sont alignés. Le récepteur R_1 est placé au zéro de la règle graduée.

Les signaux captés par les récepteurs R_1 et R_2 sont appliqués respectivement sur les voies 1 et 2 d'un oscilloscope pour être visualisés sur l'écran de celui-ci. Les sensibilités verticales des deux voies sont les mêmes, l'oscilloscope est synchronisé sur la voie 1.

Lorsque le récepteur R_2 se trouve à la graduation zéro, les deux signaux visualisés à l'oscilloscope sont superposés. On éloigne alors R_2 (comme l'illustre le dessin ci-dessus), les signaux ne sont plus superposés. Lorsque les signaux sont à nouveau en phase, R_2 est positionné devant la graduation $d = \lambda = C/N$

*Drayce
El kef
Dilata*