

PCSO : physique des ondes
Cours 6 - ondes stationnaires

wooclap.com/ZUZTSH

Rappels

- Une onde est caractérisée par sa célérité, sa fréquence (ou période ou pulsation) et sa longueur (ou vecteur) d'onde.
- La propagation d'une onde sinusoïdale est donnée par une amplitude, un déphasage, une pulsation et un vecteur d'onde.
- Les ondes électromagnétiques sont une grande famille d'ondes de même célérité mais différant par leur fréquence.
- Une onde progressive se propage à l'infini si elle ne rencontre pas d'obstacle.

Onde progressive

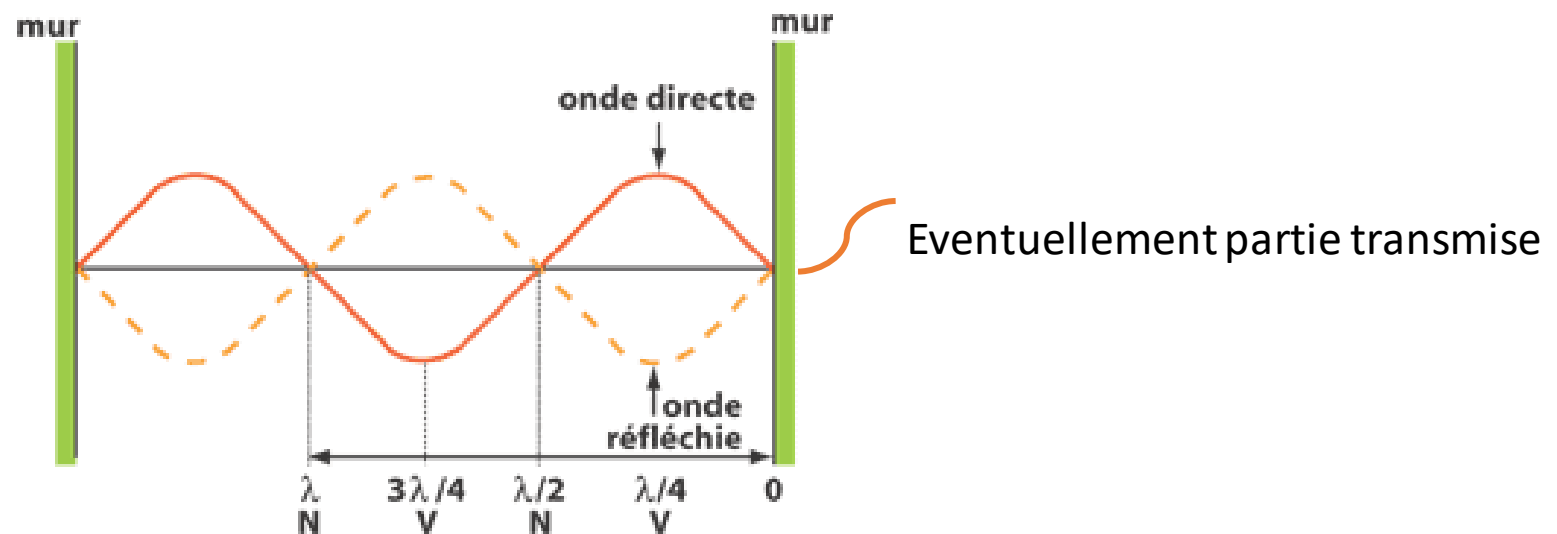
Une onde est dite **progressive** lorsqu'elle se propage sans déformation ni atténuation à l'infini.

Si une onde se propage selon un axe x , on parle d'onde **droite** si elle la propagation se fait dans le sens des x croissants et d'onde **gauche** si elle se fait dans les sens des x décroissants.

Si l'onde rencontre un obstacle ou si le milieu de propagation change de nature, il peut y avoir **réflexion**.

Que se passe-t-il en cas d'obstacle ?

Il y a des phénomènes de **réflexion** et **transmission** à l'interface



Obstacle : changement de milieu ou de propriétés du milieu

Que se passe-t-il en cas d'obstacle ?

- Plus le changement de milieu sera brutal, plus l'onde sera réfléchiée et moins elle sera transmise (passage de l'air ou d'une corde à un mur...)
- Plus le changement de milieu sera progressif, plus l'onde sera transmise et moins elle sera réfléchiée (passage de l'air au vide pour une OEM...)
- Si l'onde qui arrive est sinusoïdale, les ondes réfléchiée et transmise le seront aussi.

Exemples

- Corde attachée à un mur
- Son qui se réfléchit dans une pièce
- Vagues qui rebondissent
- Lumière réfléchie par un miroir

Superposition d'ondes

Deux ondes du même type peuvent s'additionner, on parle de **superposition** : $f = f_{\text{onde 1}} + f_{\text{onde 2}}$

Par exemple, si deux vagues se rencontrent, la hauteur de l'eau sera la somme des hauteurs créées par chacune des vagues. Ainsi en certains points il pourra y avoir une vague de hauteur double et en d'autres points aucun changement de hauteur (si les vagues s'annulent).

Formation d'ondes stationnaires

Les ondes stationnaires ne **propagent pas d'énergie**. Elles se forment par **superposition de deux ondes de même fréquence se propageant en sens opposés**.

Onde **incidente** droite : $A_i \cos(\omega t - kx + \varphi_i)$

Onde **réfléchie** gauche : $A_r \cos(\omega t - kx + \varphi_r)$

Onde résultante : $A_i \cos(\omega t - kx + \varphi_i) + A_r \cos(\omega t - kx + \varphi_r)$

Formation d'ondes stationnaires

On peut donc exprimer l'onde résultante à tout instant et en toute position : $f(x,t) = A_i \cos(\omega t - kx + \varphi_i) + A_r \cos(\omega t - kx + \varphi_r)$

Si toute l'onde est réfléchiée, $A_i = A_r = A$ et on parle de **réflexion totale**.
Si la réflexion d'introduit pas de déphasage, $\varphi_i = \varphi_r = \varphi$.

Alors : $f(x,t) = A(\cos(\omega t - kx + \varphi) + \cos(\omega t - kx + \varphi))$

Formation d'ondes stationnaires

On peut montrer ($\cos a + \cos b = 2\cos((a+b)/2)\cos((a-b)/2)$)
que $f(x,t) = 2A\cos(\omega t + \varphi)\cos(kx)$

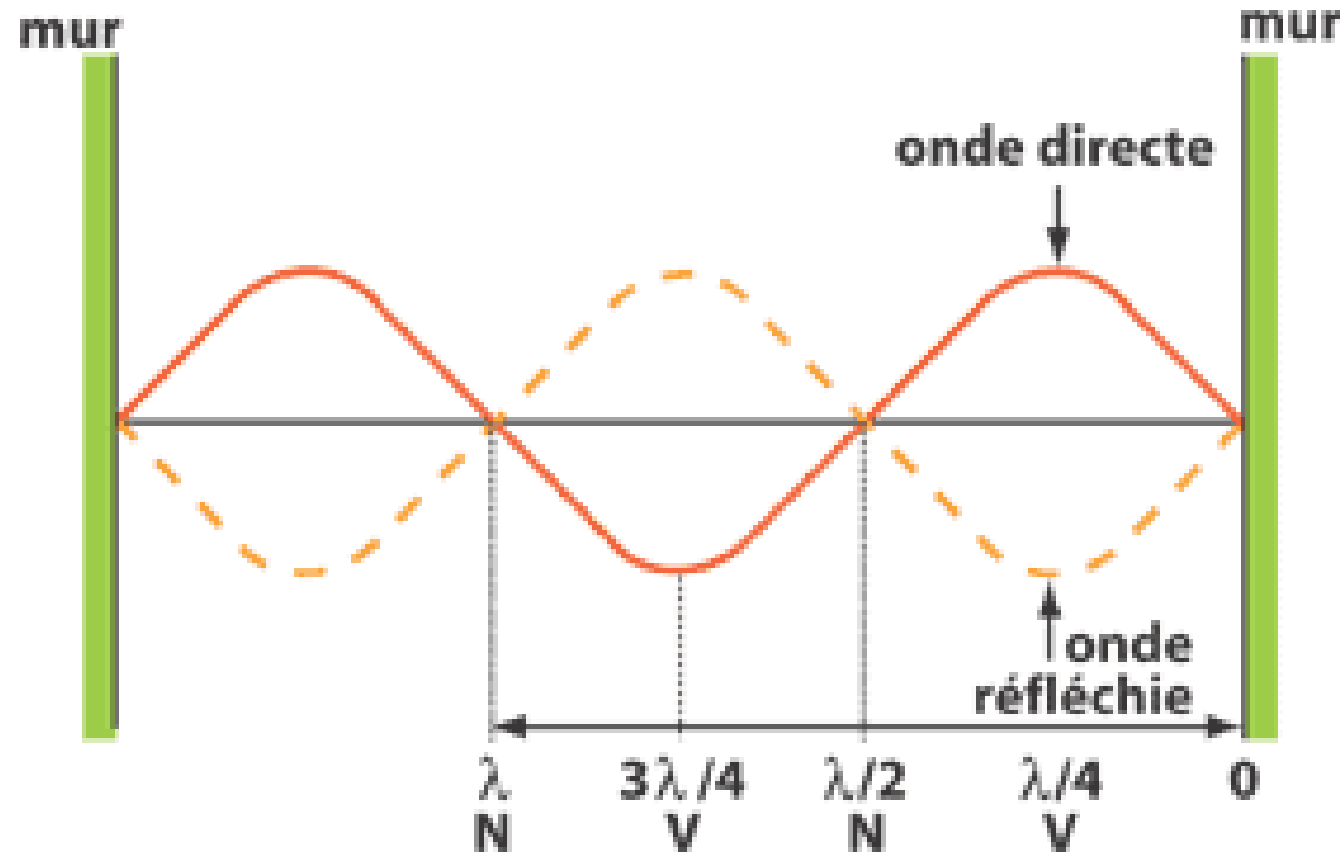
Les termes spatial et temporel sont découplés : **ce n'est plus une équation de propagation**. La vibration est donc stationnaire (elle ne se déplace pas) mais l'amplitude varie dans l'espace.

Formation d'ondes stationnaires

Les ondes stationnaires peuvent être formées en agitant une corde attachée à un mur aux bonnes fréquences. Ce sont aussi elles que l'on retrouve dans un four à micro-ondes, le long des cordes d'une guitare, dans les tuyaux des instruments à vent...

Il existe des points de vibration nulle : les **nœuds**. Il existe aussi des points de vibration maximale : les **ventres**.

Propriétés



La distance entre deux nœuds ou deux ventres successifs est de $\lambda/2$ et la distance entre un ventre et un nœud successifs est de $\lambda/4$.

Condition d'onde stationnaire

Pour une onde stationnaire sur une longueur L avec des nœuds aux extrémités, L doit être un multiple de la distance séparant deux nœuds consécutifs : $L = n\lambda/2$ avec $n = 1, 2, 3, 4 \dots$

Les fréquences permettant d'avoir des ondes stationnaires sont donc fixées par la célérité (nature du milieu) et la longueur d'onde (longueur du milieu) : $v = c/\lambda = cn/(2L)$

Harmoniques et modes

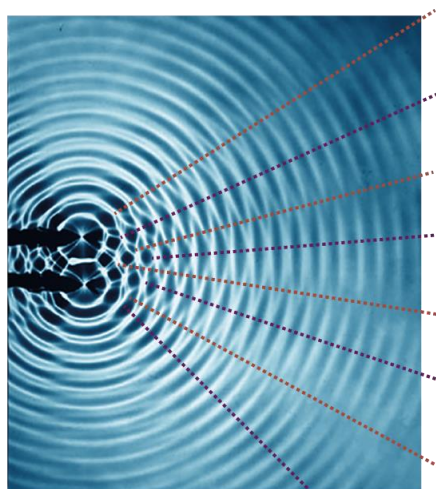
L'entier n définissant le nombre de ventres dans l'onde stationnaire s'appelle **mode** de l'onde. Les fréquences associées $\nu = cn/(2L)$ sont des multiples d'une fréquence $c/(2L)$ appelée **fondamentale**. Ces multiples sont nommées **harmoniques**. En musique, les harmoniques créées à partir de la fréquence fondamentale font entendre la même note, mais à des octaves plus hautes : les fréquences 220 Hz, 440 Hz et 880 Hz correspondent à un LA.

Exercices

TD2 : 3.1, 3.2

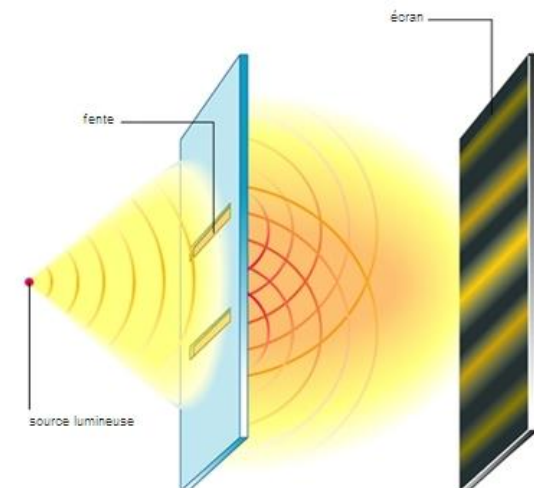
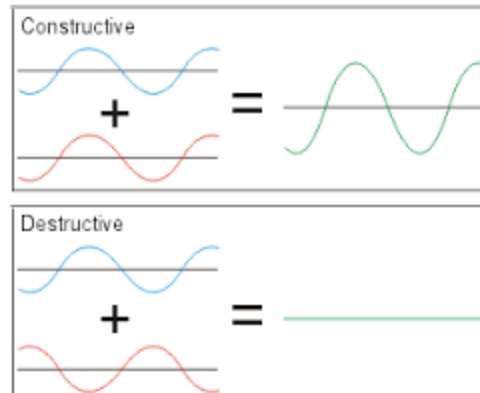
Phénomènes d'interférences

La superposition est une propriété très générale et importante des ondes, pas seulement dans le cadre des ondes stationnaires. Lorsque deux ondes de même nature se superposent, on parle d'**interférences**. Les interférences existent aussi bien pour les ondes mécaniques (son...) que pour les OEM (lumière, ondes radio...)



.....
lignes
d'interférences
constructives

.....
lignes
d'interférences
destructives



Diffraction

On vient de constater une autre caractéristique fondamentale des ondes : au passage entre des obstacles (trou, fente, ouverture...) l'onde est comme ré-émise, c'est la **diffraction**.



La diffraction, comme les interférences, s'observe pour les ondes mécaniques et électromagnétiques mais également pour les objets quantiques. C'est un phénomène du quotidien.