

# Pour commencer

---



Comment le son est-il émis par les instruments ? Comment se propage-t-il jusqu'à vos oreilles ? Comment expliquer que les sons des différents instruments ne sont pas perçus de la même manière par les spectateurs ? Quel est le danger lors d'un concert ? Comment atténuer le bruit ?



Partie 1 : intensité sonore, niveau sonore, atténuation



La formation des ondes circulaires à l'entrée du port est un phénomène général appelé diffraction d'une onde. Quel est l'effet de l'obstacle sur la propagation de l'onde ? A quelle condition une onde sera-t-elle diffractée ?



## Partie 2: diffraction

Les photographies aériennes ci-dessous (le port de San Sébastien à marée haute puis celui de Saint-Jean-de-Luz, en France) font apparaître un phénomène appelé interférence. Qu'est-ce que le phénomène d'interférences?



## Partie 3: interférences

# LES PHÉNOMÈNES ONDULATOIRES

## LE COURS

### Partie 1 : INTENSITÉ DES ONDES ACOUSTIQUES

(en lien avec le TP 2 : atténuation du niveau sonore)

#### Intensité sonore

L'**intensité sonore**  $I$  ( $\text{W.m}^{-2}$ ) est la puissance transportée par l'onde (en W) par unité de surface (en  $\text{m}^2$ ).

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

#### Niveau d'intensité sonore

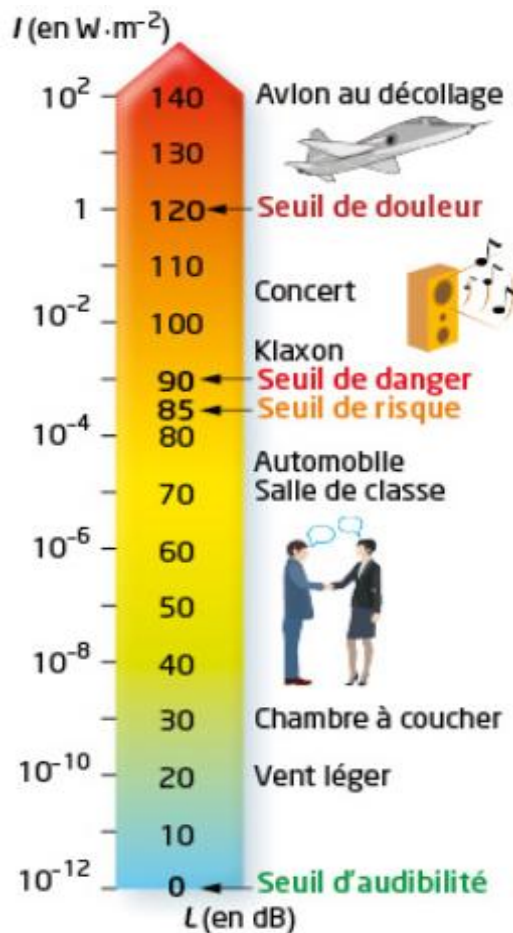
L'oreille humaine est sensible aux signaux sonores d'intensité sonore minimale  $I_0 = 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$  (seuil d'audibilité). La valeur d'intensité sonore pour atteindre le seuil de douleur est  $1 \text{ W.m}^{-2}$ .

De part la forte amplitude de ces valeurs, on définit le **niveau**

**d'intensité sonore**  $L$  par :

$$L = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

$L$  s'exprime en décibel (dB) et  $I$  et  $I_0$  en  $\text{W.m}^{-2}$



Remarque : doubler l'intensité acoustique  $I$  ne double pas le niveau sonore  $L$  mais lui ajoute 3 dB. Il y a cohérence avec le fait que la perception de l'oreille n'est pas linéaire : deux instruments jouant la même chose ne sont pas perçus deux fois plus forts qu'un seul.

On note  $L$  le niveau d'intensité sonore perçu par le récepteur et  $L'$  celui perçu lorsque l'intensité sonore double.

$$L' = 10 \log\left(\frac{2I}{I_0}\right)$$

$$L' = 10 \left( \log(2) + \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \right)$$

$$L' = L + 10 \log(2)$$

$$L' = L + 3 \text{ dB}$$

À chaque fois qu'un son double en intensité, le niveau d'intensité sonore perçu augmente de 3 dB.

## RAPPELS DE MATHÉMATIQUES :

$$\log(1)=0$$

$$\log\left(\frac{x}{y}\right) = \log(x) - \log(y)$$

$$\log(x^n) = n \cdot \log(x)$$

$$a^x = e^{x \ln(a)}$$

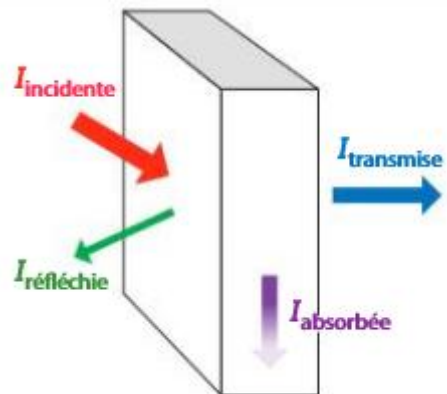
$$\log(x \cdot y) = \log(x) + \log(y)$$

$$\text{Si } \log(x) = a \text{ alors } x = 10^a$$

## Atténuation

Lorsqu'une onde sonore rencontre un matériau entre la source et le récepteur, une partie de l'énergie est transférée au milieu, une partie est absorbée et une partie est transmise. Ainsi l'intensité sonore reçue par le

récepteur a diminué. C'est **l'atténuation par absorption**.



Pour quantifier ce phénomène on définit l'**atténuation A** (en dB) .

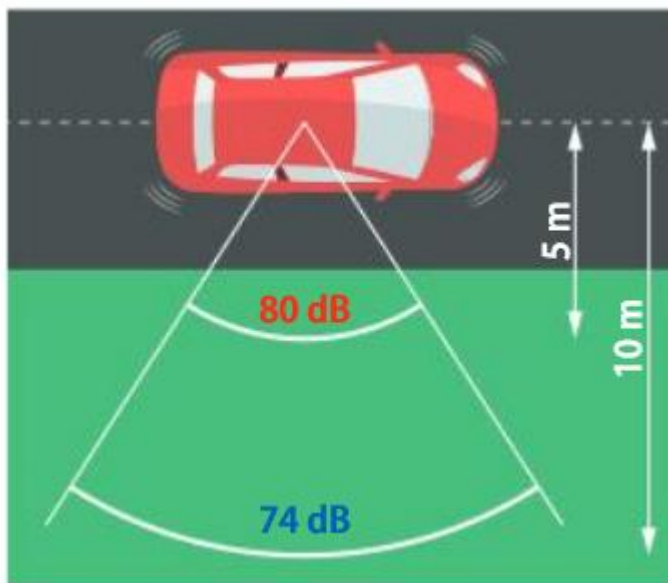
$$A = L_{\text{incident}} - L_{\text{transmis}} = 10 \log \left( \frac{I_{\text{incident}}}{I_{\text{transmis}}} \right)$$

Niveaux d'intensités sonores (en dB)    Intensités sonores (en  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

Au cours de la propagation, la puissance (énergie transportée par l'onde par unité de temps) se répartit sur une surface de plus en plus grande : l'intensité et le niveau d'intensité sonore décroissent lorsque la distance  $d$  à la source augmente. C'est **l'atténuation géométrique**.

$$A = L_{\text{proche}} - L_{\text{éloigné}} = 10 \log \left( \frac{I_{\text{proche}}}{I_{\text{éloigné}}} \right)$$

Exemple :



Quand la distance à la source est multipliée par 2, l'onde se répartit sur une surface  $2^2=4$  fois plus grande. Le niveau sonore diminue de  $A=6$  dB.

## Partie 2 : PHÉNOMÈNE DE DIFFRACTION

(en lien avec les TP 3 : le phénomène de diffraction et 4: application de la diffraction)

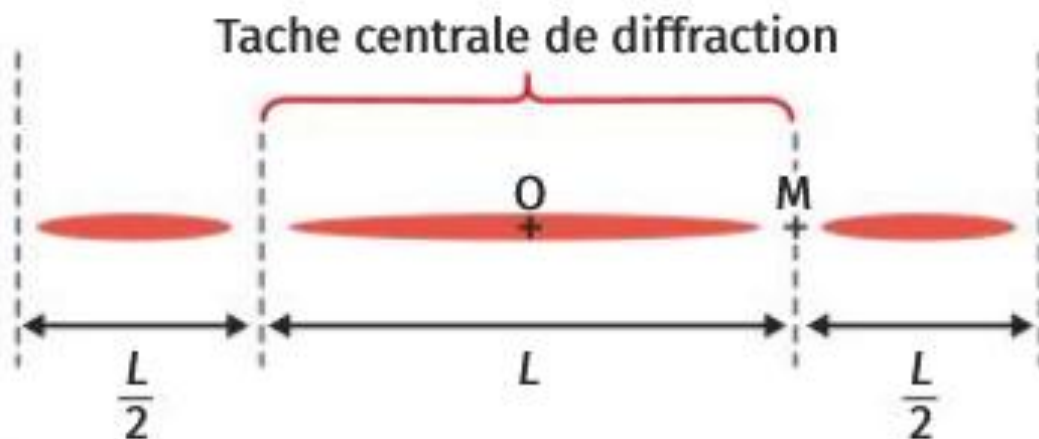
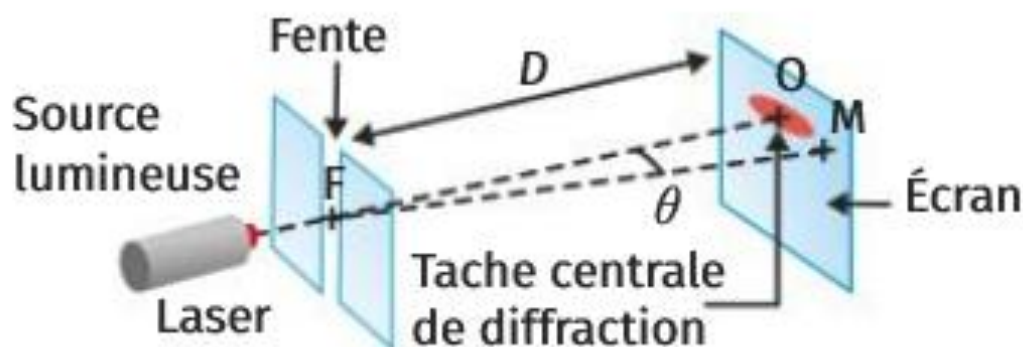
## Définition

Le phénomène de diffraction est le **changement de direction** de propagation d'une onde, électromagnétique ou mécanique, lorsqu'elle rencontre un obstacle.

### Exemples :

-Cas des ondes mécaniques : La houle peut être diffractée par une digue. Les ondes sonores peuvent être diffractées par les obstacles de la vie quotidienne.

-Cas des ondes lumineuses : diffraction d'une onde lumineuse monochromatique par une fente.



## Angle caractéristique et condition d'observations

On note:

- $a$  : largeur de la fente (en mètre)
- $L$  : distance séparant les milieux des deux premières extinctions (en mètre)
- $\theta$  : écart angulaire entre le milieu de la tache centrale de diffraction et le milieu de la première extinction (en radian)
- $D$  = distance entre la fente rectiligne et l'écran (en mètre)

L'angle caractéristique de diffraction  $\theta$  (en radian) vérifie la relation :

$$\theta = \frac{\lambda}{a} \quad \text{pour les petits angles}$$

On peut montrer que  $\theta = \frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D}$

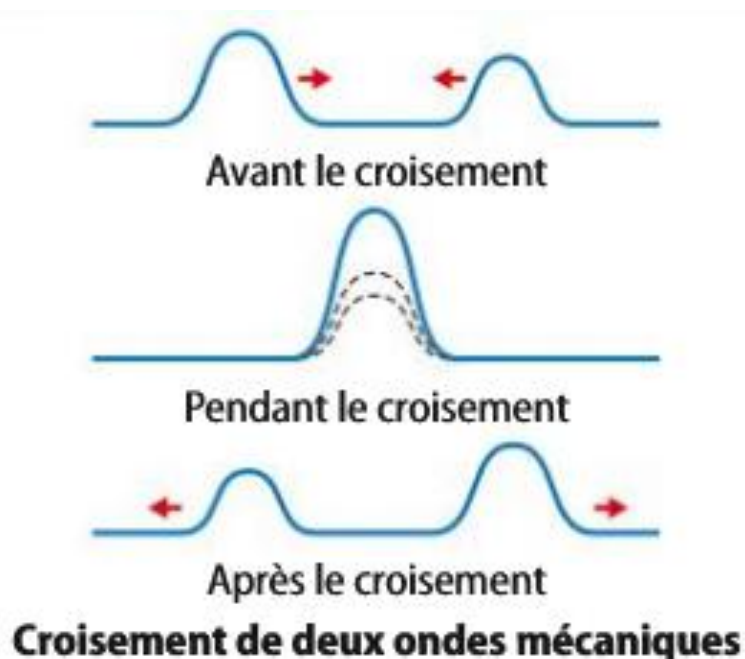
Le phénomène de diffraction est ainsi est d'autant plus marqué que la dimension de l'obstacle  $a$  (en m) est faible devant la longueur d'onde  $\lambda$  (en m) de l'onde incidente.

### Partie 3 : INTERFÉRENCES ENTRE DEUX ONDES

(en lien avec les TP 5 : établir et tester les conditions d'interférences à la surface de l'eau et 6 : exploiter l'expression de l'interfrange dans le cas d'interférences lumineuses )

#### Superposition d'ondes progressives et interférences

Deux ondes progressives de même nature peuvent se superposer. En chaque instant, l'amplitude de l'onde résultante est la somme des amplitudes des deux ondes.



Pour observer une variation stable de l'amplitude de l'onde résultante, il faut que les deux **ondes** de même nature proviennent de sources **synchrones** et **cohérentes** : c'est le phénomène d'interférences.

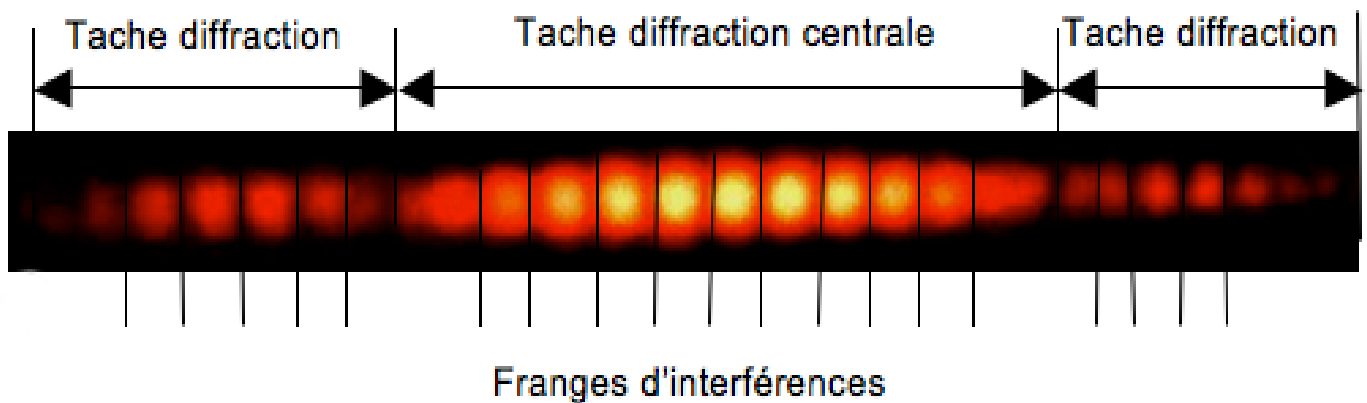
## IMPORTANT !

Deux sources sont dites **synchrones** si elles émettent des ondes de **même fréquence**.

On n'observe pas d'interférences si l'onde provient de sources indépendantes. Il faut par exemple éclairer deux sources secondaires (les fentes) avec de la lumière venant d'une source unique. Les sources secondaires sont alors dites **cohérentes**.

### Exemples :

- interférences des ondes issues de deux fentes fines éclairées par une même source monochromatique

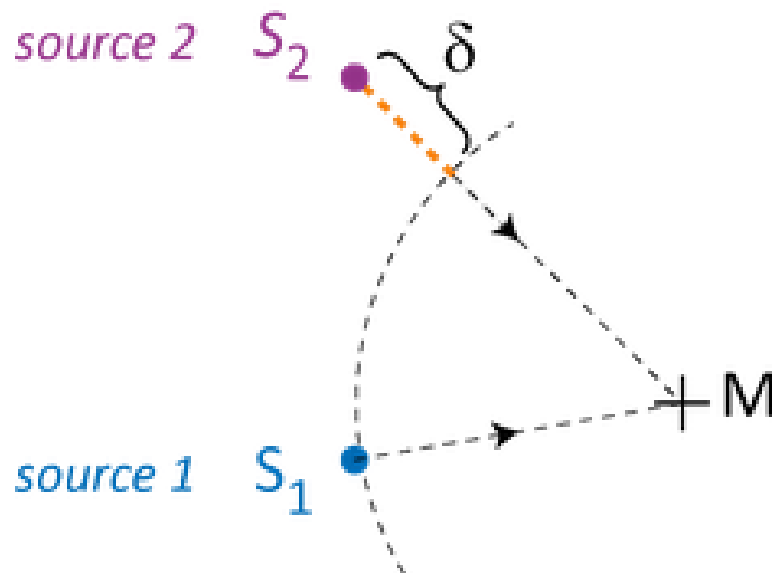


- interférences entre ondes mécaniques à la surface de l'eau.

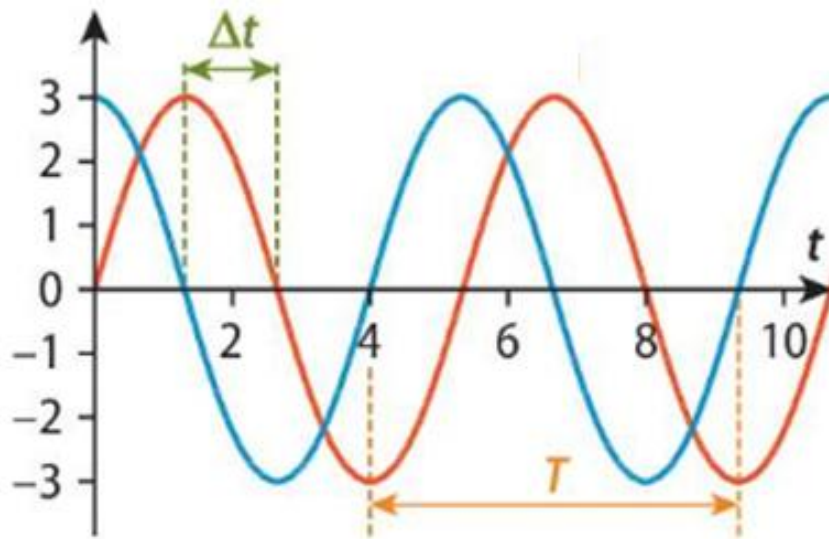


## Différence de marche. Interférences constructives et destructives.

Soit un point M de l'espace où les ondes issues de deux sources synchrones et cohérentes interfèrent.

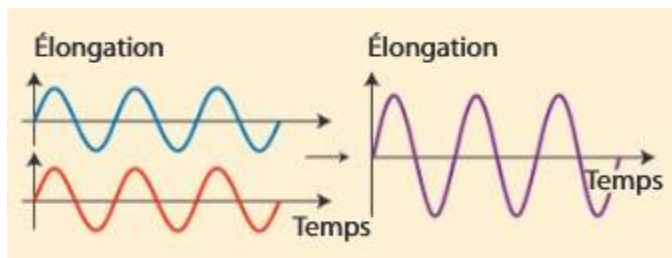


La différence de marche  $\delta$  en un point M est la différence de distances  $\delta = S_2M - S_1M = c\Delta t$  avec  $c$  = célérité de l'onde supposée constante et  $\Delta t$  = décalage temporel entre les ondes interférant en M.



Si  $\Delta t = kT$  avec  $k$  un entier relatif  $\{...; -3; -2; -1; 0; 1; 2; ...\}$ , les ondes sont en **phase**, les interférences sont **constructives**.

L'onde résultante est amplifiée.

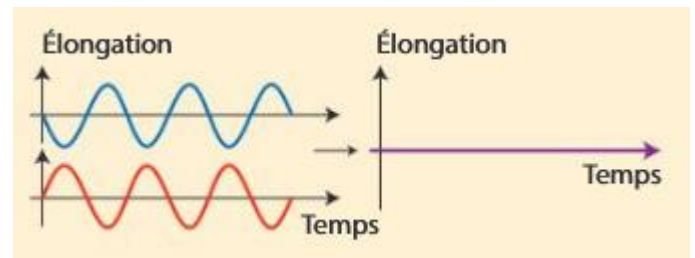


En multipliant par  $c$  :  $c\Delta t = c kT$   
soit  $\delta = k\lambda$

Exemples d'interférences constructives : zones lumineuses sur la figure d'interférences des fentes de Young, zones agitées à la surface de l'eau.

Si  $\Delta t = (k + \frac{1}{2})T$  avec  $k$  un entier relatif  $\{...; -3; -2; -1; 0; 1; 2; ...\}$ , les ondes sont en **opposition de phase**, les interférences sont **destructives**.

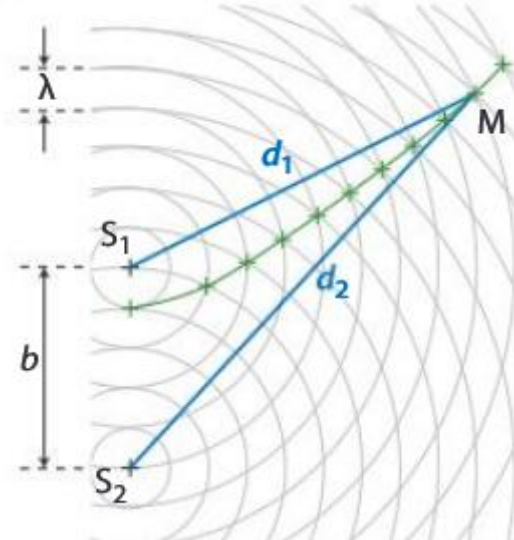
L'onde résultante est nulle.



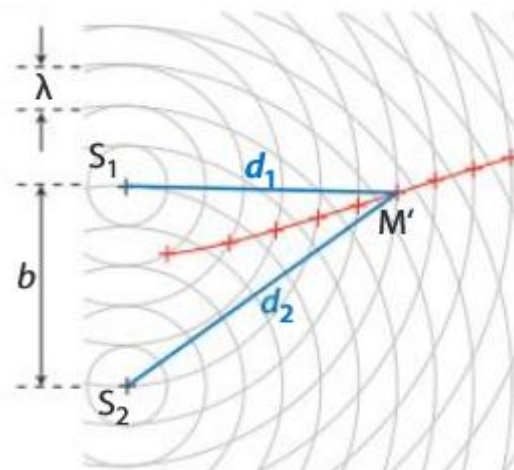
En multipliant par  $c$  :  $c\Delta t = c(k + \frac{1}{2})T$  soit  $\delta = (k + \frac{1}{2})\lambda$ .

Exemples d'interférences destructives : zones sombre sur la figure d'interférences des fentes de Young, zones d'absence de mouvement à la surface de l'eau

## Cas des interférences de deux ondes mécaniques à la surface de l'eau



Exemple : En  $M$  :  $S_1M = 10\lambda$   $S_2M = 13\lambda$ .  $\delta = S_2M - S_1M = 3\lambda$ .  
Les interférences sont constructives. Il en est de même par exemple des point marqués de + pour lesquels  $\delta = 3\lambda$



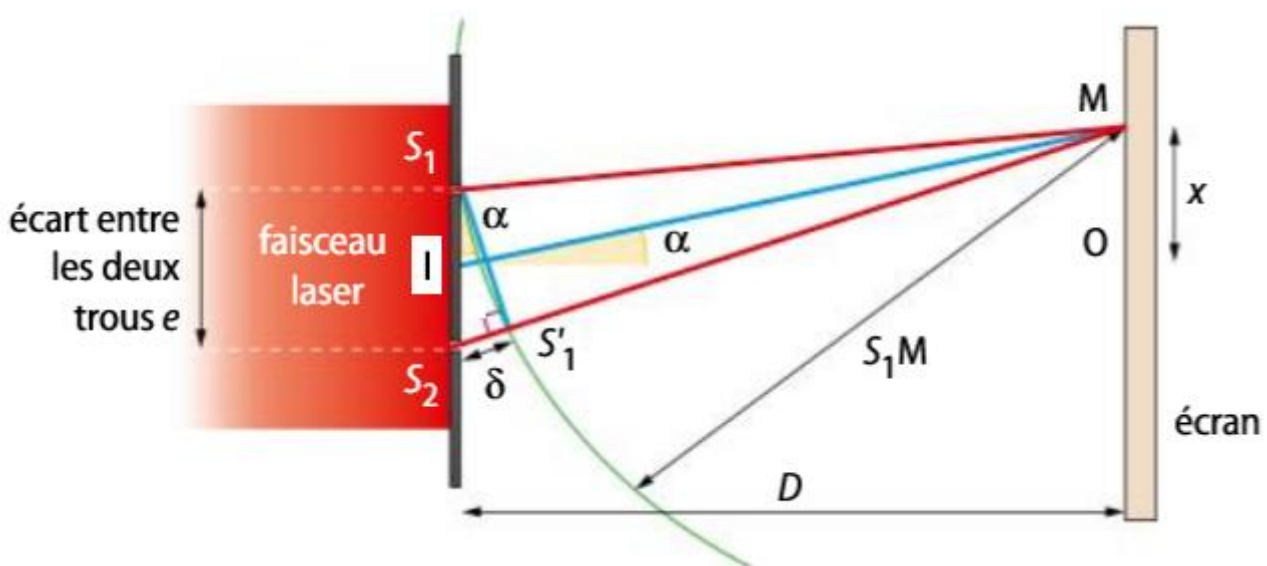
Exemple : En  $M'$  :  $S_1M' = 7\lambda$   $S_2M' = 8.5\lambda$ .  $\delta = S_2M' - S_1M' = 1.5\lambda$ .  
Les interférences sont destructives. Il en est de même par exemple des point marqués de + pour lesquels  $\delta = 1.5\lambda$ .

## Cas des interférences de deux ondes lumineuses

Expérience des trous d'Young : un faisceau laser de longueur d'onde  $\lambda$  éclaire deux trous distants d'un écart  $e$ . Ils se comportent comme deux sources synchrones et cohérentes notées  $S_1$  et  $S_2$ .

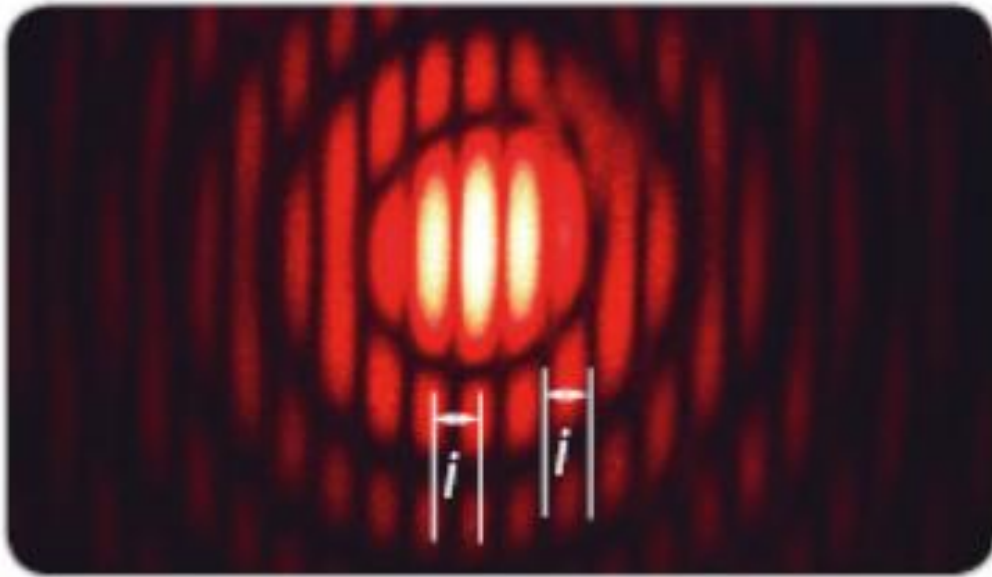
Remarque : On supposera les expériences sur la lumière faites dans l'air d'indice de réfraction  $n_{\text{air}}=1$ . La différence de marche  $\delta=S_2M-S_1M$  en un point  $M$  se confond alors avec la différence de chemin optique  $n_{\text{milieu}} S_2M - n_{\text{milieu}} S_1M = n_{\text{air}} \times \delta$

On montre que  $\delta = S_2S'_1 = \frac{ex}{D}$



Démonstration (hors programme) : On peut écrire dans le triangle IOM, pour des petits angles :  $\tan \alpha \approx \alpha = \frac{x}{D}$ . Dans le triangle  $S_1S_2S'_1$  :  $\sin \alpha \approx \alpha = \frac{\delta}{e}$  d'où  $\delta = \frac{ex}{D}$

On observe sur l'écran :



L'**interfrange**, notée  $i$ , est la distance minimale entre deux zones consécutives de même intensité lumineuse.

$$\begin{array}{ccc}
 \text{Interfrange(m)} & \text{longueur d'onde (m)} & \text{distance fente-écran(m)} \\
 \swarrow & \downarrow & \swarrow \\
 & \mathbf{i = \frac{\lambda \cdot D}{e}} & \\
 & \uparrow & \\
 & \text{distance entre les deux fentes (m)} & 
 \end{array}$$

Démonstration (à connaître) :

Prenons un point de l'écran où les interférences sont constructives.

En ce point  $\delta = k\lambda = \frac{ex}{D}$  soit  $x = k \frac{\lambda D}{e}$ . On observe une frange brillante.

Prenons la frange la plus proche où les interférences sont constructives. En ce point  $\delta = (k + 1)\lambda = \frac{ex}{D}$  soit  $x = (k + 1) \frac{\lambda D}{e}$ .

La distance séparant les deux franges est donc  $i = (k + 1) \frac{\lambda D}{e} - k \frac{\lambda D}{e} = \frac{\lambda D}{e}$

La figure d'interférences dépend de la **longueur d'onde  $\lambda$**  de la lumière incidente, de la **distance  $D$**  entre la fente et l'écran et de **l'écart entre les trous  $e$** .

## CAPACITÉS EXIGIBLES

- Exploiter l'expression donnant le niveau d'intensité sonore d'un signal.
-  *Illustrer l'atténuation géométrique et l'atténuation par absorption.*

Capacité mathématique: Utiliser la fonction logarithme décimal et sa fonction réciproque.

- Caractériser le phénomène de diffraction dans des situations variées et en citer des conséquences concrètes.
- Exploiter la relation exprimant l'angle caractéristique de diffraction en fonction de la longueur d'onde et de la taille de l'ouverture
-  *Illustrer et caractériser qualitativement le phénomène de diffraction dans des situations variées.*
-  *Exploiter la relation donnant l'angle caractéristique de diffraction dans le cas d'une onde lumineuse diffractée par une fente rectangulaire en utilisant éventuellement un logiciel de traitement d'image.*

- Caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes et en citer des conséquences concrètes.
- Établir les conditions d'interférences constructives et destructives de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase dans le cas d'un milieu de propagation homogène.
-  *Tester les conditions d'interférences constructives ou destructives à la surface de l'eau dans le cas de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase.*
- Prévoir les lieux d'interférences constructives et les lieux d'interférences destructives dans le cas des trous d'Young, l'expression linéarisée de la différence de chemin optique étant donnée. Établir l'expression de l'interfrange.
-  *Exploiter l'expression donnée de l'interfrange dans le cas des interférences de deux ondes lumineuses, en utilisant éventuellement un logiciel de traitement d'image.*

Capacité numérique: Représenter, à l'aide d'un langage de programmation, la somme de deux signaux sinusoïdaux périodiques synchrones en faisant varier la phase à l'origine de l'un des deux.