

I Les ondes progressives

1. Définition

On appelle onde progressive le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu sans transport de matière.

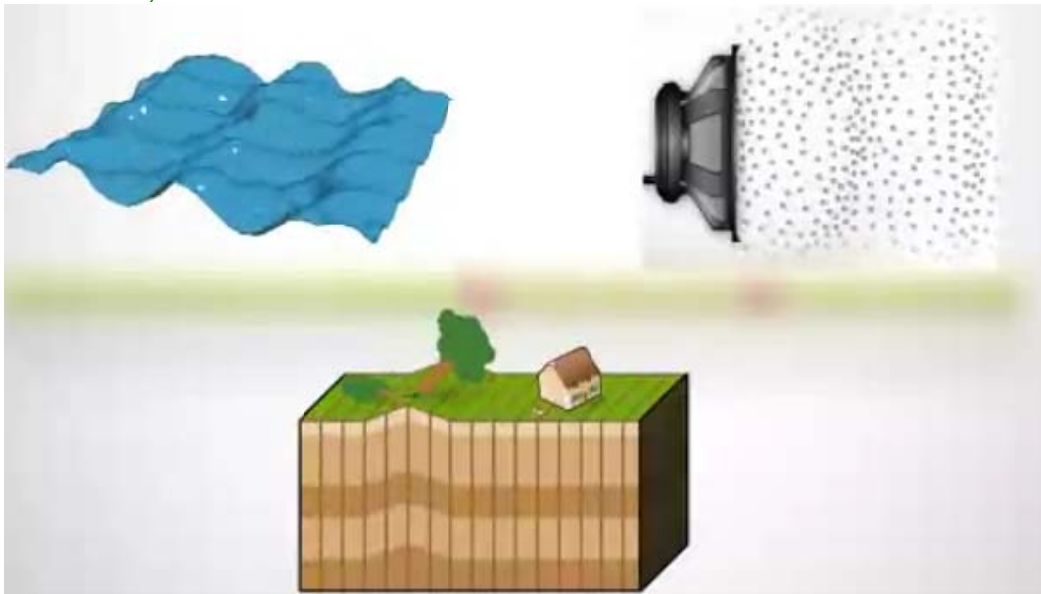
Une onde progressive transporte de l'énergie mais pas de matière.

Une onde électromagnétique (comme la lumière) n'a pas besoin d'un milieu matériel pour se propager.

Une onde mécanique a besoin d'un support matériel pour se propager (onde sismique, onde sonore).

Exemple : onde mécanique à la surface d'un lac $\neq$ déplacement d'un bateau à la surface d'un lac
Après le passage de l'onde, le milieu reprend sa forme initiale.

Animation ENT : corde, surface eau



- Une onde à une dimension est une onde qui se propage selon une droite. *exemple : corde*
- Une onde à deux dimensions est une onde qui se propage dans un plan. *exemple : à la surface de l'eau (voir animation ENT)*
- Une onde à trois dimensions est une onde qui se propage dans tout l'espace. *exemple : le son dans l'air*

2. Vitesse de propagation ou célérité d'une onde

On parle de vitesse lorsqu'on parle d'un objet matériel qui se déplace, hors une onde se déplace **sans transport de matière**, on parle alors de **célérité** d'une onde.

La célérité (ou vitesse de propagation) v d'une onde progressive est donnée par la relation :

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

v en m.s^{-1}

d distance parcourue par la perturbation en m

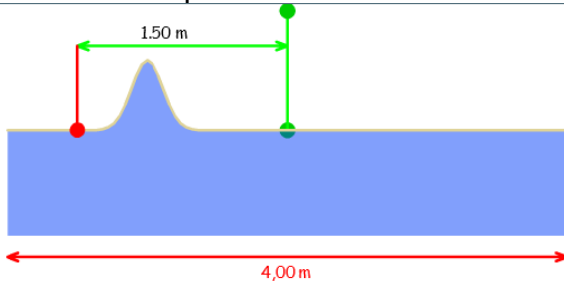
Δt durée en s pour parcourir la distance d

3. Notion de retard (animation ENT corde ou vague)

De façon générale, une onde se propage en se déformant.

On suppose ici que la perturbation se propage sans déformation. Il est donc possible de déterminer précisément sa position à tout instant. Animation ENT

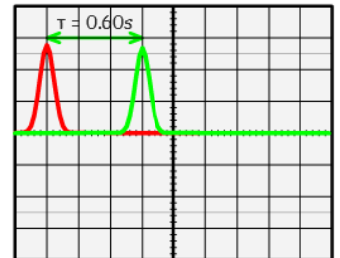
À l'instant t_A , la perturbation est en A. À l'instant t_B , elle sera en B. La perturbation s'est déplacée d'une distance $d=AB$ entre les deux instants t_A et t_B . Le point B reproduit exactement le mouvement du point A avec un retard $\tau = t_B - t_A$.



Enregistrement à l'oscilloscope du mouvement des bouchons rouge et vert en fonction du temps.

1 div horizontale : 0,20s

? D. L. MdB



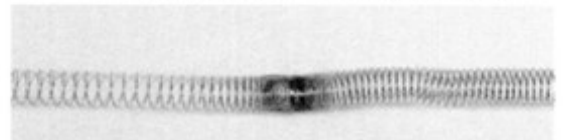
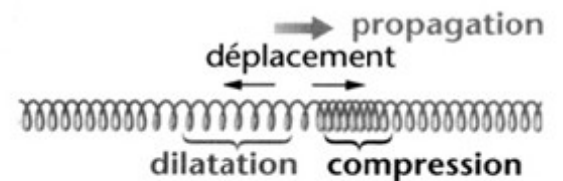
Le retard τ est la durée mise par l'onde pour se propager de A à B : $\tau = \frac{AB}{v}$ où v est la célérité de l'onde.

Cette relation permet de déterminer simplement la célérité d'une onde. □

4. Onde longitudinale, onde transversale

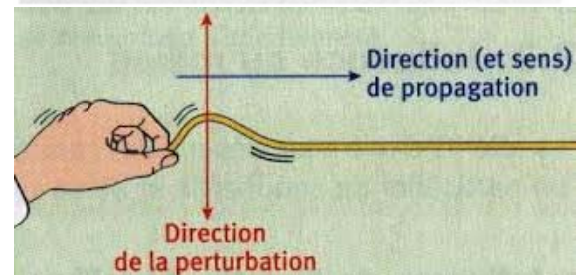
On dit que l'onde est longitudinale lorsque la direction de la perturbation est parallèle à la direction de propagation de l'onde.

exemple : ressort



On dit que l'onde est transversale lorsque la direction de la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde.

exemple : à la surface de l'eau, corde



II Les ondes progressives périodiques

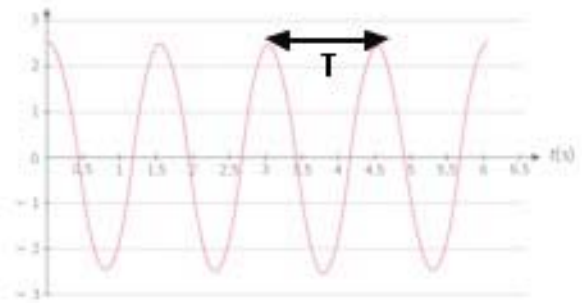
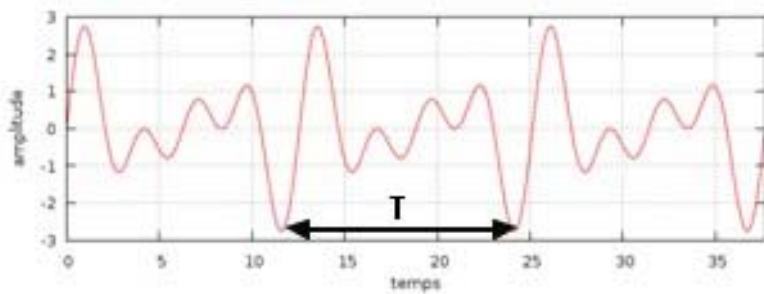
1. Définition

Une onde progressive est dite périodique si la perturbation qu'elle génère en un point est périodique. (animation ENT)

2. Double périodicité : périodicité temporelle et périodicité spatiale

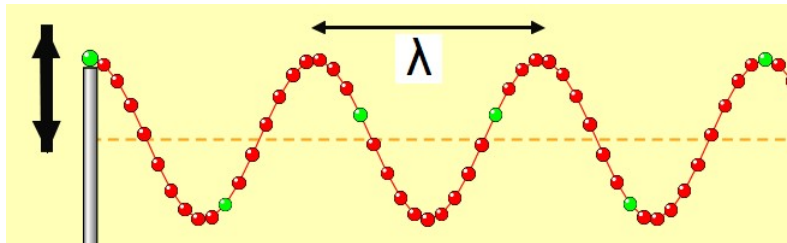
La période temporelle T d'une onde progressive périodique est la plus petite durée au bout de laquelle un point se trouve dans le même état vibratoire.

On la détermine sur un oscillogramme représentant le signal **en fonction du temps**.



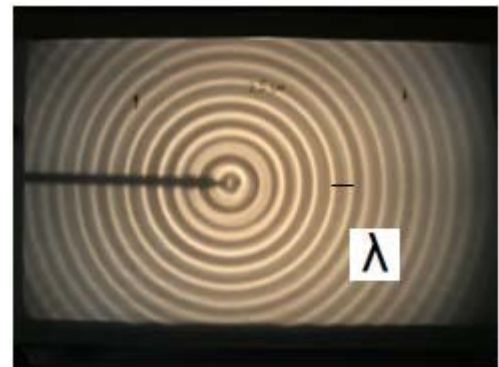
La période spatiale appelée longueur d'onde, d'une onde progressive périodique est la longueur du motif qui se répète.

On peut la mesurer directement sur une figure représentant la propagation de l'onde dans un milieu matériel à une ou 2 dimensions:



Perturbation sinusoïdale sur une corde

Cuve à onde,
surface de l'eau perturbée périodiquement



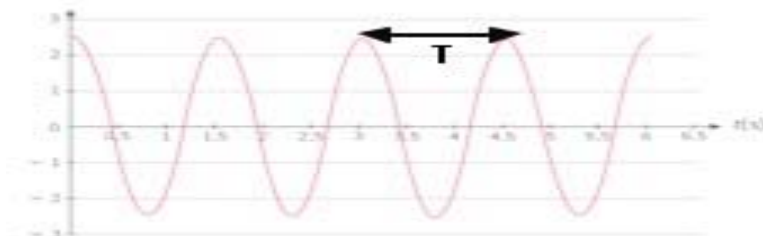
3. Cas des ondes progressives sinusoïdales

(animation ENT)

Une onde progressive périodique est sinusoïdale si, en chaque point M, la grandeur caractérisant la perturbation créée par l'onde est une fonction sinusoïdale du temps. $u_M(t) = U_{\max} \times \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right)$

$U_{\max}$ amplitude de l'onde, T période, φ déphase à l'origine en radian (à $t=0$ si $u(0)=0$ alors $\sin \varphi = 0$ donc $\varphi = 0$)

a. Période temporelle, fréquence

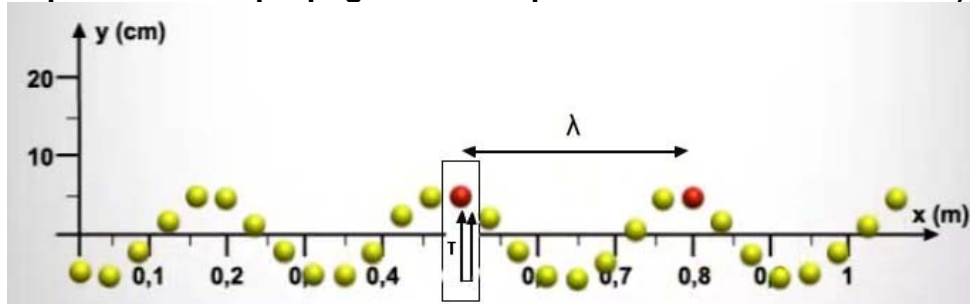


La fréquence f d'une onde périodique est telle que $f = \frac{1}{T}$. f s'exprime en Hz et T en s.

Une onde sonore est audible par l'oreille humaine si sa fréquence est comprise entre 20 Hz et 20 kHz. (boîtier anti-jeune vers 20kHz)

b. Période spatiale

Cette période spatiale λ est appelée longueur d'onde et s'exprime en m. (visible directement sur un graphe représentant la propagation de la perturbation sur l'axe des x).



Rque :

Les billes rouges espacées d'une longueur d'onde vibrent en phase.

La période temporelle T correspond ici à la durée que met la bille rouge à revenir à sa position initiale.

Les périodes spatiales et temporelles d'une onde sinusoïdale sont liées par la relation :

$$\lambda = vT.$$

λ en m, T en s, v la célérité de l'onde en m.s^{-1} .

Application : déterminer l'intervalle de longueurs d'onde des ondes sonores audibles dans l'air dans les conditions ordinaires de température et de pression :

$$\text{Pour } f=20 \text{ Hz, } \lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{20} = 17\text{m} \quad \text{Pour } f=20 \text{ kHz, } \lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{20 \cdot 10^3} = 17 \cdot 10^{-3} \text{m} = 17\text{mm}$$

Remarque : La fréquence (ou la période) d'une onde sinusoïdale ne dépend pas du milieu de propagation. Mais la célérité de l'onde en dépend.

Donc **la longueur d'onde dépend du milieu de propagation.**

Exemple : un haut-parleur émet un son ayant une fréquence donnée. La longueur d'onde de ce son ne sera pas la même dans l'eau et dans l'air.

III Les ondes sonores et ultrasonores

Les ondes sonores sont des ondes mécaniques. Elles nécessitent donc un milieu matériel pour se propager.

Edumédia Ondes sonores- Haut-parleur

Les ondes sonores dans les fluides sont des ondes longitudinales de compression-dilatation.

Pour visualiser une onde sonore on utilise un micro qui permet de transformer l'onde mécanique en signal électrique "image" de cette onde sonore. On obtient ainsi un oscillogramme représentant la tension électrique (proportionnelle à l'intensité sonore) en fonction du temps.

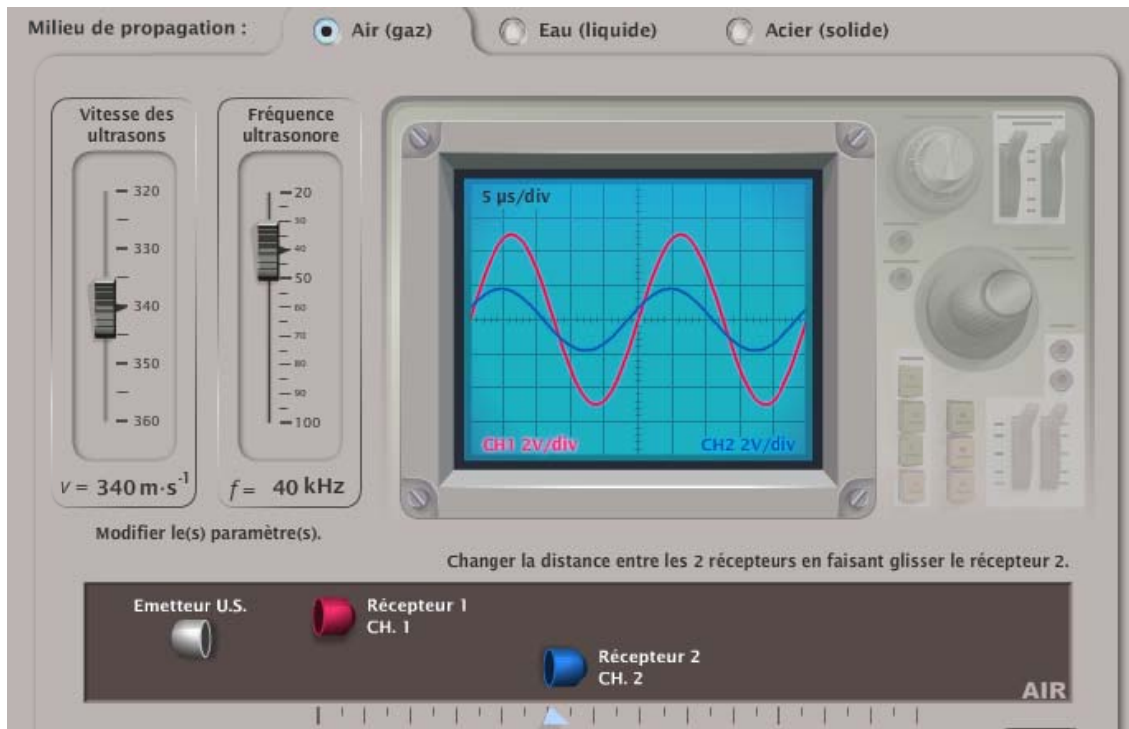
1- mesure de la vitesse du son dans l'air : voir AExp : US mode salve et clap du son

2-Mesure de la longueur d'onde d'une onde sonore sinusoïdale :

(voir AExp US) voir ENT onde sonore

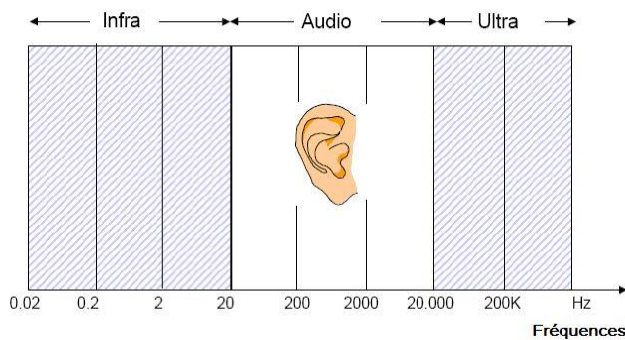
Les sinusoïdes de même période T sont dites en phase lorsqu'elles atteignent leur maximum et leur minimum simultanément.

Les sinusoïdes sont en phase chaque fois que les micros sont éloignés de distances multiples de la distance λ qui est une période spatiale.



La longueur d'onde de ce son ne sera pas la même dans l'eau et dans l'air.

1. Perception par l'oreille humaine



+ animation ENT son et audition

2. Fréquence d'une note

Edumédia Physique des instruments de musique *Fréquence d'une note*

Le son produit par un instrument de musique est périodique.

Plus le son est aigu, plus la fréquence est élevée.

La fréquence d'un son est appelée : **hauteur** du son

3. Analyse fréquentielle ou analyse spectrale

Edumédia Physique des instruments de musique *Les harmoniques d'une note*

Une vibration périodique est la superposition d'une infinité de vibrations sinusoïdales de fréquences $f_0, f_1, f_2, \dots$

La hauteur d'un son est la fréquence f_0 du fondamental.

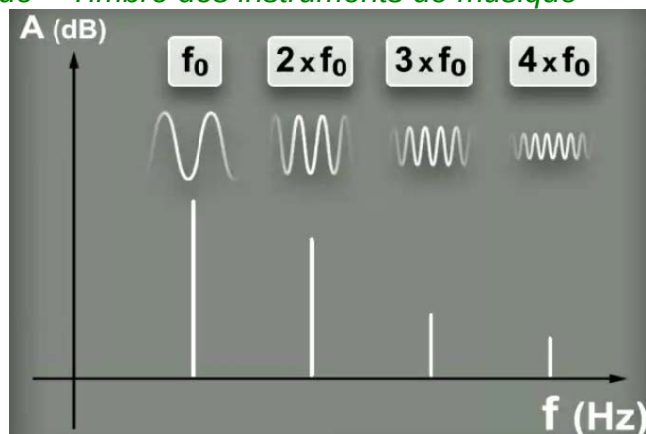
Les autres fréquences $f_1, f_2, f_3, \dots$ sont appelées harmoniques et sont des multiples de la fréquences du fondamental

$$f_1 = 2 f_0 \quad f_2 = 3 f_0 \quad f_3 = 4 f_0$$

Le spectre en fréquence d'un son est la représentation graphique de l'amplitude de ses composantes sinusoïdales en fonction de la fréquence.

Animations ENT : analyse spectrale

Edumédia Physique des instruments de musique *Timbre des instruments de musique*



La même note jouée par 2 instruments différents ne donnera pas le même spectre en fréquence. Le timbre du son est ce qui différencie 2 sons de même fréquence joués par des instruments différents.

Le timbre d'un son est lié au nombre et à l'amplitude des harmoniques.

4. Niveau d'intensité sonore

L'intensité sonore I , exprimée en W.m^{-2} , caractérise l'intensité d'un signal reçu par l'oreille.

Seuil d'audibilité $I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$

Seuil de douleur $I_{\text{douleur}} = 25 \text{ W.m}^{-2}$

Le niveau d'intensité sonore L est défini par $L = 10 \log \frac{I}{I_0}$.

I et I_0 exprimés en W.m^{-2} , L exprimé en dB

Remarque : plusieurs instruments

Les intensités sonores s'ajoutent mais pas les niveaux □

