

PROPAGATION D'UN MOUVEMENT VIBRATOIRE

1. PROPAGATION D'UN SIGNAL :

1.1. Généralités :

* Définition d'un signal :

un signal est une «perturbation» de courte durée émise par une *SOURCE* et destinée à un *RECEPTEUR*.

* Exemples :

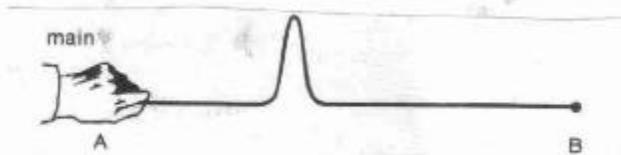
- flash : signal lumineux émis par un appareil photo (S), reçu par l'oeil (R)
- signal morse : émis par une antenne (S) et reçu par une autre antenne (R)
- cri : signal sonore émis par les cordes vocales (S) et reçu par l'oreille ou un micro (R)

* milieu intermédiaire : c'est le *MILIEU DE PROPAGATION* .

- signal lumineux : vide, air, eau, corps transparents, mais pas les milieux opaques
- signal hertzien (radio, télé) : vide, air, eau et solides partiellement mais pas les métaux
- signal sonore : air, eau, liquides, solides, tous les milieux matériels, mais pas le vide

1.2. Ebranlement TRANSVERSAL :

* Exemple 1 : signal mécanique se propageant le long d'une corde.



Dans un ébranlement TRANSVERSAL, la déformation produite est perpendiculaire à la direction de propagation.

La main, source du signal, s'est rapidement déplacée vers le haut avant de reprendre sa position initiale. La déformation se propage vers B.

* Exemple 2 : caillou jeté dans une eau calme

Il y a formation d'une ride qui se propage régulièrement (augmentation du rayon de la ride)

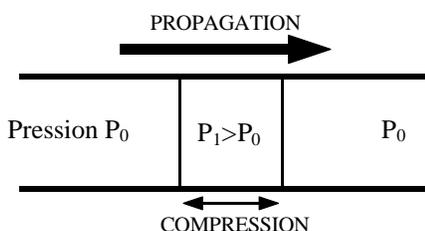


1.3. Ebranlement LONGITUDINAL :

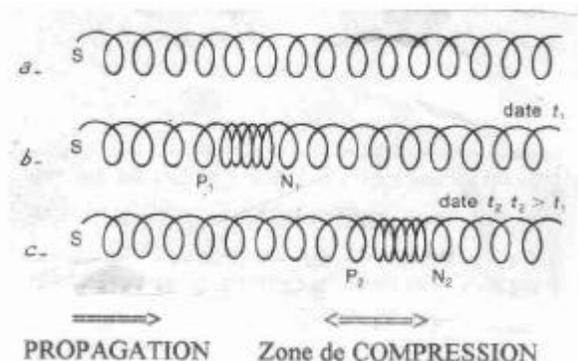
* Exemple 3 : compression de quelques spires d'un ressort .

Dans un ébranlement LONGITUDINAL, la déformation produite est parallèle à la direction de propagation

* Exemple 4 : Propagation du son dans un gaz



Il y a déplacement des molécules de gaz avec une variation de pression au passage du signal.

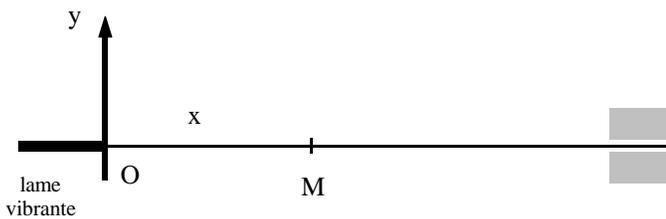


1.4. Propriétés :

- Pour un milieu donné, la vitesse de propagation (célérité) est constante :
 $v = \text{Constante}$
- Il n'a pas de transport de matière, mais propagation d'énergie.
- Chaque point du milieu de propagation reproduit le mouvement de la source avec un certain retard (avec amortissement ou affaiblissement)

2. ONDE PROGRESSIVE : propagation d'un mouvement vibratoire

2.1. Vibration transversale le long d'une corde :



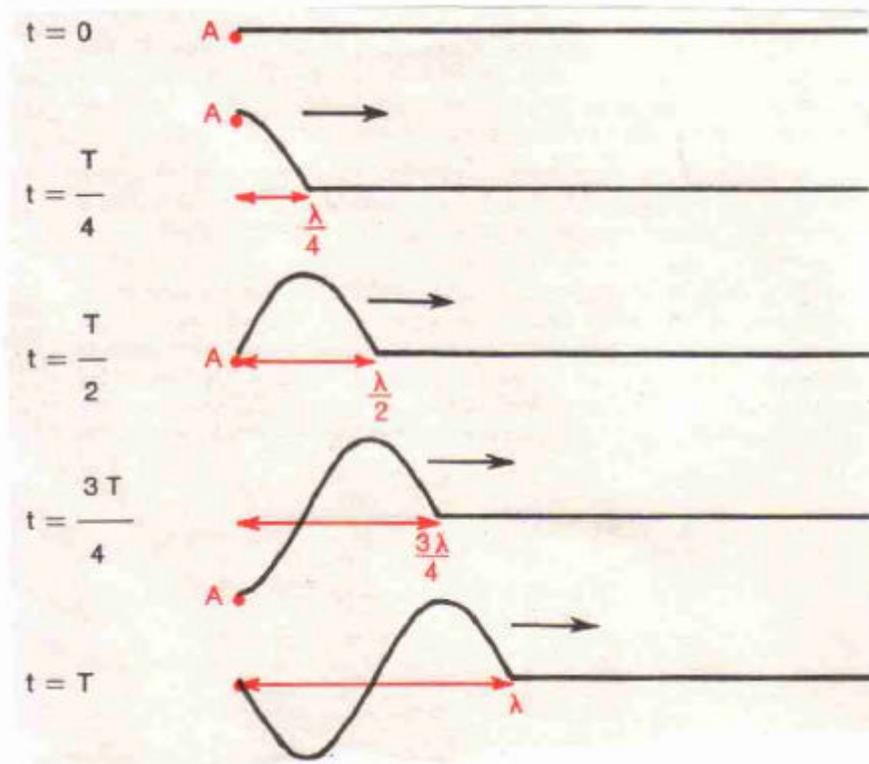
* la source O (lame vibrante) vibre avec une période T

* le point M reproduit le mouvement de O avec un retard θ : $\theta = \frac{OM}{v} = \frac{x}{v}$

* l'aspect de la corde à un instant t donné (photographie ou immobilité stroboscopique) est une sinusoïde dans l'espace : $y = f(x)$ est une fonction sinusoïdale dans l'espace.

* le mouvement vibratoire de chaque point de la corde $y = f(t)$ est une fonction sinusoïdale dans le temps.

2.2. Aspect de la corde à divers instants - Notion de LONGUEUR D'ONDE .



* la source vibre :

$$y_0 = a \sin \omega t$$

$$y_0 = a \sin \frac{2\pi}{T} \cdot t$$

* LONGUEUR D'ONDE
notée λ

C'est la distance parcourue par l'onde pendant le temps d'une période T .

$$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{f}$$

Unité SI : mètre : [m]

2.3. Expression mathématique de la propagation :

Le point M reproduit le mouvement de la source O avec un retard θ : $\theta = \frac{OM}{v} = \frac{x}{v}$

Donc si $y_0 = f(t)$, alors $y_M = f(t - \theta)$

$$y_M = a \sin \frac{2\pi}{T} \cdot (t - \theta) = a \sin \frac{2\pi}{T} \cdot \left(t - \frac{x}{v}\right) \Rightarrow y_M = a \sin 2\pi \cdot \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{v \cdot T}\right)$$

Conclusion : la fonction y_M possède une double périodicité : $y_M = f(x, t)$

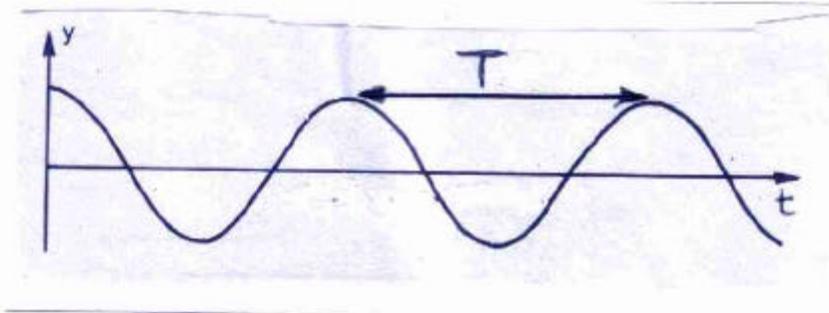
$$y_M = a \sin 2\pi \cdot \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

Période de la fonction sinus : 2π

Période dans le temps : T

Période dans l'espace : λ

PERIODICITE DANS LE TEMPS : pour un point M donné de la corde :



x fixé $\Rightarrow y = f(t)$

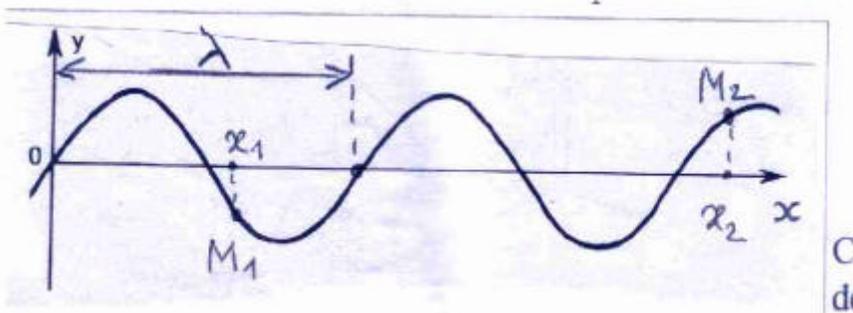
$$y = a \sin 2\pi \cdot \left(\frac{t}{T} - Cte\right)$$

C'est une sinusoïde des temps de Période T

Chaque point de la corde est animé d'un mouvement sinusoïdal

$$y(t) = y(t+T) = y(t+2T) = y(t+3T) = \dots = y(t+nT)$$

PERIODICITE DANS L'ESPACE : pour un instant donné t



t fixé $\Rightarrow y = f(x)$

$$y_M = a \sin 2\pi \cdot \left(Cte - \frac{x}{\lambda}\right)$$

C'est une sinusoïde des espaces de Période λ :

C'est la photographie de la corde à l'instant t

$$y(x) = y(x+\lambda) = y(x+2\lambda) = y(x+3\lambda) = \dots = y(x+n\lambda)$$

Les points de la corde qui vibrent EN PHASE sont tels que : $x_2 - x_1 = k \lambda$

Les points qui vibrent EN OPPOSITION DE PHASE : $x_2 - x_1 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$

2.4. APPLICATION : détermination de la vitesse de propagation du son dans l'air :

- Un émetteur E fixe , alimenté par un générateur B.F. , émet des ultrasons .
- Un récepteur R , mobile le long d'un axe, reçoit ces sons .

- On visualise sur un oscilloscope bi-courbe :



Voie Y_1 : signal émis par l'émetteur E

Voie Y_2 : signal reçu par le récepteur R

- Constatations :

- On observe sur la Voie Y_1 : une sinusoïde et sur la Voie Y_2 une autre sinusoïde décalée.
- En déplaçant le récepteur R le long de l'axe, on constate que la courbe liée à l'émetteur E reste FIXE et que la courbe liée au récepteur R se décale (déphasage dû à la distance) et diminue d'amplitude (phénomène d'affaiblissement).

- Mesures : on utilise un émetteur et un récepteur à ULTRA-SONS. La fréquence est mesuré avec un fréquence-mètre.

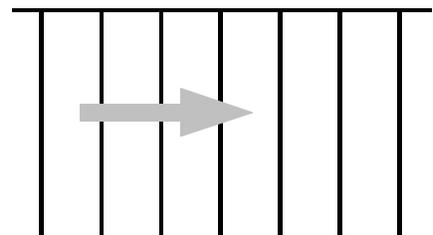
- $f = 40\,970$ Hz
- on met les 2 courbes EN PHASE ; en déplaçant le récepteur, la courbe se décale et se met à nouveau en phase \Rightarrow le déplacement effectué correspond à la longueur d'onde λ .
- On compte 20 « phases » successives : $\Rightarrow 20 \lambda = 16,8$ cm
 $\lambda = \frac{16,8}{20} \Rightarrow \lambda = 0,84$ cm = $8,4 \cdot 10^{-3}$ m
- Comme $\lambda = \frac{v}{f} \Rightarrow v = \lambda \cdot f = 8,4 \cdot 10^{-3} \cdot 40\,970$
 $\Rightarrow v = 344$ m.s⁻¹

3. PROPAGATION ET OBSTACLES :

Etude expérimentale avec une cuve à ondes : on provoque des ondes planes (rectilignes) à la surface de l'eau à l'aide d'un vibreur pneumatique qui envoie des impulsions régulières à la surface de l'eau

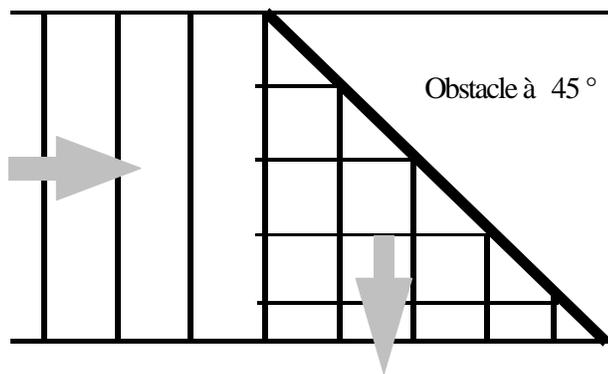
3.1. Propagation :

Les rides créées par la source à intervalle de temps régulier T se propagent à la surface de l'eau avec une vitesse constante v : les rides sont donc espacées d'une longueur $\lambda = v T$.



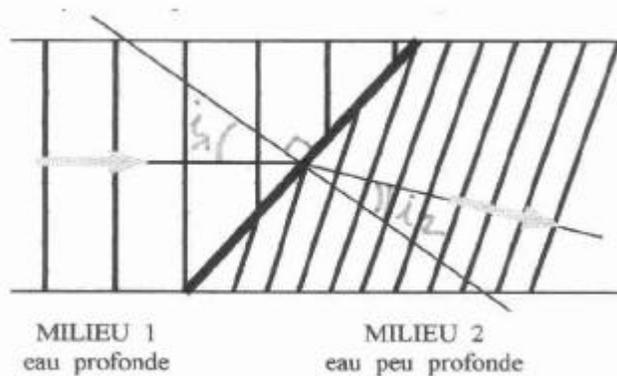
3.2. Réflexion :

Lorsque les ondes rencontrent l'obstacle :



- il y a changement de direction de propagation qui dépend de l'inclinaison de l'obstacle
- l'écartement des rides reste inchangé : donc la longueur d'onde λ est inchangée
- $\lambda = v \cdot T$: comme T est constant (la période est liée à la source) cela veut dire que lors d'une réflexion la vitesse de propagation v reste constante

3.3 Réfraction : au passage des 2 milieux, on constate :



- un changement de direction de propagation :
 i_1 = angle d'incidence
 i_2 = angle de réfraction
- l'écartement des rides varie : donc la longueur d'onde change : $\lambda_1 > \lambda_2$

Comme la période dépend de la source : T

$$\lambda_1 = v_1 \cdot T \quad \text{et} \quad \lambda_2 = v_2 \cdot T$$

$$\text{donc} \quad v_1 > v_2$$

Conclusion : lorsqu'une onde passe d'un milieu 1 vers un milieu 2, elle subit le phénomène de réfraction qui est caractérisé par un changement brusque de la direction de propagation et une modification de la vitesse. On définit l'indice de réfraction n par le

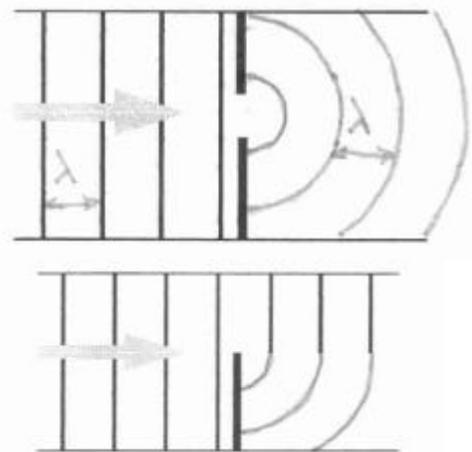
$$\text{rapport } n = \frac{v_2}{v_1}.$$

3.4. Diffraction :

Une ouverture de taille voisine de la longueur d'onde λ devient source de vibration secondaire. Il y a formation de rides circulaires centrées sur l'ouverture: c'est le phénomène de DIFFRACTION.

Le bord de l'obstacle devient source secondaire. Par diffraction, l'onde atteint la zone située derrière l'obstacle : c'est l'EFFET DE BORD.

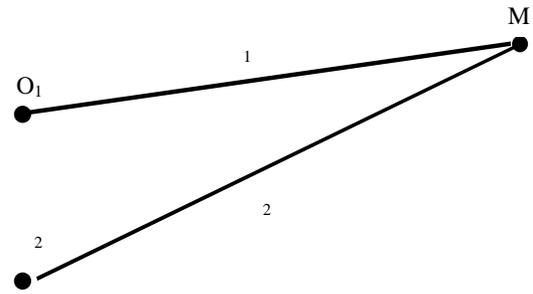
Le phénomène de diffraction est particulièrement important pour les ONDES SONORES : toute ouverture (porte ou fenêtre) joue le rôle de source secondaire



4. COMPOSITION DE VIBRATIONS

4.1. Interférences :

- définition : c'est la superposition de 2 mouvements vibratoires sinusoïdaux de :
 - même fréquence f
 - même amplitude a
$$y_{O_1} = y_{O_2} = a \sin \omega t$$



- Constatations : à la surface de l'eau, il y a des points qui ne bougent pas (aucune ride ou vague) et il y a des points qui bougent avec une grande amplitude
- explication : L'élongation résultante sera du type : $y_M(t) = y_1 + y_2$
 y_1 : onde issue de O_1 et y_2 : onde issue de O_2

POINTS AU REPOS : les ondes issues de O_1 et O_2 arrivent au point M en **opposition de phase**

$$\Rightarrow y_M(t) = 0$$

$$d_2 - d_1 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

POINTS A AMPLITUDE MAXIMALE : les ondes issues de O_1 et O_2 arrivent au point M **en phase** :

$$\Rightarrow y_M(t) \text{ est maximum :}$$

$$d_2 - d_1 = k \lambda$$

4.2. Battements :

- Expérience : Si deux sources sonores (par exemple, deux diapasons) envoient des ondes sonores avec une *fréquence presque égale*, on ne perçoit aucun son séparé, mais un son unique dont le volume deviendra régulièrement plus petit, puis plus grand et ainsi de suite . . . Ce phénomène est appelé **battement** et peut être expliqué par la superposition des deux ondes.
- Explication : comme les 2 vibrations n'ont pas la même fréquence, l'une des 2 prend de l'avance sur l'autre .
 - Lorsque les vibrations sont en opposition de phase, le son perçu est NUL
 - Lorsque les vibrations sont en phase, le son perçu sera MAXIMUM
- Voir l'animation correspondante sur le site claude.jeuch.free.fr
- On démontre que la fréquence des battements est égale à la différence des fréquences

$$f_b = f_1 - f_2$$