# CHAPITRE 3 : DIFFRACTION ET INTERFÉRENCES

Pierre-André LABOLLE

Lycée International des Pontonniers

Spetembre 2017

# I. Diffraction des ondes

## 1. Onde diaphragmée, onde diffractée : exemple des ondes mécaniques

- Mise en évidence du phénomène sur la cuve à ondes (schémas).
- Soient $a$ la dimension caractéristique d'un obstacle ou d'une ouverture et $\lambda$ la longueur d'onde de l'onde considérée. Deux cas de figure se présentent.
- Soit la dimension de l'obstacle ou de l'ouverture $a$ est grande par rapport à la longueur d'onde $(\mathbf{a} \gg \lambda)$ et l'onde est simplement diaphragmée (elle a même fréquence, même longueur d'onde et même direction de propagation avant et après l'obstacle).
- Soit la dimension de l'obstacle ou de l'ouverture $a$ est petite par rapport à la longueur d'onde $(\mathbf{a} \lesssim \lambda)$ et l'onde est diffractée (elle a même fréquence, même longueur d'onde mais on assiste à un éparpillement des directions de propagation après l'obstacle).
- <u>Remarque</u> : plus la dimension $a$ de l'obstacle ou de l'ouverture est petite, plus le phénomène de diffraction est marqué.

# I. Diffraction des ondes

## 1. Onde diaphragmée, onde diffractée : exemple des ondes mécaniques

**Définition du phénomène de diffraction**

La diffraction est une propriété caractéristique des ondes qui se manifeste par un étalement des directions de propagation de l'onde lorsque celle-ci rencontre un obstacle ou une ouverture de petite dimension devant la longueur d'onde $(\mathbf{a} \lesssim \lambda)$.

Plus la dimension de l'obstacle ou de l'ouverture est petite, plus la diffraction est prononcée.

# I. Diffraction des ondes

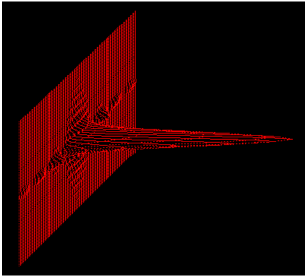
## 2. Diffraction des ondes lumineuses

- Dans le cas des ondes lumineuses, la diffraction peut encore être observée avec des obstacles ou des ouvertures dont la dimension peut atteindre jusqu'à 100 fois la longueur d'onde.
- On définit l'écart angulaire de diffraction $\theta$ comme l'angle sous lequel on voit, depuis l'obstacle, la demie tache centrale de diffraction (voir schéma).
- Dans le cas d'un obstacle ou d'une **ouverture rectangulaire** (fente ou fil par exemple), l'écart angulaire est tel que : $\boxed{\theta = \dfrac{\lambda}{a}}$
- Dans le cas d'un obstacle ou d'une ouverture circulaire (trou ou point par exemple), l'écart angulaire est tel que : $\theta = 1,22 \cdot \dfrac{\lambda}{a}$
- Remarque : en lumière blanche, la figure de diffraction présente une tache centrale blanche et des taches latérales de diffraction irisées.

# I. Diffraction des ondes

## 2. Diffraction des ondes lumineuses

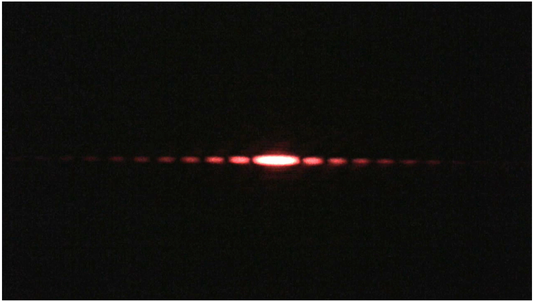
Répartition de l'intensité lumineuse dans une
figure de diffraction par une fente éclairée en un point



# I. Diffraction des ondes

## 2. Diffraction des ondes lumineuses

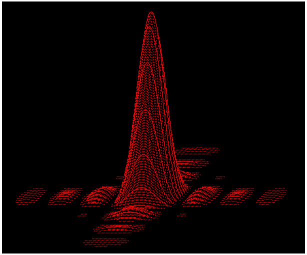
Figure de diffraction par une fente éclairée en un point



# I. Diffraction des ondes

## 2. Diffraction des ondes lumineuses

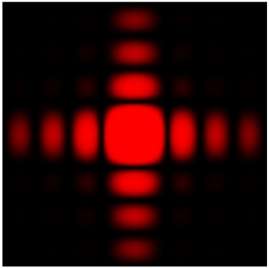
Répartition de l'intensité lumineuse dans une figure de diffraction par une ouverture carrée



# I. Diffraction des ondes

## 2. Diffraction des ondes lumineuses

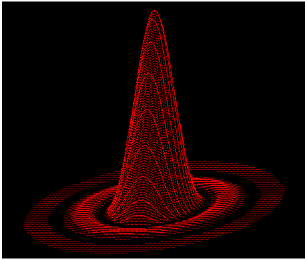
Figure de diffraction par une ouverture carrée



# I. Diffraction des ondes

## 2. Diffraction des ondes lumineuses

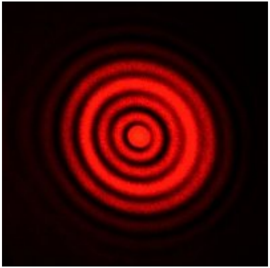
Répartition de l'intensité lumineuse dans une figure de diffraction par une ouverture circulaire



# I. Diffraction des ondes

## 2. Diffraction des ondes lumineuses

Figure de diffraction par une ouverture circulaire



# I. Diffraction des ondes

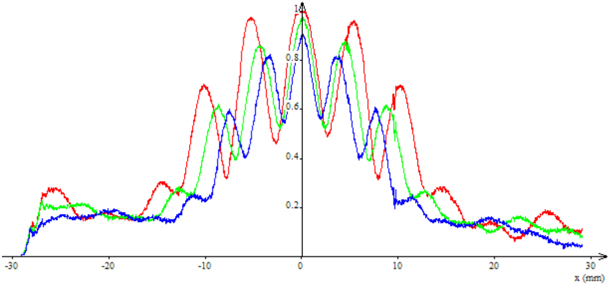
## 2. Diffraction des ondes lumineuses

Figure de diffraction par une fente éclairée en lumière blanche

# I. Diffraction des ondes

## 2. Diffraction des ondes lumineuses

Répartition de l'intensité lumineuse dans une
figure de diffraction par une fente éclairée en lumière blanche



# II. Interférences

## 1. Quand les ondes se rencontrent...

- Au cours de leur propagation, il est possible qu'en un même point de l'espace, deux ondes se croisent.
- Lorsque deux ondes se rencontrent en un point de l'espace, la perturbation résultante en ce point est la somme des perturbations générées en ce point par chaque onde.
- On parle alors d'interférences au sens le plus général du terme ; l'étude sera ici limitée aux ondes monochromatiques.

# II. Interférences

## 2. Cas des ondes sinusoïdales

- Dans le cadre de cette étude, on dira qu'**il y a interférence en un point du milieu matériel considéré si deux ondes de même fréquence se superposent en ce point**. Là aussi, la perturbation résultante est la somme des perturbations de chaque onde.

- En règle générale, deux ondes sinusoïdales présentent un déphasage (elles sont décalées dans le temps). Ce déphasage est le plus souvent aléatoire et ces conditions ne sont généralement pas très propices à l'observation des interférences.

- On utilisera donc des sources produisant des ondes monochromatiques qui présentent un déphasage constant. **On dit alors que ces deux sources sont cohérentes.**

# II. Interférences

## 3. Conditions d'interférences

- Soient deux ondes monochromatiques, de même fréquence, produites par deux sources cohérentes $S_1$ et $S_2$ qui interfèrent (se superposent) en un point $M$ de l'espace.
- L'onde produite par la source $S_1$ arrivera au point $M$ avec un retard $\tau_1$ constant et celle produite par la source $S_2$ avec un retard $\tau_2$ constant lui aussi.
- Si les deux ondes arrivent en phase au point $M$ (leur décalage temporel est donc un multiple entier de la période $T$ de l'onde), alors les deux ondes vont se renforcer et l'amplitude de la perturbation résultante au point $M$ sera maximale. **On dit qu'il y a interférences constructives.**
- Si, au contraire, les deux ondes arrivent en opposition de phase au point $M$ (leur décalage temporel est donc un nombre entier impair de demi-périodes), alors les deux ondes vont s'annihiler et l'amplitude de la perturbation résultante au point $M$ sera minimale. **On dit qu'il y a interférences destructives.**

# II. Interférences

## 4. Différence de marche

- **Définition** : on appelle différence de marche, notée $\delta$ en un point $M$ la différence entre les distances $d_1 = S_1M$ et $d_2 = S_2M$ (distances séparant le point $M$ de chacune des sources). Autrement dit : $\boxed{\delta = d_2 - d_1}$
- D'après ce qui précède, le décalage temporel entre les deux ondes au point $M$ est donné par $\Delta t = \tau_2 - \tau_1$.
- **Cas des interférences constructives** : $\Delta t = \tau_2 - \tau_1 = k \cdot T = k \cdot \dfrac{\lambda}{v}$, $v$ étant la célérité de l'onde. On a donc $v \cdot (\tau_2 - \tau_1) = k \cdot \lambda$ ou encore $v \cdot \tau_2 - v \cdot \tau_1 = k \cdot \lambda$ soit $d_2 - d_1 = k \cdot \lambda$ d'où $\boxed{\delta = k \cdot \lambda}$

# II. Interférences

## 4. Différence de marche

- **Cas des interférences destructives** :

$\Delta t = \tau_2 - \tau_1 = (2k+1)\cdot\dfrac{T}{2} = (2k+1)\cdot\dfrac{\lambda}{2\cdot v}$. On a donc

$v\cdot(\tau_2 - \tau_1) = (2k+1)\cdot\dfrac{\lambda}{2}$ ou encore $v\cdot\tau_2 - v\cdot\tau_1 = (2k+1)\cdot\dfrac{\lambda}{2}$ soit

$d_2 - d_1 = (2k+1)\cdot\dfrac{\lambda}{2}$ d'où $\boxed{\delta = (2k+1)\cdot\dfrac{\lambda}{2}}$

# II. Interférences

## 5. Figure d'interférences et interfrange

- Champ d'interférences (voir schéma).
- Figure d'interférences (voir T.P.).
- Interfrange (voir T.P.).

## EXERCICES PP88-99 n°18, 27 & 31, 32, 39

# CORRECTION DES EXERCICES

## Exercice P84 n°17

a. Dans le cas d'une fente, l'écart angulaire de diffraction est donné par la relation : $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$. Ici, $a = k \cdot \lambda$ donc $\theta = \dfrac{\lambda}{k \cdot \lambda} = \dfrac{1}{k}$ d'où les valeurs de $\theta$ en raidans : $\theta_1 = 1 \text{ rad}$, $\theta_2 = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ rad}$ et $\theta_3 = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ rad}$

b. Plus la fente est fine, plus le phénomène de diffraction est marqué donc c'est pour $k = 1$ que le phénomène est le plus marqué.

c. Si $a = 0,5 \text{ cm}$, alors $\theta = \dfrac{\lambda}{a} = \dfrac{633 \cdot 10^{-9}}{0,5 \cdot 10^{-2}} = 10^{-4} \text{ rad}$ tandis que si $a = 50 \text{ µm}$, alors $\theta = \dfrac{\lambda}{a} = \dfrac{633 \cdot 10^{-9}}{50 \cdot 10^{-6}} = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ rad}$. Le phénomène de diffraction existe bien dans les deux cas mais sera imperceptible avec la fente la plus large.

# CORRECTION DES EXERCICES

## Exercice P85 n°19

a. Les lignes 2 et 3 du tableau montrent que lorsque $a$ diminue, $L$ augmente. La première expression est donc à rejeter. En outre, les lignes 2 et 4 du tableau montrent que lorsque $D$ diminue, $L$ diminue également donc la deuxième expression est aussi à rejeter. La seule expression valable est donc $L = \dfrac{2\lambda D}{a}$.

b. Analyse dimensionnelle de cette relation :

D'une part, $[L] = L$ et d'autre part, $\left[\dfrac{2\lambda D}{a}\right] = \dfrac{L \times L}{L} = L$. Ainsi, la relation retenue est bien homogène aux dimensions.

# CORRECTION DES EXERCICES

## Exercice P85 n°19 (suite)

c. Dans l'expérience 1, on a : $L_1 = \frac{2\lambda_1 D_1}{a_1} = \frac{2\lambda_1 D}{a}$ d'où $\frac{2D}{a} = \frac{L_1}{\lambda_1}$ et dans l'expérience 2 : $L_2 = \frac{2\lambda_2 D_2}{a_2} = \frac{2\lambda_2 D}{a}$ d'où $\frac{2D}{a} = \frac{L_2}{\lambda_2}$. On en déduit que $\frac{L_1}{\lambda_1} = \frac{L_2}{\lambda_2}$

d. De la relation précédente, on déduit que
$\lambda_1 = \frac{L_1 \cdot \lambda_2}{L_2} = \frac{3,4 \times 405}{2,1} = 660 \text{ nm}$

e. Écart relatif entre cette valeur et celle donnée par le fabriquant : $\epsilon = \left|\frac{\lambda_{1,fab} - \lambda_{1,exp}}{\lambda_{1,fab}}\right| = \left|\frac{658 - 660}{658}\right| = 3,0 \cdot 10^{-3} = 0,30\%$. La valeur expérimentale est donc en très bon accord avec la valeur du fabriquant.

# CORRECTION DES EXERCICES

## Exercice P104 n°18

a. Le point $O$ est tel que $S_1O = S_2O$ donc la différence de marche en ce point vaut $\delta = S_2O - S_1O = 0$ ce qui correspond à une différence de marche nulle. Ainsi, les interférences seront constructives au point O ($\delta = k \cdot \lambda$ avec $k = 0$) et la frange centrale est donc brillante.

b. Une frange sombre correspond à un point de l'espace où les interférences sont destructives donc un point tel que $\delta = (2k+1) \cdot \dfrac{\lambda}{2}$. La première frange sombre correspond à $k = 0$ donc à $\delta = \dfrac{\lambda}{2}$ d'où $\dfrac{a_{1-2} \cdot x}{D} = \dfrac{\lambda}{2}$.
On en déduit que $x = \dfrac{\lambda \cdot D}{2 \cdot a_{1-2}} = \dfrac{680 \cdot 10^{-9} \times 1,20}{2 \times 0,20 \cdot 10^{-3}} = 2,0 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m}$
soit $x = 2,0\ \mathrm{mm}$

L'interfrange correspond au double de cette valeur (distance entre deux franges sombres par exemple) d'où $i = 2 \cdot x = 4,0\ \mathrm{mm}$.

# CORRECTION DES EXERCICES

## Exercice P105 n°22

a. Les sources $S_1$ et $S_2$ émettent en phase car elles sont situées à la même distance de la source $S$. Ainsi, le retard par rapport à $S$ est le même pour $S_1$ et $S_2$.

b. Le point $O$ étant équidistant de $S_1$ et $S_2$, la différence de marche entre les ondes émises par $S_1$ et $S_2$ est nulle ($\delta = k \cdot \lambda$ avec $k = 0$) et par conséquent, les interférences sont constructives : on observe une frange brillante.

c. On utilise la relation donnée au début des exercices :
$$i = \frac{\lambda \cdot D}{a_{1-2}} = \frac{650 \cdot 10^{-9} \times 2,0}{0,20 \cdot 10^{-3}} = 6,5 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m} = 6,5\ \mathrm{mm}$$

# CORRECTION DES EXERCICES

## Exercice P105 n°22 (suite)

d. Le point $M$ est placé de telle façon que $x = 2 \cdot i$. Il est donc situé à exactement deux interfranges du point $O$ et se situe par conséquent au centre d'une frange brillante.

e. Cette fois, le retard de $S_1$ par rapport à $S$ est inférieur à celui de $S_2$ donc les deux sources $S_1$ et $S_2$ n'émettent plus en phase.

f. C'est la source $S_2$ qui est en retard par rapport à la source $S_1$ car l'onde émise par $S$ doit couvrir une distance plus grande pour parvenir à $S_2$, ce qui lui prend plus de temps.

# CORRECTION DES EXERCICES

## Exercice P105 n°22 (suite)

g. Le point $O$ est toujours à égale distance des deux sources secondaires mais ces dernières émettent à présent des ondes en opposition de phase (décalées dans le temps d'une demi-période). Par conséquent, les interférences au point $O$ seront à présent destructives.

h. La relation permettant de calculer l'interfrange est toujours $i = \dfrac{\lambda \cdot D}{a_{1-2}}$ où le déphasage éventuel des sources n'intervient pas. La longueur d'onde est restée la même, ainsi que la distance $D$ et l'espacement des fentes $a_{1-2}$. L'interfrange $i$ n'est donc pas modifié.

# CORRECTION DES EXERCICES

## Exercice P105 n°22 (suite)

Si la source est étendue, chaque point de la source va produire une figure d'interférences qui lui est propre, avec le même interfrange, mais décalée dans la direction de l'axe $(Ox)$. Ainsi, les figures d'interférences vont se superposer et l'éclairement de l'écran sera uniforme.

On peut ajouter en outre que, dans le cas d'une source étendue, les différents points de la source constistuent des sources incohérentes, ce qui n'est pas non plus propice à l'observation du phénomène d'interférences.