

# Chapitre VII

ONDES-PHENOMENES DE  
PROPAGATION

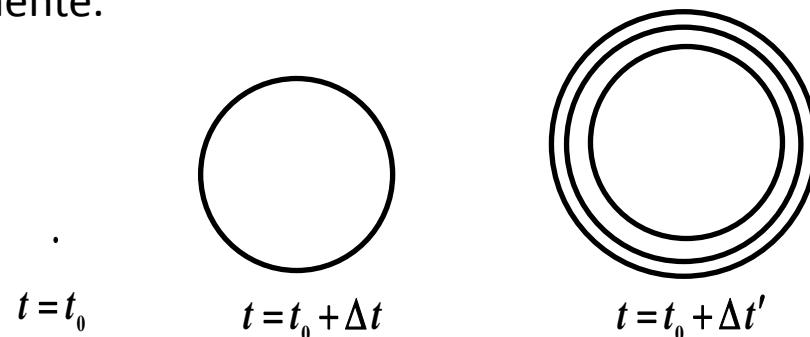


**Par A.DIB**

# I - Définition d'onde.

Nous avons vu que les particules peuvent se déplacer ou se propager d'un point à un autre, Mais les particules ne sont pas les seules choses à pouvoir se propager dans l'espace.

Lorsqu'on jette un caillou dans une mare d'eau, on voit apparaître des rides à la surface de l'eau: Ces rides prennent naissance au point où est tombé le caillou et s'éloignent sous forme d'un cercle dont le rayon augmente.



**Mais seules les rides se propagent, l'eau de la mare ne se déplace pas avec les rides, elle seule soumise à une agitation verticale lorsqu'elle est atteinte par les rides .**

La perturbation se déplace sans qu'il y ait transport matière: on peut s'en rendre compte si on observe un bouchon ou tout autre objet frottant à la surface de l'eau; le bouchon est secoué au moment où les rides l'atteignent mais n'est pas entraîné.

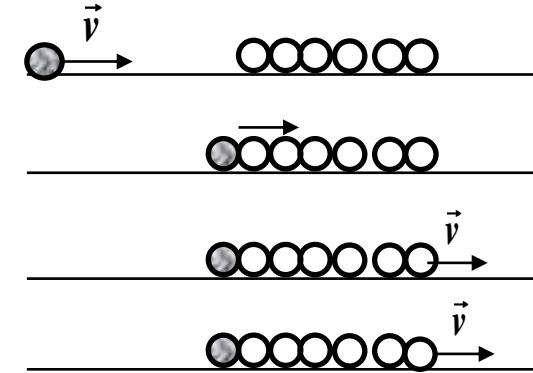
On appelle onde une perturbation de cette sorte.

Dans l'exemple précédent l'onde se déplace dans un milieu matériel (l'eau). Elle peut se propager sur de grandes distances mais une fois la perturbation passée, chaque goutte d'eau reprend sa place.

Certaines ondes sont **périodiques**. D'autres sont de courte durée: on parle de **pulsation** (une déformation sur **un ressort**).

Quelques billes immobiles sont alignées de façon à se toucher. Une bille vient frapper la première de la rangée, elle provoque le départ de la dernière.

Il y a donc eu transmission de l'énergie de la première bille à la dernière bille sans que l'ensemble des billes se soit déplacé.



Le son est une perturbation qui se déplace dans l'air.

une perturbation qui se déplace. On peut donc déterminer la vitesse avec laquelle se déplace la perturbation c'est la **vitesse de propagation de l'onde**.

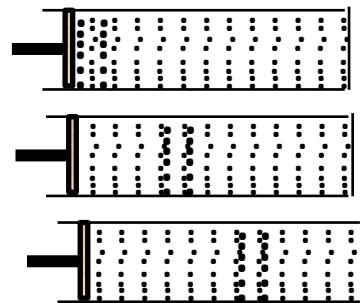
Si le milieu est déformé lors du passage de la perturbation, on peut aussi définir la vitesse avec laquelle se déplace le milieu(mouvement de va et vient): cette vitesse de déplacement du milieu, si elle existe est différente de la vitesse de propagation de l'onde.

## **II –Onde transversale et longitudinal.**

Une onde telle que le milieu se déplace perpendiculairement à la direction de propagation de l'onde est une transversale lorsque les deux directions sont parallèles, l'onde est longitudinal. La nature de l'onde dépend du mode d'excitation. Quant on secoue l'extrémité d'un ressort horizontal de haut en bas on crée une onde transversale.

Quant on comprime quelque spires d'un ressort on crée une onde transversale

De même que si on comprime brusquement l'air dans un cylindre, on crée une onde longitudinale: La surpression créée au voisinage du piston se propage de point en point; Les petits déplacements des molécules de gaz qui servent de support matériel au transport de l'onde s'effectuent dans la direction de propagation de l'onde.



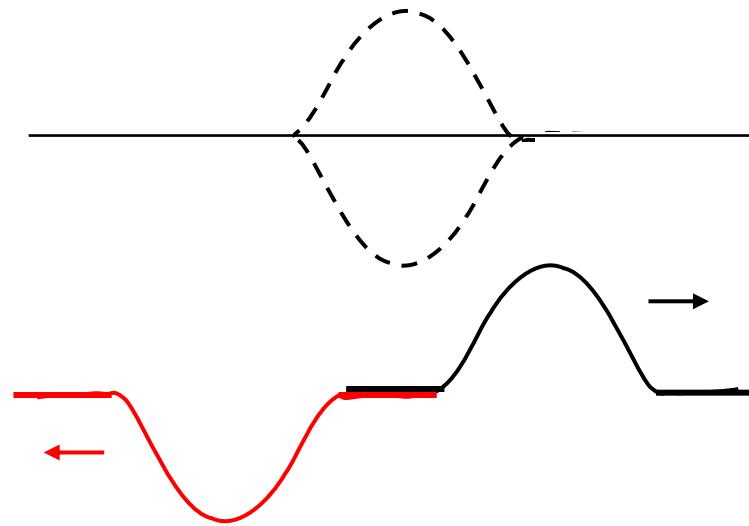
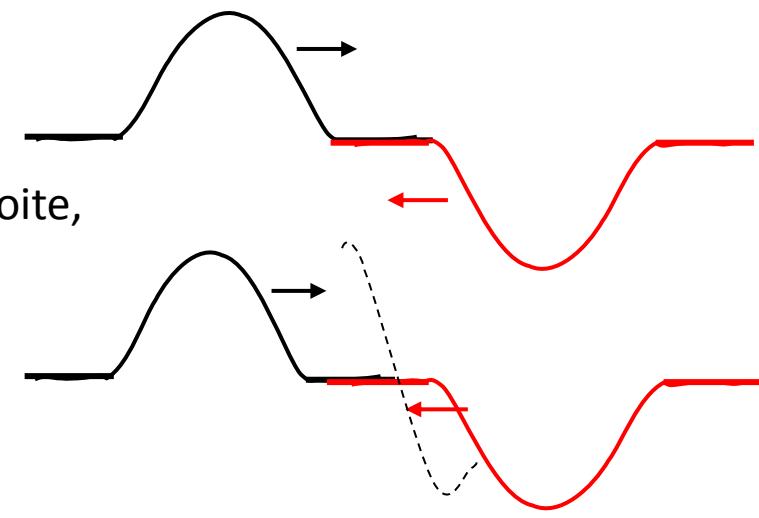
### III -Superposition.

Nous avons vu le comportement d'une pulsation sur un ressort. Que se passe-t-il si deux pulsations se déplacent en sens inverse? Vont elles se croiser sans altération, se réfléchir l'une sur l'autre?

Lorsque elles se croisent, elles se combinent pour former des figures très compliquées, mais après le croisement elles retrouvent leurs configurations originelles et se déplacent comme si rien ne s'était produit ainsi, comme l'indique la figure. Nous pouvons réaliser cette expérience en utilisant des pulsations différentes, nous obtenons toujours le même résultat général.

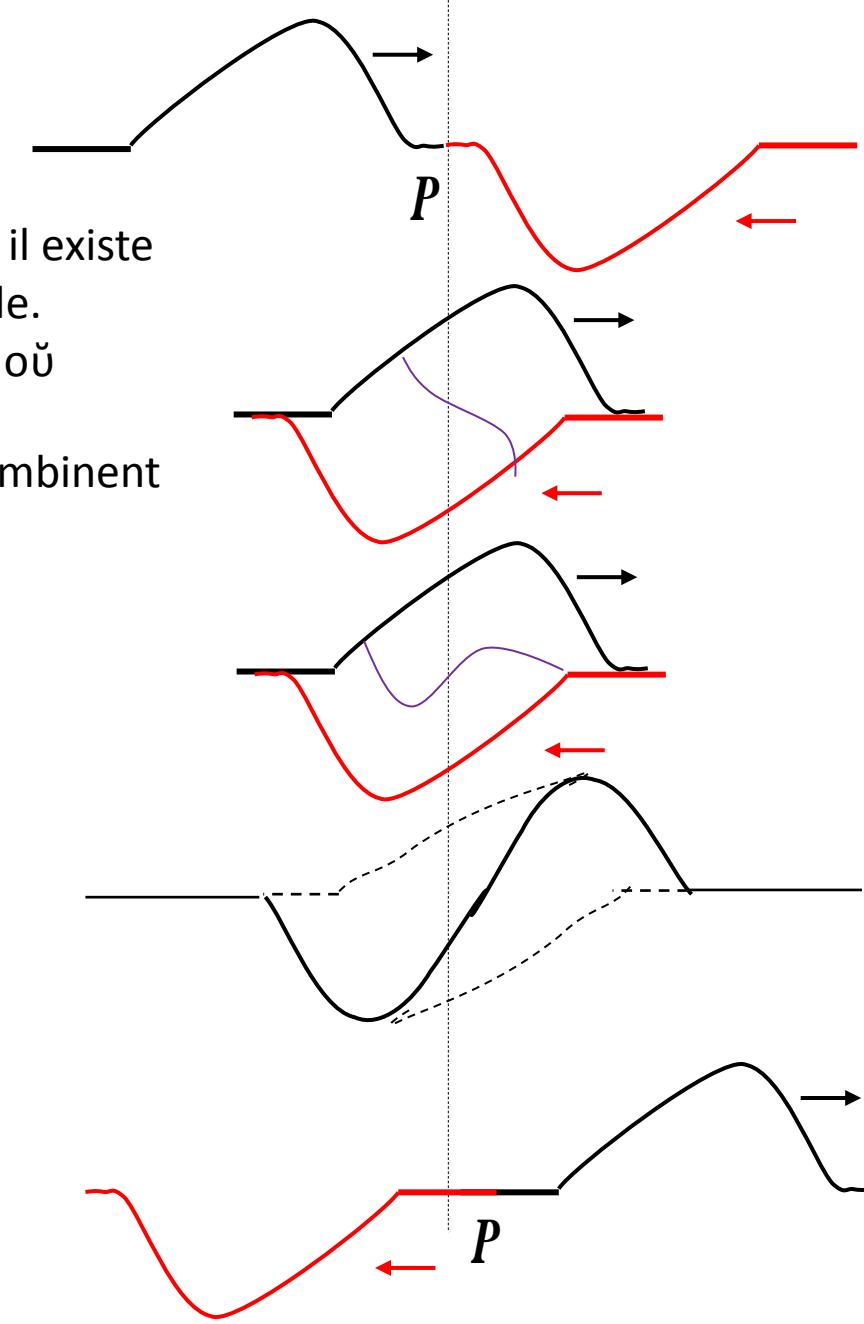
## Cas particuliers

1°) Considérons la superposition de deux pulsations symétriques (ayant la même forme). L'une déplace les points du ressorts vers le haut et se déplace vers la droite, l'autre déplace les points du ressorts vers le bas et se déplace vers la gauche.



2°) Considérons maintenant deux pulsations semblables (symétriques l'une de l'autre par rapport à un point P mais non de forme symétrique).

Elles ne s'annule jamais totalement l'une l'autre, mais il existe un point P du ressort qui reste constamment immobile. Ce point se trouve exactement au milieu des endroits où se trouve à chaque instant les deux pulsations. Lorsque les deux pulsations se rencontrent elles se combinent au point de tel sorte que ce point reste au repos.



# IV – réflexion et transmission d'une onde sur un ressort.

## 1. Reflexion.

Une pulsation qui arrivent à l'extremite d'un ressort solidement fixé, repart en sens inverse.

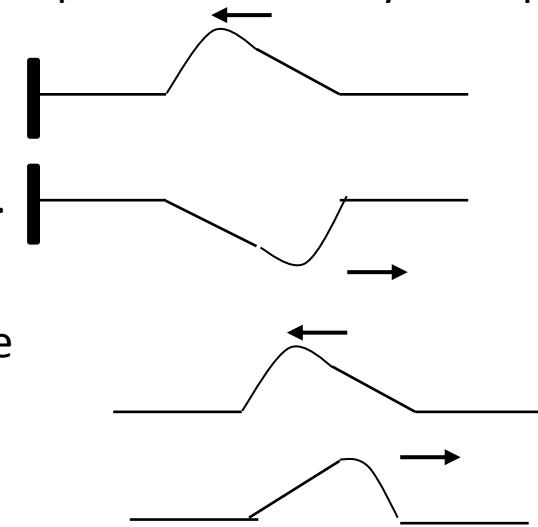
La pulsation reflechie est opposée à la pulsation incidente (les deux pulsations sont symétriques l'une de l'autre par rapport à un point).

Connaissant le Principe de superposition et sachant que

l'extrémité du ressort est fixe, on peut expliquer que l'onde

Réfléchie arrive au point o telle que le déplacement réel soit nul.

On obtient alors la forme de " l'onde réfléchie.



Si l'extrémité du ressort est libre la pulsation réfléchie est de même sens que l'incidente (les pulsations sont symétriques par rapport à un plan perpendiculaire à la direction de propagation).

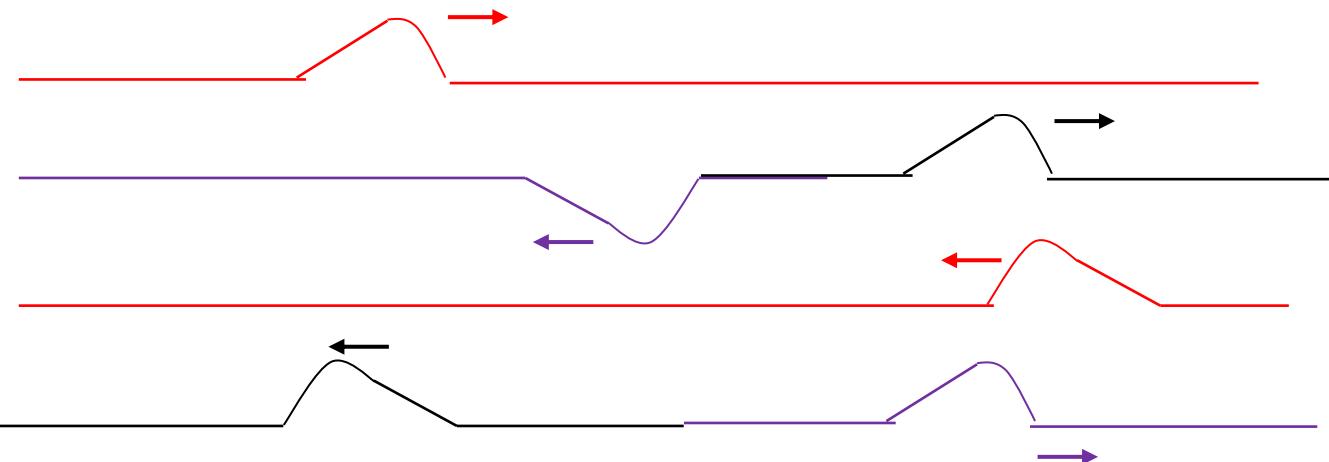
## 2. transmission .

Si l'extrémité du ressort on fixe un second ressort de cconstanté d'élasticité différente on observe à la fois une onde de réfléchie et un onde trasmise.

Lorsque un ressort Léger est fixé à un ressort lourd, on observe une **réfléchie avec changement de signe** si l'onde incidente va du ressort léger vers lourd, et si une **réfléchie sans de signe** si elle va du lourd vers le léger.

Léger au lourd **réfléchie avec changement de signe**

lourd au Léger **réfléchie sans changement de signe**

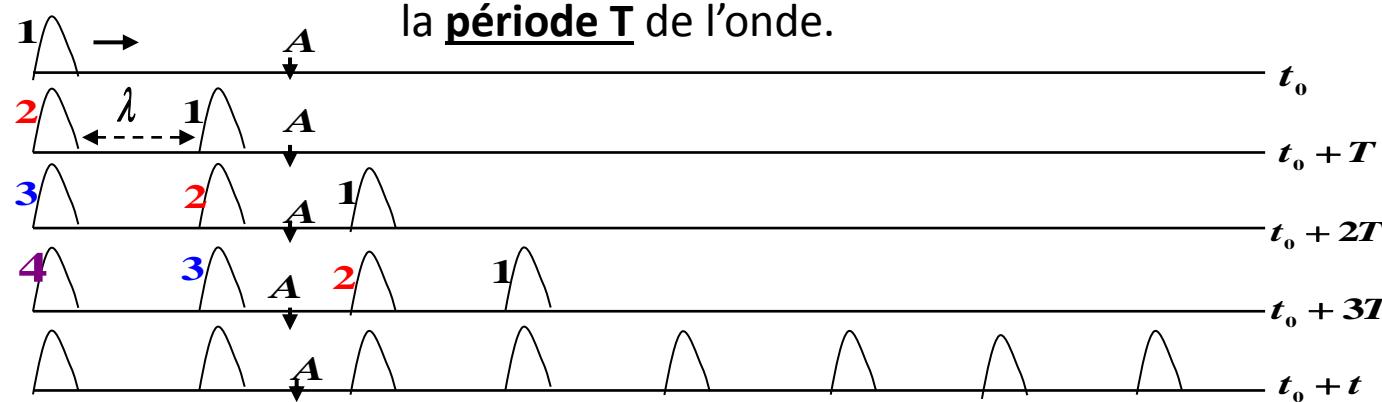


On peut encore noter sur les documents l'onde se déplace plus vite sur le ressort léger. D'une manière générale la vitesse de propagation d'une onde dépend du milieu.

## V – onde périodique sur une corde ou un ressort infiniment long.

Lorsqu'on crée périodiquement une pulsation à l'extrémité d'une corde très longue, on obtient une onde périodique, c'est-à-dire qu'à des intervalles de temps égaux, l'état de déformation est la même .

L'intervalle de temps qui sépare la création de deux impulsions successives est la période  $T$  de l'onde.



Chaque impulsion se déplacant à la vitesse  $v$ , parcourt pendant  $T$  une distance  $\lambda = vT$ , appelée longueur d'onde.

# V I – Ondes à la surface de l'eau.

Nous avons étudié la propagation des ondes à une dimension, la superposition de deux de ces onde, leur réflexion et leur transmission.

Nous allons étudier maintenant des ondes à deux dimensions.

Un exemple particulièrement parlant est celui des ondes à la surface de l'eau. On observe ces ondes en éclairant à la surface de l'eau et en regardant sur un écran placé au dessous du fond de la cuve en verre. Une crête fait apparaître une raie brillante, un creux et une zone sombre.

## 1. Ondes réctiligne et circulaire.

Désormais nous ne Considérons que ce que nous voyons sur l'écran en sachant que c'est l'image fidèle de ce qui se passe à la surface de l'eau.

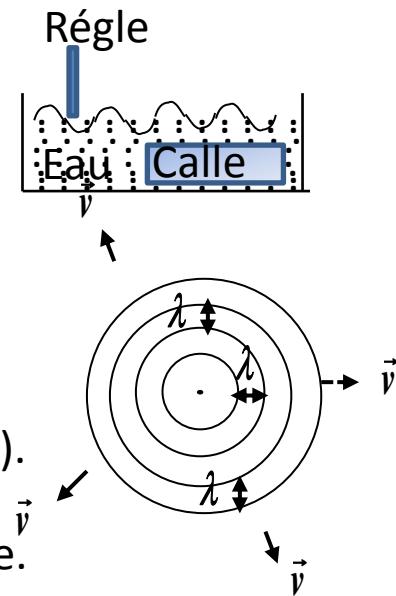
En plongeant une règle dans la cuve, on crée une onde rectiligne qui se propage dans la cuve.

En plongeant simplement un doigt dans l'eau, on crée une onde circulaire dont le rayon augmente avec le temps.

## 2. Ondes périodiques.

Ces deux ondes rectiligne et circulaire, peuvent être créées périodiquement (par exemple en trempant périodiquement la règle ou le doigt dans la cuve).

On pourra aussi faire varier les vitesses des ondes dans la cuve en surélevant le fond en certains endroits. Plus l'eau est profonde plus la vitesse est grande.

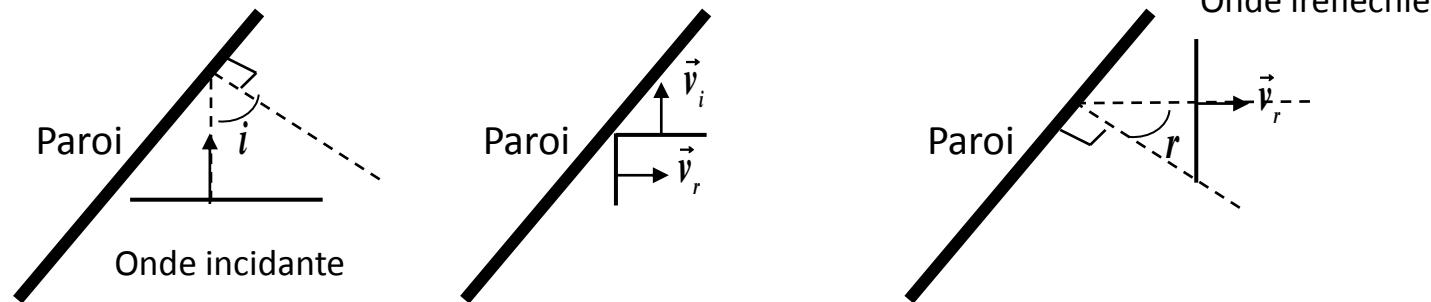


# V II – Réflexion et réfraction dans une cuve d'eau.

## 1. Réflexion .

Si on considère une onde rectiligne se dirigeant vers une paroi avec une direction incidente faisant un angle  $i$  avec la normale de cette paroi (angle d'incidence), elle se réfléchie avec une vitesse dont la direction fait un angle  $r$  avec la normale à la paroi.

Expérimentalement, on observe que  $i=r$ . On voit qu'une onde se réfléchit sur un obstacle avec un angle d'incidence égal à l'angle de réflexion.

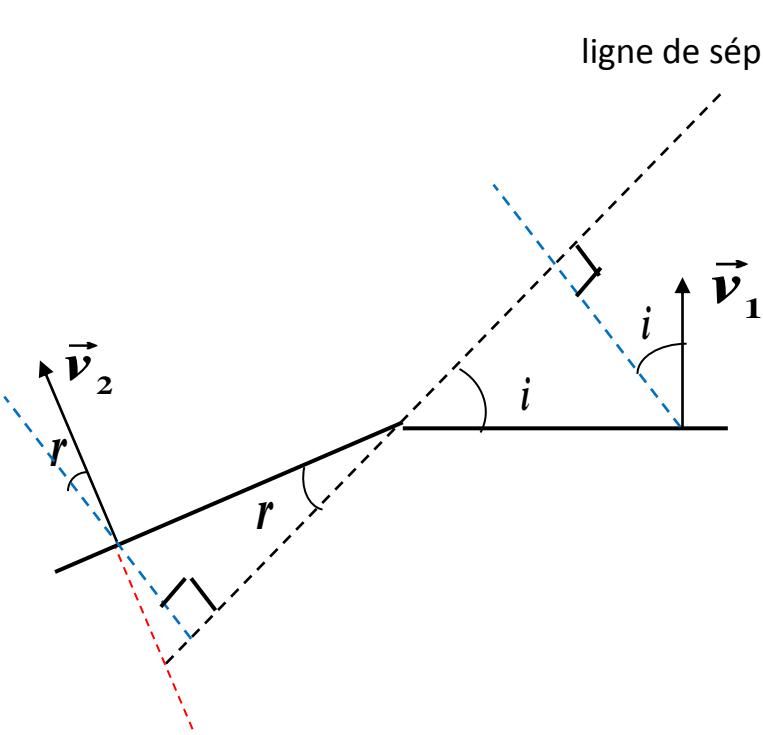


## 2. réfraction.

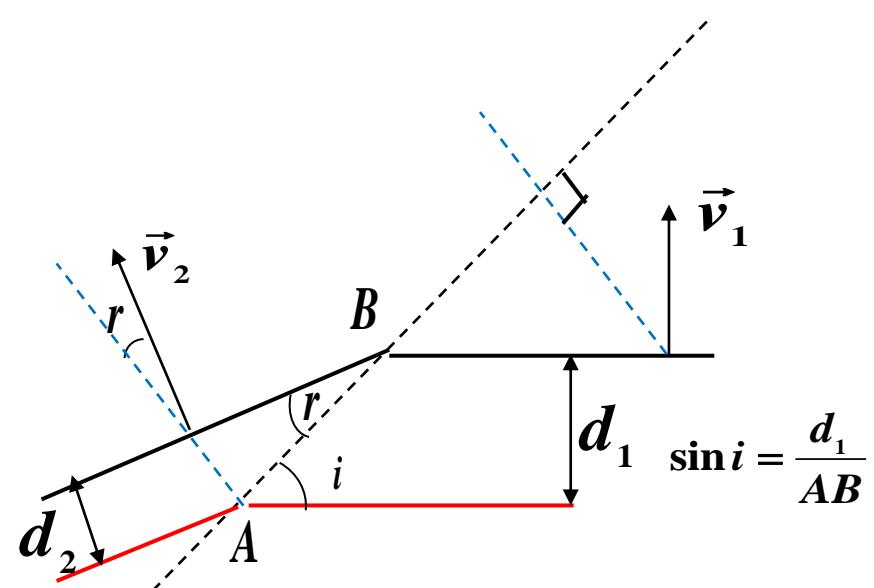
Si on envoie une onde d'un milieu à un autre (par exemple dans une cuve à eau en faisant varier la profondeur de l'eau par une calle ), la direction de l'onde change.

La direction  $v_1$  , vitesse de l'onde incidente, fait avec la normale à la ligne de séparation entre les deux milieux, un angle  $i$  L'angle  $r$  entre  $v_2$  , vitesse de l'onde réfractée, et la normale.

ligne de séparation



$$\sin r = \frac{d_2}{AB}$$



$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{v_1 \Delta t}{v_2 \Delta t} = \frac{v_1}{v_2}$$

Le rapport des sinus ne dépend que des milieux. Cette loi est en tout point identique à la loi de DECARTES (plus la vitesse est faible plus l'angle avec la normale est petit).

Comme en optique en plus de l'onde réfractée, on peut observer une onde réfléchie. L'onde incidente est donc en partie transmise et en partie réfléchie.

# Chapitre VIII

INTERFERENCES

# I - Introduction.

Nous allons généraliser ce phénomène au cas où l'on crée des ondes périodiques sur une Corde dont l'extrémité est fixe.

L' onde réfléchie à l'extrémité de la corde croise l'onde incidente. Ces deux ondes sont symétriques l'une de l'autre. Considérons les pulsations 1,2,3.. De l'onde incidente se dirigeant vers l'extrémité fixe de la corde.

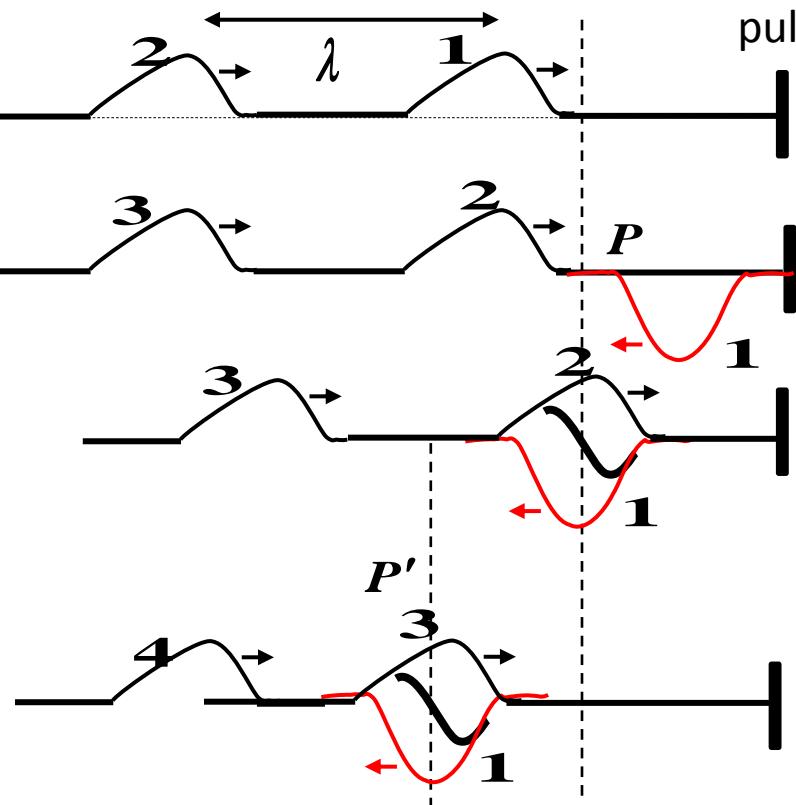
Après s'être réfléchie, la pulsation 1 va à la rencontre de la pulsation 2 incidente et 1 et 2 vont se croiser au point P .

Ce point P n'est pas déplacé: la superposition de 1 et 2 donne toujours un déplacement total réel égal à zéro au point P.

Les deux pulsations 1 et 2 étant séparées par une longueur  $\lambda$ , le point P se trouve à une distance  $\lambda/2$  de l'extrémité fixe de la corde.

La pulsation 1 croise la pulsation 3 au point P' ce point n'est pas déplacé. Puis 2 et 3 se croisent en P, et 2 et 4 en P' ...etc.

On voit ainsi apparaître des points P, P' ...dont le déplacement est toujours nul.



Ce sont des nœuds, ou points nodaux: points jamais déplacés une fois que l'onde périodique est établie. Les nœuds sont séparés par une distance  $\lambda/2$ , ce phénomène est appelé interférence.

## II – Onde stationnaire sur une corde.

Si on agite périodiquement l'extrémité libre d'une corde dont l'autre extrémité est fixe, ou si on déforme périodiquement une corde attachée aux deux extrémités en un point quelconque, on engendre des ondes périodiques qui vont se diriger des deux cotés, se réfléchir aux extrémités, revenir et effectuer un va et vient continu.

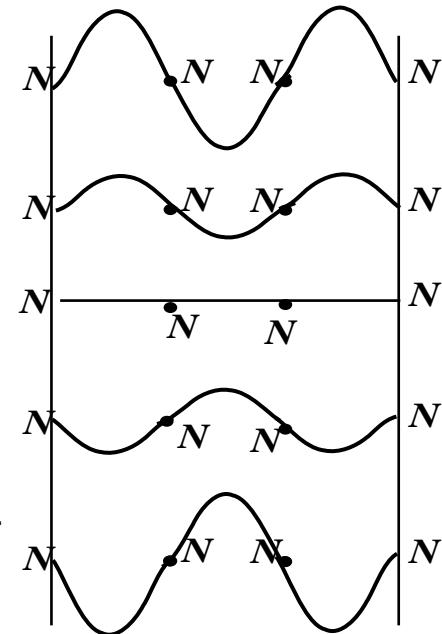
On observe expérimentalement que la situation se stabilise à certaines fréquences d'excitations telle que la longueur de la corde soit un multiple de la moitié de la longueur d'onde.

La vitesse  $v$  est déterminée par la corde,  $\lambda$  est ajusté en faisant varier la période  $T$  d'excitations, de telle manière que la longueur de la corde  $L=p \lambda/2$ .

On observe alors que certains points  $N$  ont un déplacement constamment Nul (nœuds) . Au contraire, certains points ont un déplacement maximum (amplitude) supérieur à l'amplitude de tous les autres points. On les appelle des ventres. Les extrémités de la corde ici sont des nœuds ( $N$ ).

L'existence de points à déplacement nul et qui reste fixe justifie l'appellation d'onde stationnaire, par opposition aux ondes qui se propagent dans une direction et où les points de déplacement se propage à la vitesse  $v$  (onde progressives).

Le fait fondamental qu'il faut noter, ces ondes ne peuvent exister que pour certaines fréquences bien déterminées.



### III – Interférence à la surface de l'eau.

Imaginons deux sources ponctuelles créant des ondes circulaires à la surface de la cuve à onde. Nous supposons que leur distance  $d$  est constante et de plus qu'elles plongent à la même fréquence et en même temps dans l'eau. Nous dirons qu'elles agissent en phase (une crête est créée au même moment par l'une et l'autre source). Que se passe-t-il lorsque les deux sources agissent simultanément?

#### 1. Forme des lignes nodales.

On observe que lorsqu'on s'éloigne des sources, les lignes nodales deviennent rapidement des droites. Par ailleurs, leurs nombre décroît lorsque  $\lambda$  décroît.

Pour mieux décrire les lignes nodales nous allons les identifier.

Nous constatons d'abord que la médiatrice du segment qui joint les deux sources est un axe symétrique (dans particulier envisagé où les deux sources ont même phase et même période).

Nous n'envisageons que ce qui se passe d'un côté de cet axe à droite par exemple.

Si  $P$  est un point de la première ligne nodale rencontrée on a par construction:  $PS_1 - PS_2 = 1/2(\lambda)$

Si  $P$  est la deuxième ligne nodale:  $PS_1 - PS_2 = 3/2(\lambda)$

Et plus généralement:  $PS_1 - PS_2 = (n - 1/2)(\lambda)$

#### 2. Mesure des longueurs d'onde à partir des lignes nodales.

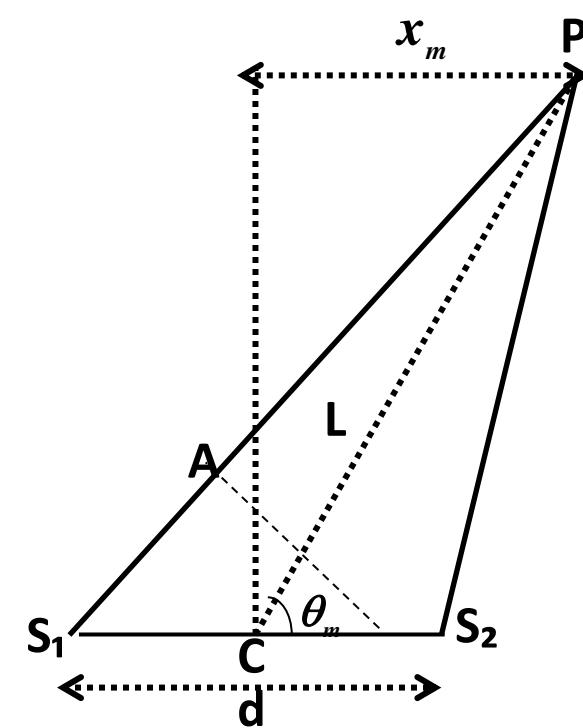
Prenons un point  $P$  très loin sur la  $n^{\text{ème}}$  ligne nodale tel que  $PS_1$  et  $PS_2$  soient presque parallèles. Appelons  $\theta_m$  l'angle entre la médiatrice de  $S_1S_2$  et la direction de  $P$ .

$$\text{On a: } \frac{\mathbf{P}S_1}{d} = \sin \theta_m$$

$$\text{Or: } \mathbf{A}S_1 \neq \mathbf{P}S_1 - \mathbf{p}S_2 = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$\text{donc: } \sin \theta_m = \left(n - \frac{1}{2}\right) \left[\frac{\lambda}{2}\right]$$

$$\text{Si } L \text{ est la distance CP, on a aussi: } \sin \theta_m = \frac{x_m}{L} \quad \text{De ces deux relations, on tire: } \lambda = \frac{d \cdot \left(\frac{x_m}{L}\right)}{\left(n - \frac{1}{2}\right)}$$



On calcule ainsi, facilement  $\lambda$  en mesurant  $d$ ,  $x_m$ ,  $L$  et  $n$  qui sont des grandeurs facilement accessibles parce que fixes sur la figure d'interférence (alors que la longueur d'onde est difficile à mesurer directement par ce que les ondes se déplacent sans arrêt et qu'il faudrait mesurer  $\lambda$  "au vol")

Nous avons donc là, grâce à la figure d'interférence, la possibilité d'observer les lignes nodales: pour que l'observation soit possible il faut évidemment que  $(\lambda/d)$  ne soit pas trop faible, donc  $\lambda$  soit du même ordre de grandeur que  $d$ . de plus, pour un même  $\lambda$ , plus  $d$  sera petit et plus l'angle  $\theta$  sera grand.

## IV – Phase.

Nous avons supposé dans le cas précédent que la phase été la même, c'est à dire les crêtes, par exemple été créées simultanément.

Supposons maintenant que la période étant la même pour les deux sources, la phase varie.

Dans ce cas, la source  $S_2$  créera une crête à un instant  $pT$  ( $T$  période) après que  $S_1$  en ait créé une. Si  $p=1$ , nous sommes à nouveau dans le cas où deux crêtes sont produites simultanément:  $p=1$  identique à  $p=0$ . La valeur de  $p$  doit donc être comprise entre 0 et 1. Toute valeur de  $p$  peut se ramener à une valeur  $0 \leq p \leq 1$ .

Prenons  $p=1/2$ . Alors sur la médiatrice de  $S_1S_2$  apparaîtront à tout instant, simultanément, une crête et un creux, ou plus généralement, deux déplacements de signe opposé. La médiatrice devient une ligne nodale.

On peut construire les autres lignes nodales de la même manière que précédemment ; on s'apercevra qu'elles sont toutes déplacées par rapport à la première figure.

Pour la  $n^{\text{ème}}$  ligne nodale on aura:  $PS_1 - PS_2 = (p+1-1/2)(\lambda)$

$$\text{avec: } \sin\theta_m = (p+1-1/2)(\lambda/d)$$

Si  $S_2$  est retardée, les lignes nodales se déplacent en tournant vers  $S_2$ .

Si au contraire,  $S_1$  est retardée, les lignes nodales se déplaceront dans l'autre sens.

Disons pour conclure, que lorsque la distance entre les deux sources est constante et que l'on produit des ondes de longueur d'onde déterminée la figure d'interférence dépend de la différence de phase entre les deux sources.

Par conséquent, pour obtenir une figure d'interférence permanente, il faut que la différence de phase reste constante.