

LES ONDES



Les notions indispensables

ONDES MECANIKES PROGRESSIVES

■ Définitions

Une onde mécanique progressive est la propagation d'une perturbation dans un milieu matériel.

Elle se propage sans transport de matière mais avec transport d'énergie.

L'onde est transversale si la perturbation est perpendiculaire, normale à la direction de propagation (ondes à la surface de l'eau, le long d'une corde).

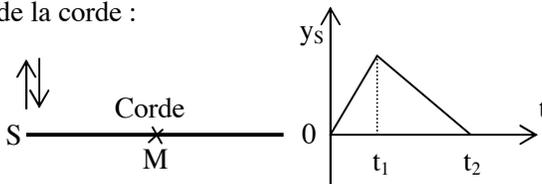
Une onde est longitudinale si la perturbation est parallèle à la direction de propagation (ondes sonores, le long d'un ressort).

■ Propriétés

Dans un milieu matériel, une onde se propage de proche en proche (pas de discontinuité) ; cette propagation est caractérisée par sa vitesse v appelée célérité qui dépend du milieu matériel.

La perturbation du point source est une fonction du temps.

Exemple de la corde :



Le déplacement y appelé élongation est une fonction du temps noté $y_s(t)$.

La perturbation d'un point M est la perturbation du point source avec un retard θ .

$$\theta = \frac{x}{v} \quad (x = SM) : y_M(t) = y_s(t - \theta)$$

Une onde progressive peut être unidimensionnelle (le long d'une corde), bidimensionnelle (à la surface de l'eau), tridimensionnelle (ondes sonores).

Deux ondes peuvent se croiser sans se perturber.

ONDES PROGRESSIVES PERIODIQUES

■ Définitions

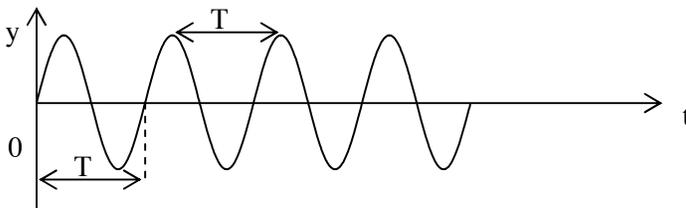
Une onde progressive est périodique si la perturbation de la source est reproduite à intervalles de temps égaux (vibration).

Une telle onde présente une double périodicité, temporelle et spatiale.

■ Périodicité temporelle

Tous les points du milieu matériel ont la même période T de vibration : celle du point source S .

Elongation d'un point de la corde au cours du temps :

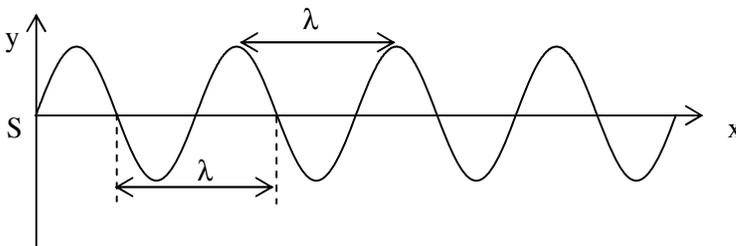


La fréquence (notation f ou ν) est l'inverse de la période $f = \frac{1}{T}$ avec f en Hz et T en s.

■ Périodicité spatiale

A une date et dans une direction de propagation données, la déformation du milieu revient identique à elle-même, à intervalles (de distance) réguliers ; cet intervalle est appelé longueur d'onde.

Allure de la corde à la date t :



La longueur d'onde λ est la distance parcourue par l'onde pendant une période T à la célérité v :

$$\lambda = v T$$

ONDES SONORES ET ULTRASONORES

■ Définition



Une onde sonore est une onde mécanique. L'onde sonore nécessite un milieu matériel pour se propager. Cette onde crée de proche en proche des zones de compression et de dilatation du milieu. La perturbation a la même direction que celle de la propagation de l'onde, c'est une onde longitudinale.

Pour détecter ce type d'onde, on peut utiliser :

- un microphone dans lequel une membrane est mise en vibration ;
- un capteur piézoélectrique dans lequel l'onde fait vibrer la céramique donnant naissance à une différence de potentiel électrique à ses bornes.

■ Analyse spectrale

Les qualités acoustiques d'un son sont au nombre de trois : la hauteur, l'intensité et le timbre.

• Hauteur d'un son

Un son paraît d'autant plus aigu (plus haut) que sa fréquence est élevée. La hauteur d'un son dépend donc de sa fréquence. Les basses fréquences sont appelées graves, à l'inverse on appellera les fréquences plus élevées les aigus.

La hauteur d'un son sera mesurée par la fréquence de son fondamental. Un son pur correspondra à une vibration purement sinusoïdale.

A noter que l'oreille humaine peut percevoir des fréquences comprises entre 20 Hz et 20 kHz ; avant 20 Hz on parle d'infrasons et au-dessus de 20 kHz on parle d'ultrasons.

• Intensité d'un son

L'intensité d'un son va correspondre au fait que l'on peut le percevoir faible ou fort. La perception du son fait intervenir la sensibilité de l'oreille, celle-ci étant différente d'un individu à un autre, on est amené à définir une grandeur : l'intensité sonore I .

L'intensité sonore est la puissance reçue par unité de surface du récepteur. Elle s'exprime en W.m^{-2} .

$$I = \frac{P}{S}$$

Le seuil de sensibilité de l'oreille vaut $I_0 = 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$, le seuil de la douleur 1 W.m^{-2} .

L'échelle étant très vaste, on utilise une échelle logarithmique L , niveau sonore en dB (décibel) :

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$L = 0 \text{ dB}$ pour $I = I_0$ et $L = 120 \text{ dB}$ pour $I = 1 \text{ W.m}^{-2}$.

On ne peut pas sommer des niveaux sonores : ainsi si deux violons émettent chacun un niveau sonore de 75 dB, la somme des deux ne fera pas 150 dB.

Le niveau sonore est mesuré à l'aide d'un sonomètre.

• Timbre d'un son

Le timbre est la qualité d'un son qui va permettre de faire la distinction entre deux sons de même hauteur et de même intensité produits par deux sources différentes.

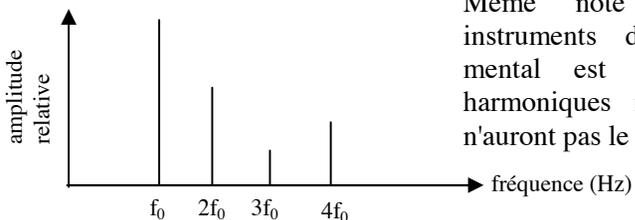
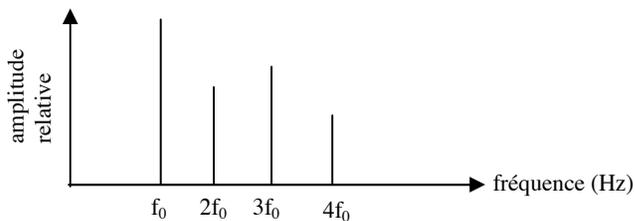
Une source sonore émet en général une vibration non sinusoïdale. Il est possible de décomposer cette vibration en une somme de vibrations sinusoïdales de fréquences f , $2f$, $3f$, $4f$... f est le fondamental, $2f$, $3f$, $4f$... sont les harmoniques qui vont avoir des amplitudes différentes. Deux sons de même hauteur et de même intensité produits par deux sources différentes auront donc un timbre différent car leurs harmoniques ne seront pas identiques.

- Analyse d'un son

Pour étudier ces harmoniques, on utilise le spectre sonore. Le spectre sonore donne l'amplitude relative des harmoniques en fonction de la fréquence, exemple :



Son pur, il y a uniquement le fondamental.



Même note jouée, par deux instruments différents. Le fondamental est identique, mais les harmoniques non. Ces deux sons n'auront pas le même timbre.

ONDES SISMQUES – HOULE

■ Définitions

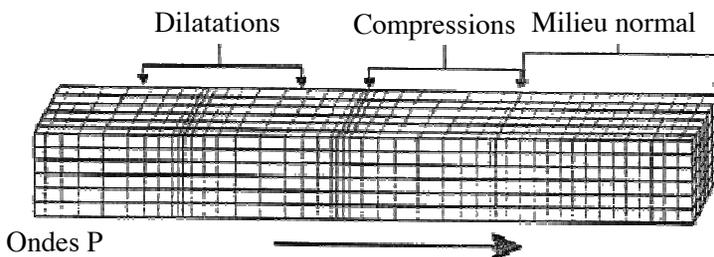
Les ondes sismiques sont des ondes mécaniques élastiques se propageant dans la croûte terrestre. On distingue deux types d'ondes : les ondes de volume qui traversent la Terre et les ondes de surface qui se propagent parallèlement à sa surface. Les capteurs utilisés pour analyser ces ondes sont des sismomètres.

On distingue :

- Les ondes de volume

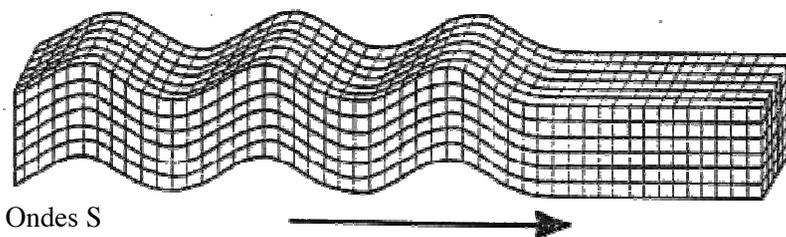
L'onde P comprime et étire alternativement les roches. Ces ondes sont rapides et se propagent dans les solides et les liquides.

Les ondes P sont des ondes longitudinales car les zones de compressions / dilatations se déplacent dans la même direction que celle de l'onde.



L'onde S se propage en cisillant les roches latéralement à angle droit par rapport à sa direction de propagation. Elles sont moins rapides que les ondes P et ne se propagent que dans les solides.

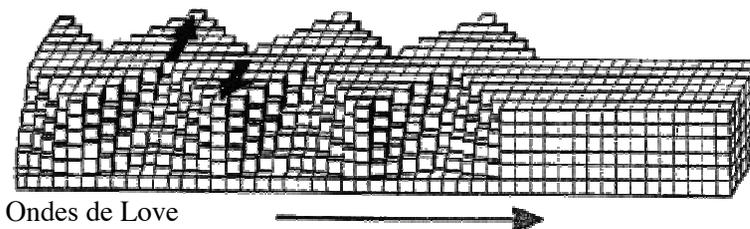
Les ondes S sont des ondes transversales : le cisaillement des roches se fait dans une direction perpendiculaire à la direction de l'onde.



Une onde de surface :

L'onde de Love L : elle déplace le sol d'un côté à l'autre dans un plan horizontal perpendiculairement à sa direction de propagation.

Les ondes L sont des ondes transversales : la perturbation se propage dans un plan horizontal perpendiculairement à la direction de l'onde



La houle

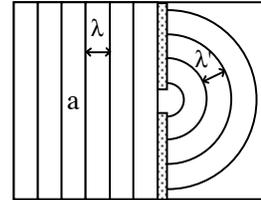
La houle, onde mécanique progressive est une onde de surface, il y a déformation de l'interface entre l'océan et l'atmosphère. Il n'y a pas déplacement de matière.

COMPORTEMENTS ONDULATOIRES

■ Diffraction

On interpose sur le trajet d'une onde, une ouverture ou un obstacle dont la dimension (a) est du même ordre de grandeur ou inférieur à sa longueur d'onde (λ). Cette ouverture se comporte alors comme des sources secondaires de même fréquence que la source primaire créant l'onde. C'est le phénomène de diffraction.

Pour une longueur d'onde donnée, le phénomène de diffraction est d'autant plus marqué que la dimension de l'ouverture a est petite devant la longueur d'onde. Si $a \gg \lambda$, le phénomène est quasi nul.



Exemple : cuve à ondes, diffraction des ondes sonores.

L'onde diffractée aura la même fréquence et la même longueur d'onde que l'onde incidente, $\lambda = \lambda'$.

- Dispersion

Un milieu est dispersif si la célérité des ondes dépend de la fréquence. L'eau est un milieu dispersif, le verre aussi. Par contre l'air peut être considéré comme un milieu non dispersif pour les ondes sonores.

- Diffraction des ondes lumineuses

En faisant passer un faisceau laser (onde lumineuse monochromatique) à travers une fente de largeur a ($a \gg \lambda$), on observe sur l'écran une figure de diffraction.

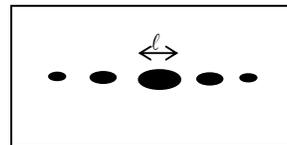
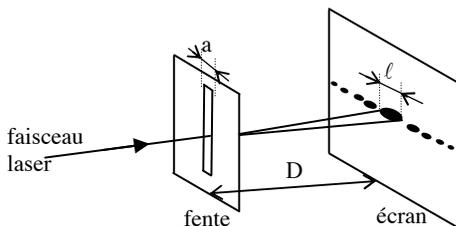


Figure de diffraction

Si on envoie un faisceau de lumière blanche sur une fente rectangulaire fine et longue, on observe sur l'écran des taches irisées. Chaque radiation de longueur d'onde λ donne sa propre figure de diffraction.

L'ouverture angulaire du faisceau diffracté est :

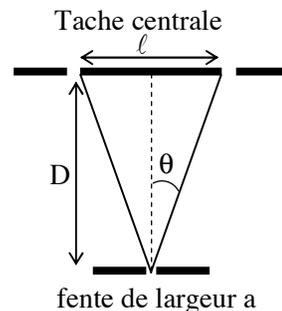
$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

La largeur ℓ de la tache centrale est donnée par la relation :

$$\ell = 2D \tan \theta$$

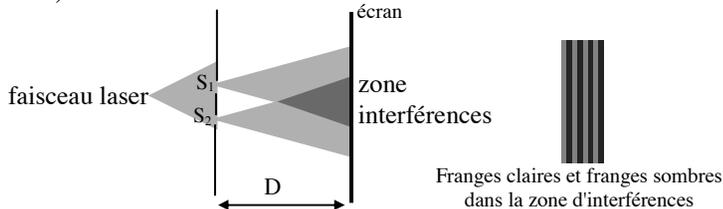
comme θ est petit, on peut écrire $\tan \theta \approx \theta$.

$$\ell = 2D\theta \Rightarrow \ell = \frac{2\lambda D}{a}$$



■ Interférences

On éclaire avec un faisceau laser des trous S_1 et S_2 (figure ci-après). Sur l'écran apparaît une figure d'interférences (là où les ondes se superposent), l'intensité lumineuse subit des variations en fonction de l'endroit d'observation (franges claires et sombres).



Les conditions pour obtenir des interférences :

- que les ondes qui se superposent soient de même fréquence ;
- que ces ondes soient issues de la même source.

Franges claires : interférences constructives, les deux ondes sont en phase.

Franges sombres : interférences destructives, les deux ondes sont en opposition de phase.

Deux franges sombres ou claires sont séparées par la même distance que l'on nomme interfrange i :

$$i = \frac{\lambda D}{a}$$

a : distance entre S_1 et S_2 ; D : distance entre les trous et l'écran.

■ Effet Doppler

Soit un observateur fixe, le son émis par un véhicule paraît plus aigu lorsque celui-ci se rapproche de l'observateur et plus grave lorsqu'il s'en éloigne.

L'effet Doppler est donc la variation apparente de la fréquence de l'onde émise par la source en mouvement. Il y a un décalage de fréquence que l'on nomme décalage Doppler entre la fréquence apparente et la fréquence réelle.

L'effet Doppler est utilisé dans le domaine médical (détermination de la vitesse des globules...), dans le domaine de l'astrophysique (expansion de l'univers...).

N.B : les formules concernant l'effet Doppler ne sont pas à connaître.

Les annales

ONDES EN QUESTION

Les questions sont indépendantes.

Répondre aux questions suivantes en **justifiant** toutes vos réponses.

Question 1

On excite l'extrémité d'une corde à une fréquence de 50 Hz. Les vibrations se propagent le long de la corde avec une célérité de 10 m.s^{-1} . Quelle est la longueur d'onde ?

Question 2

Un faisceau de lumière, parallèle, monochromatique, de longueur d'onde λ , arrive sur une fente horizontale de largeur a (a est de l'ordre du dixième de millimètre). Quelle figure de diffraction parmi celles proposées dans l'annexe 1, schéma 1 observe-t-on sur l'écran situé à une distance D , grande devant a ?

Question 3

a) La fréquence d'une radiation lumineuse monochromatique, qui passe d'un milieu transparent à un autre milieu d'indice plus élevé, ne change pas.

b) La longueur d'onde d'une radiation monochromatique qui passe d'un milieu transparent à un autre milieu d'indice plus élevé ne change pas.

Ces affirmations sont-elles vraies ou fausses ?

Question 4

La célérité du son dans l'air est $v = \sqrt{\frac{k.T}{M}}$ où T est la température absolue (en

Kelvin) et M la masse molaire du gaz ; k étant une constante.

a) La célérité du son diminue-t-elle quand la température augmente ?

b) La célérité du son varie-t-elle avec la fréquence ?

c) La célérité du son dans l'air est-elle de l'ordre de $1\,000 \text{ km.s}^{-1}$?

Question 5

Un pêcheur à la ligne est au bord d'un lac tranquille. Soudain un enfant vient perturber la surface de l'eau en jetant un caillou à quelques mètres du flotteur.

Le flotteur se déplace-t-il à la célérité v de l'onde ?

Question 6

Deux ébranlements se propagent en sens contraire sur une corde tendue. On a représenté (annexe 1, schéma 2) plusieurs situations possibles après leur rencontre. Choisir celle qui est physiquement possible.