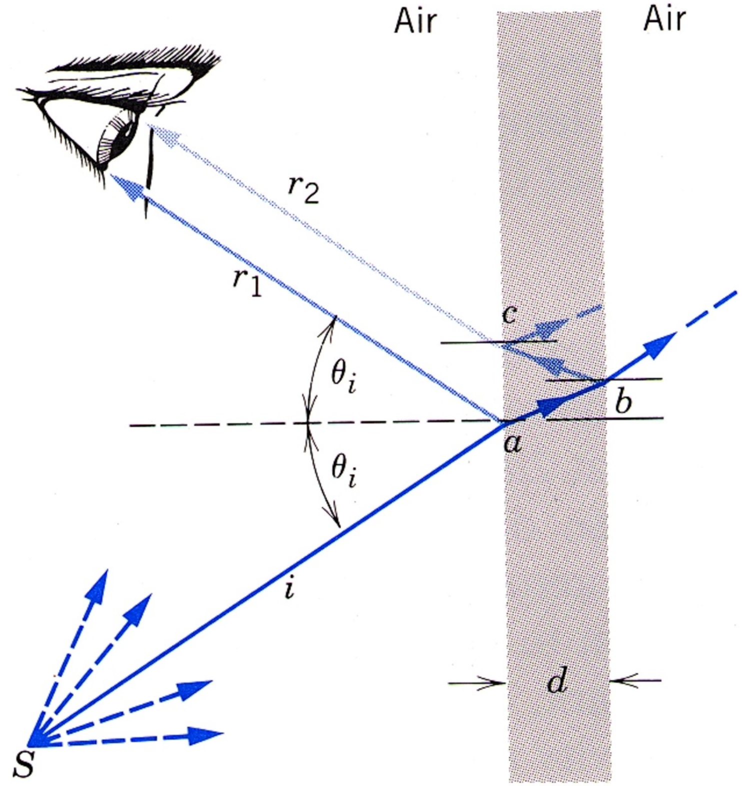
Cours 04

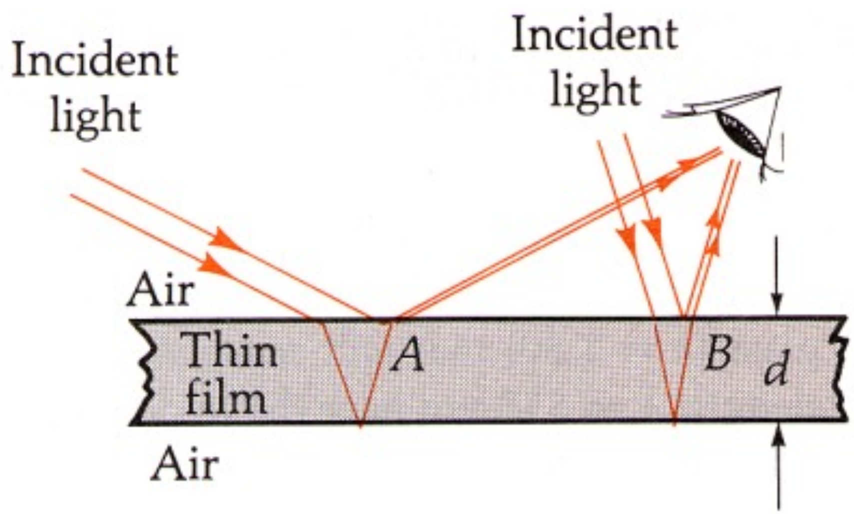
Optique physique

- Interférence
  - Couches minces, couche anti-reflet
  - Interféromètre de Michelson

- Diffraction
  - 1 fente
  - Ouverture circulaire
  - Pouvoir de résolution

Interférence par une couche mince





Couches minces

Deux sources affectent la phase :

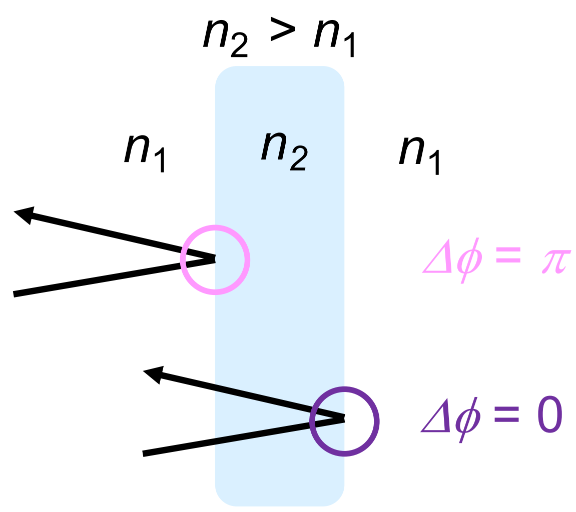
1. La difference de chemin optique.
2. Le changement de phase à la réflexion.

Longueur d'onde dans un milieu d'indice *n* :

$$\left.\begin{array}{ll} \text{Dans le vide :} & \lambda\,\nu = c \\ \text{Dans un milieu :} & \lambda'\,\nu = c\,/\,n \end{array}\right\} \quad \lambda' = \lambda\,/\,n$$

Changement de phase à la réflexion :

- $\Delta\phi_{\text{réfl}} = \pi$ si $n_{\text{après}} > n_{\text{avant}}$
- $\Delta\phi_{\text{réfl}} = 0$ si $n_{\text{après}} < n_{\text{avant}}$



Couches minces : interférence

1. construction $\Delta\phi_{tot}$

à incidence normale ($\theta_i = 0$)

$$\Delta\phi_{tot} = \Delta\phi_{ch} + \Delta\phi_{réfl}$$

$$= 2d \cdot k - \pi$$

$$= 2d \cdot \frac{2\pi}{\lambda'} - \pi$$

$$= 2d \cdot \frac{2\pi}{\lambda / n} - \pi$$

2. imposition de la condition d'interférence

condition d'interférence constructive

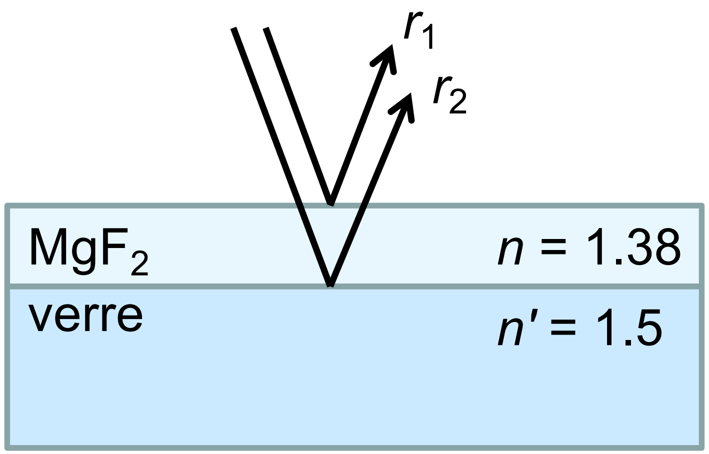
$$\Delta\phi_{tot} = m \cdot 2\pi$$

$$2d \cdot \frac{2\pi}{\lambda / n} - \pi = m \cdot 2\pi$$

$$\lambda = \frac{n \cdot 2d}{m + ½}$$

$$m = 0, 1, \ldots.$$

Couche anti-reflet



1. construction $\Delta\phi_{\text{tot}}$

à incidence normale

$$\Delta\phi_{\text{tot}} = \Delta\phi_{\text{ch}} + \Delta\phi_{\text{réfl}}$$

$$\Delta\phi_{\text{ch}} = 2d \cdot \frac{2\pi}{\lambda / n}$$

$\Delta\phi_{\text{réfl}} = 0$ (même déphasage pour r_1 et r_2)

$$\Delta\phi_{\text{tot}} = 2d \cdot \frac{2\pi}{\lambda / n}$$

Couche anti-reflet

2. imposition de la condition d'interférence

condition d'interférence destructive

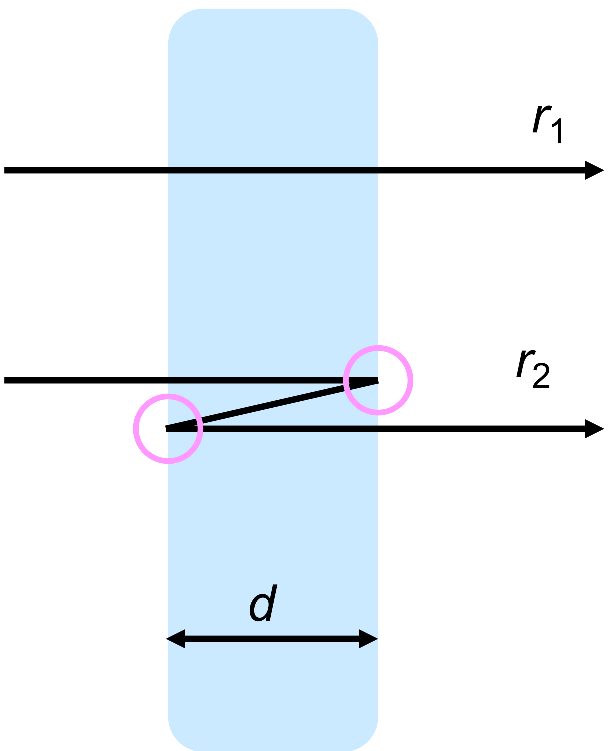
$$\Delta\phi_{tot} = \pi + m \cdot 2\pi = 2\pi \left(m + \tfrac{1}{2} \right)$$

$$2d \cdot \frac{2\pi}{\lambda / n} = 2\pi \left(m + \tfrac{1}{2} \right)$$

$$d = \frac{\lambda}{2n} \left(m + \tfrac{1}{2} \right)$$

$$m = 0, 1, \ldots.$$

Lumière transmise



pas de changement de phase car $n_{int} > n_{ext}$

1. construction $\Delta\phi_{tot}$

à incidence normale

$$\Delta\phi_{tot} = \Delta\phi_{ch} + \Delta\phi_{réfl}$$

$$\Delta\phi_{ch} = k \cdot 2d = \frac{2\pi}{\lambda / n} \cdot 2d$$

$\Delta\phi_{réfl} = 0$ (même déphasage pour r_1 et r_2)

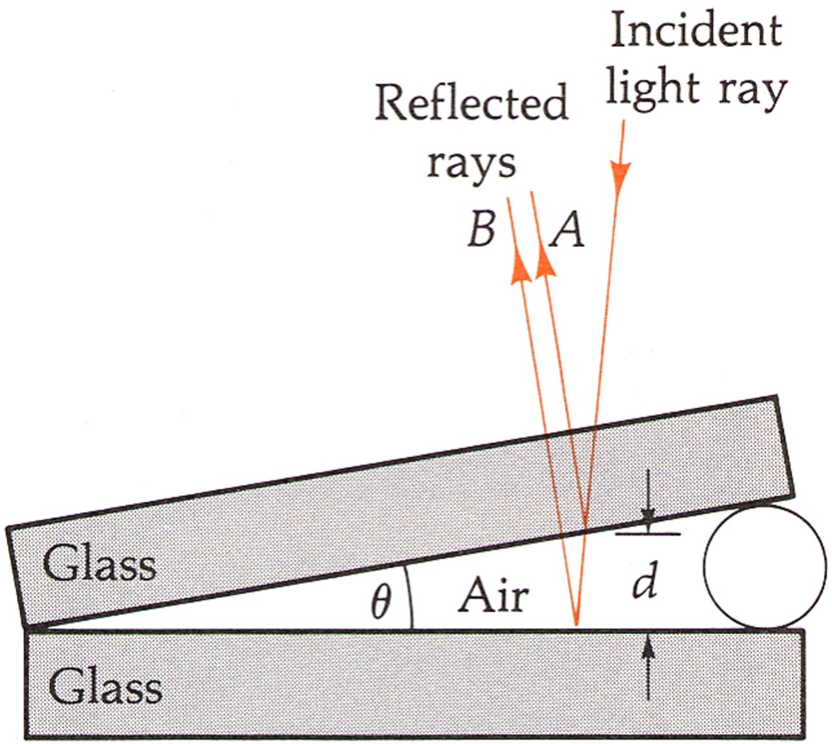
2. imposition de la condition d'interférence

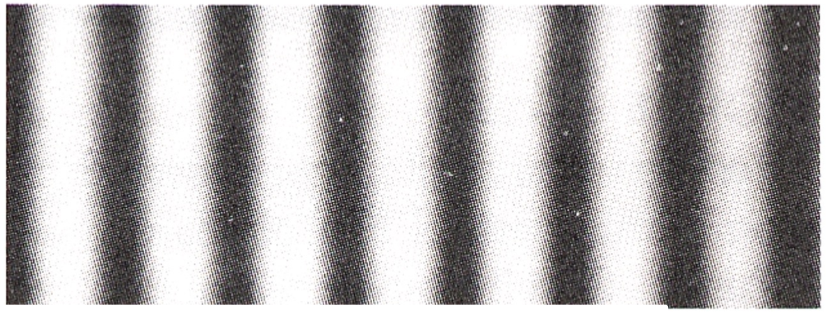
condition d'interférence constructive

$$\Delta\phi_{tot} = \frac{2\pi}{\lambda / n} \cdot 2d = m \cdot 2\pi$$

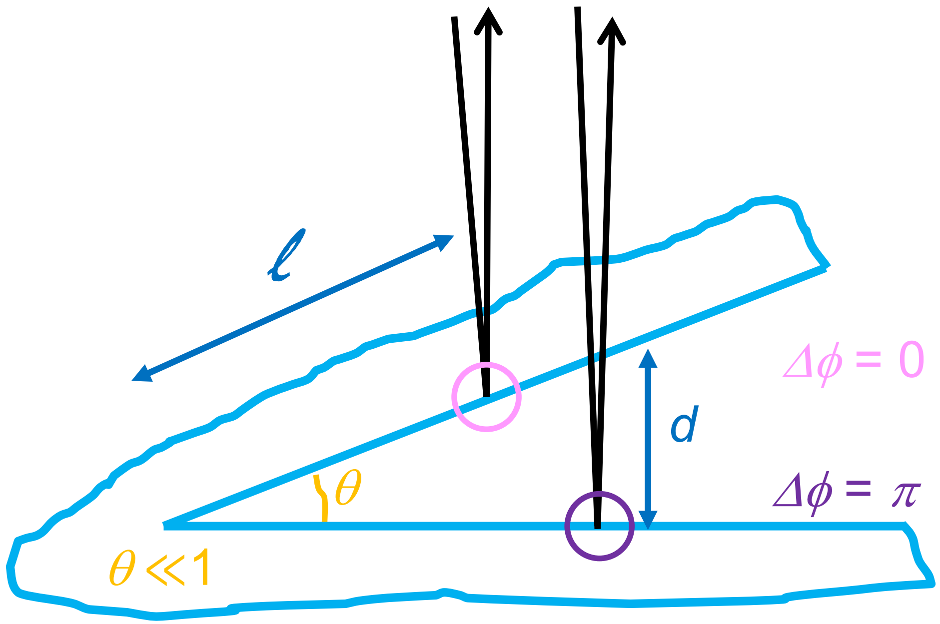
$$d = m \cdot \frac{\lambda}{2n} \qquad m = 1, 2, \ldots.$$

Lames formant un coin





Lames formant un coin



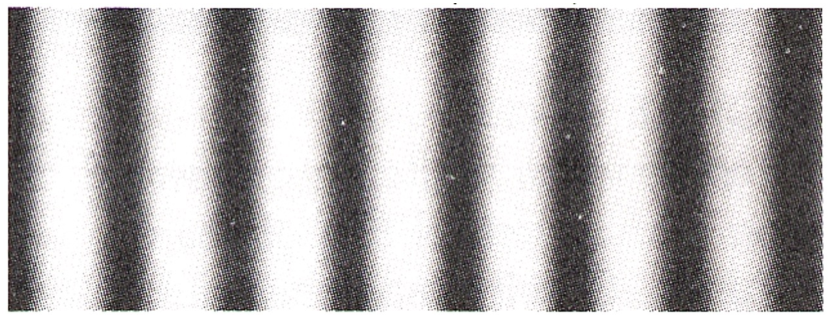
1. construction $\Delta\phi_{\text{tot}}$

$$\Delta\phi_{\text{tot}} = \Delta\phi_{\text{ch}} + \Delta\phi_{\text{réfl}}$$

$$= k \cdot 2d + \pi$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2d + \pi$$

2. imposition de la condition d'interférence



condition d'interférence destructive

$$\Delta\phi_{\text{tot}} = (\ 2m + 1\ )\ \pi$$

$$\frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2d + \pi = (\ 2m + 1\ )\ \pi$$

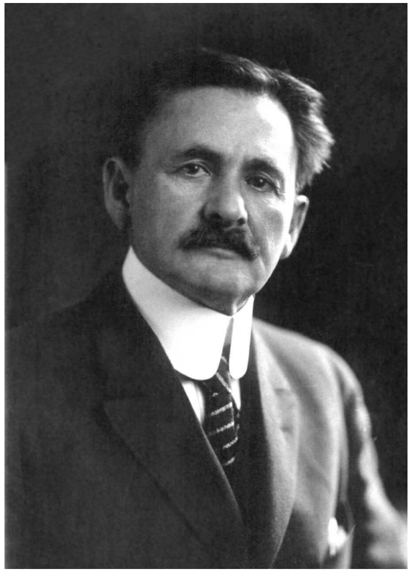
$$d = m\,\lambda / 2 \qquad m = 1, 2, \ldots.$$

Position des franges d'interférence destructive

$$d \cong \ell\,\theta \quad \Rightarrow \quad \ell = m\,\frac{\lambda}{2\theta}$$

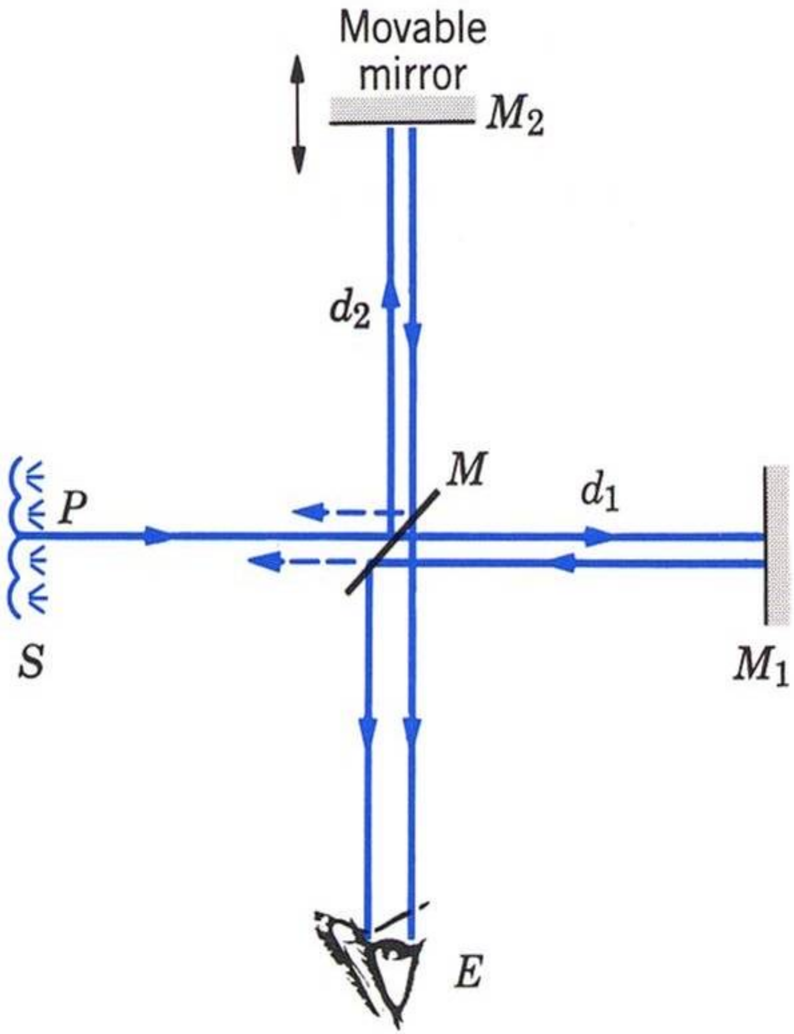
Surface optiquement plane

Interféromètre de Michelson



Albert Michelson
1852-1931

Prix Nobel
1907



Utilité: mesurer des distances en termes de franges d’interférence

Cours 04

Optique physique

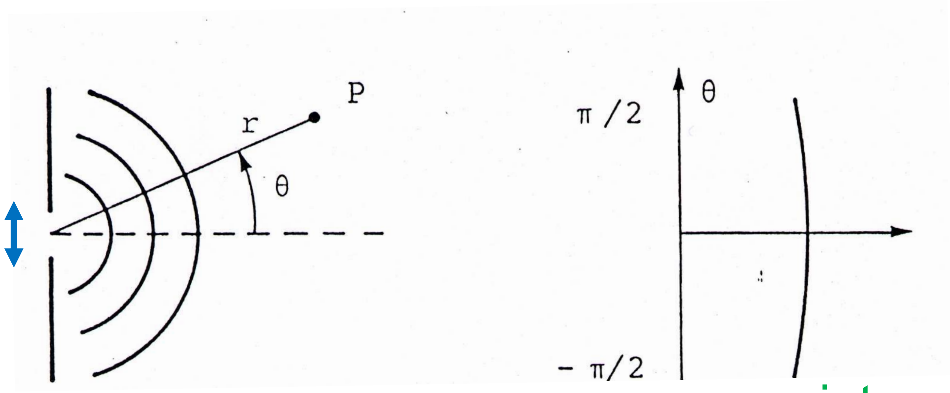
- Interférence
  - Couches minces, couche anti-reflet
  - Interféromètre de Michelson

- Diffraction
  - 1 fente
  - Ouverture circulaire
  - Pouvoir de résolution

Diffraction

$\lambda \gg a$

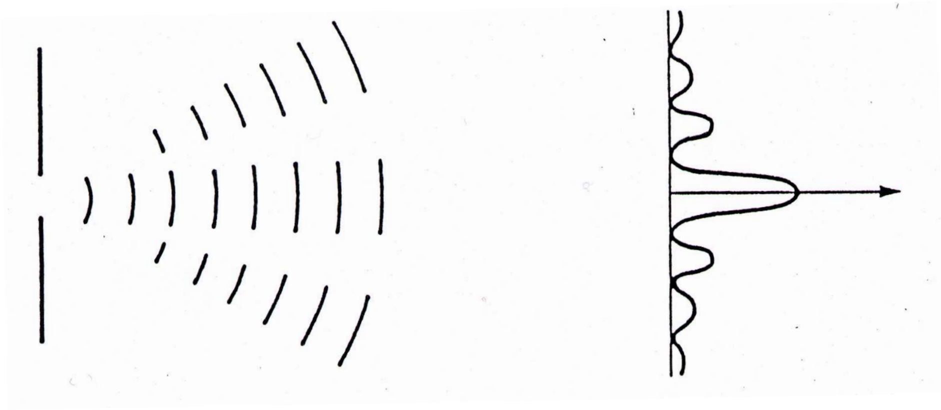
a



$I\,(\theta, r = \text{cte})$

onde circulaire
intensité indépendante de θ

$\lambda \sim a$



$I\,(\theta, r = \text{cte})$

maxima et minima

$\lambda \ll a$

$I\,(\theta, r = \text{cte})$

l’onde reste plane
intensité nulle sauf pour $\theta = 0$

Diffraction: notions générales

- Phénomène ondulatoire similaire à l'interférence

  Interférence : nombre discret de sources ponctuelles.
  Diffraction : une continuité de sources.

- La lumière "tourne" autour des objets

  Propriété ondulatoire.

- Les effets de diffraction limitent la résolution d'un instrument d'optique

- La diffraction a lieu en presence d'une ouverture ou d'un obstacle

  Principe de Babinet

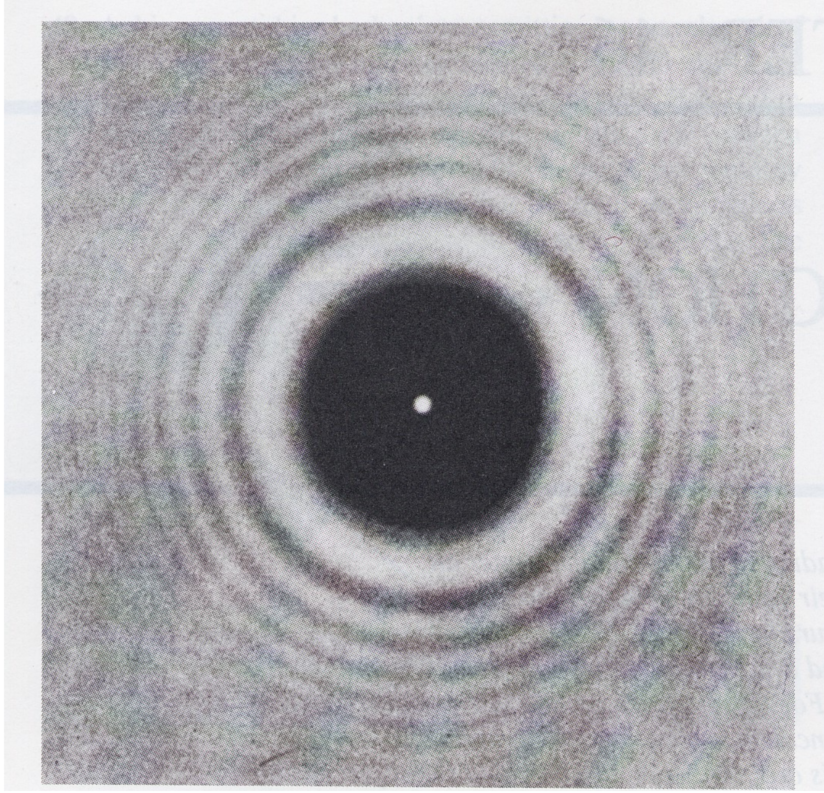
- Diffraction Fresnel : front d'onde sphérique

  Diffraction Fraunhofer : front d'onde planaire

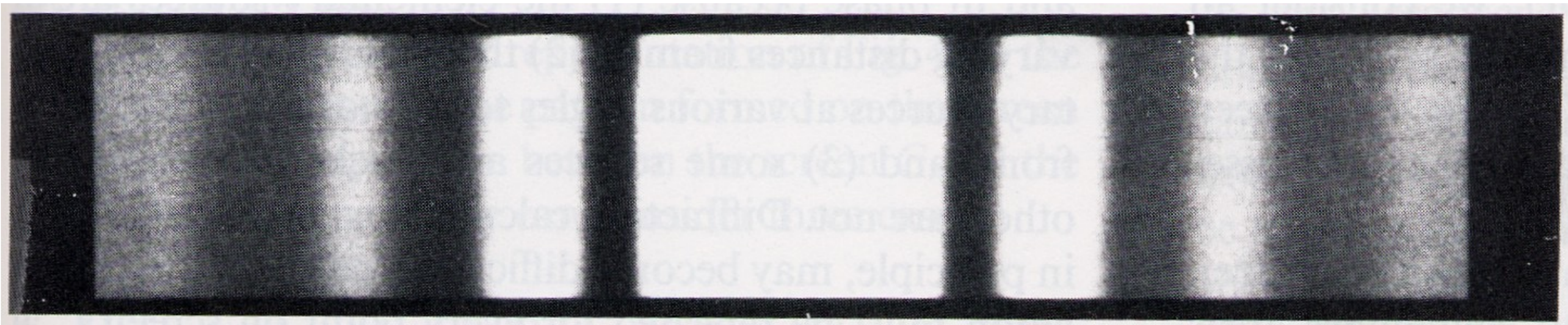
  Peut se décrire par le principe de Huygens (superposition d'ondelettes).

Diffraction

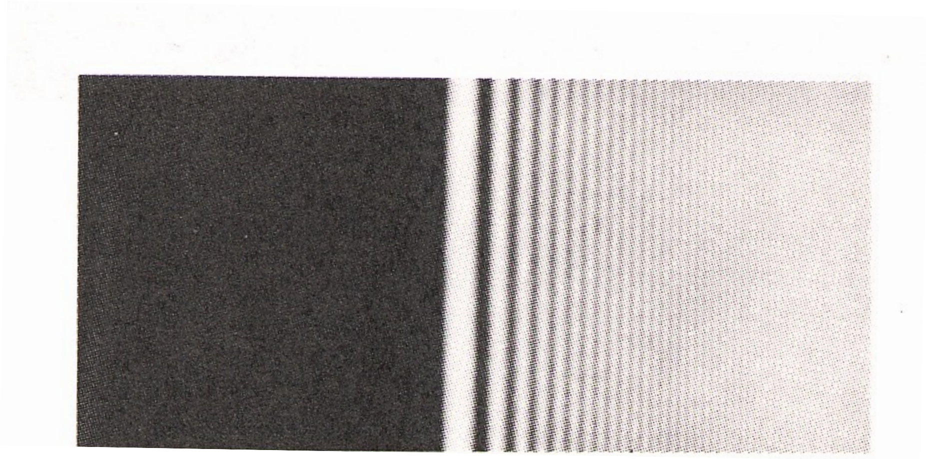
Disque

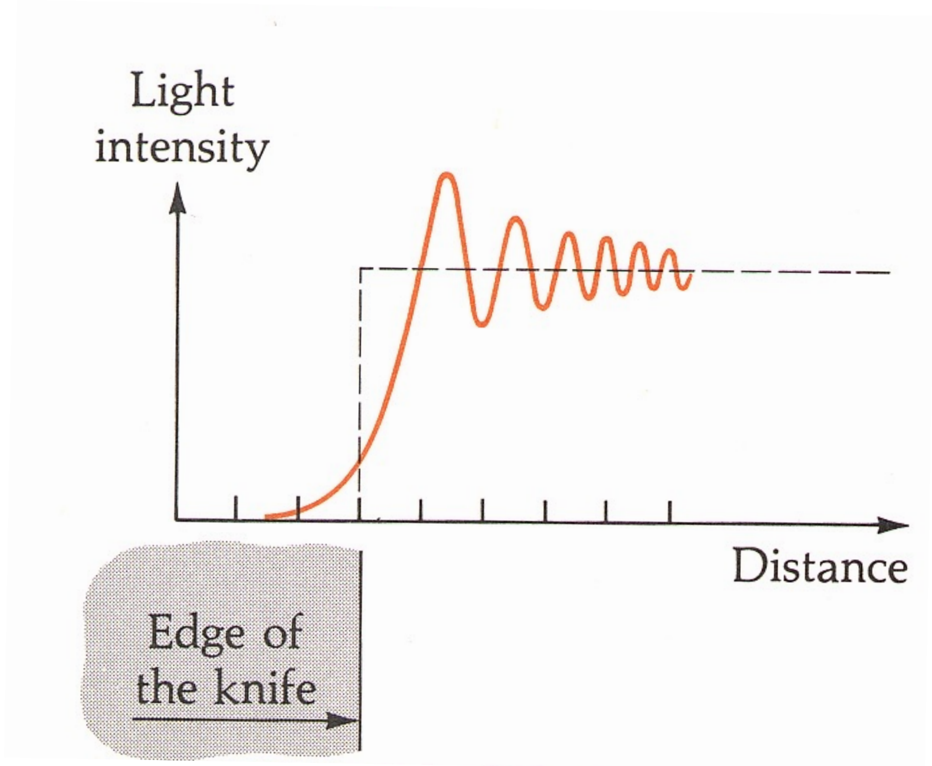


Fente

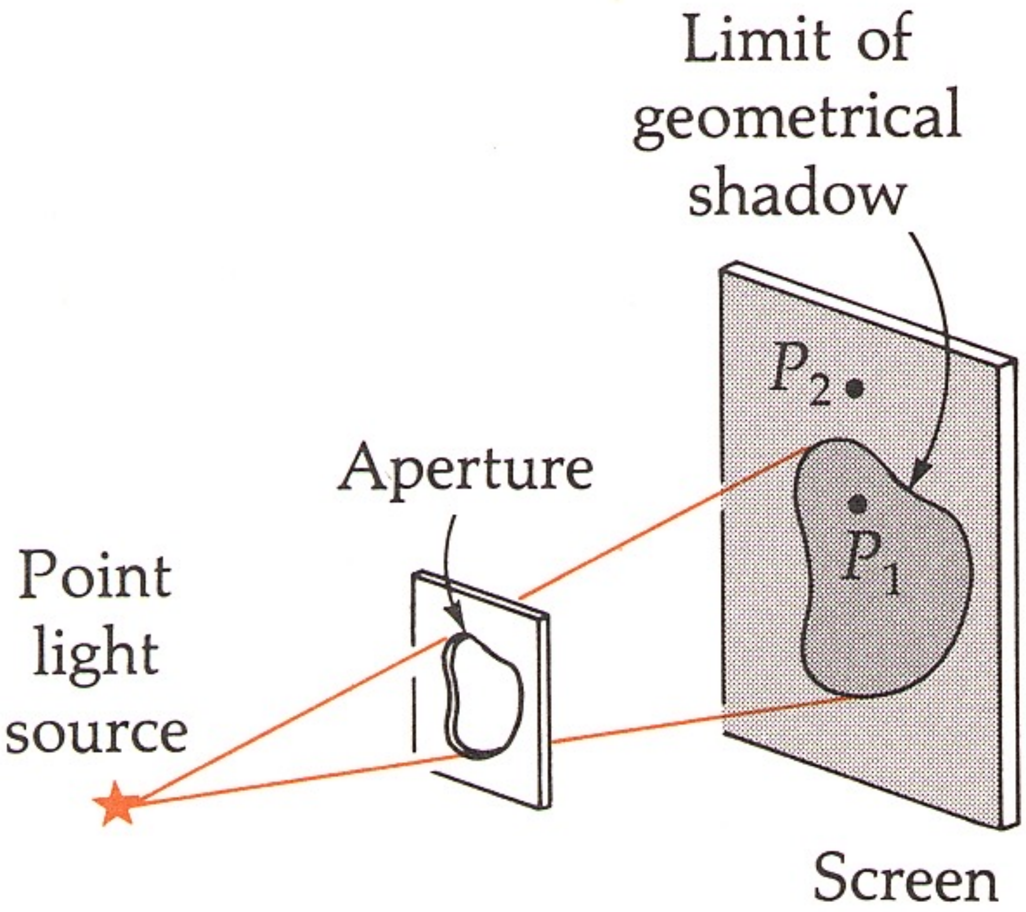


Diffraction par une lame de couteau

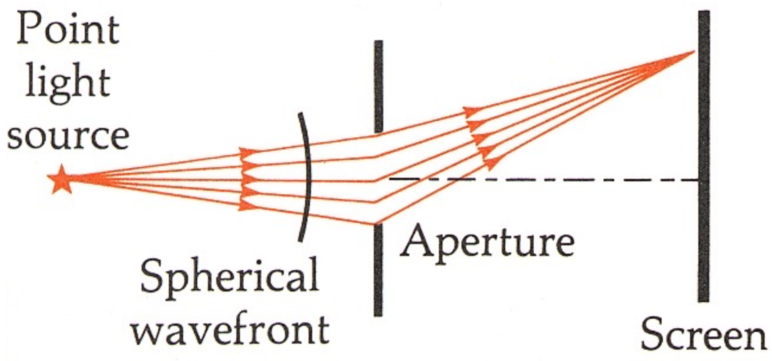




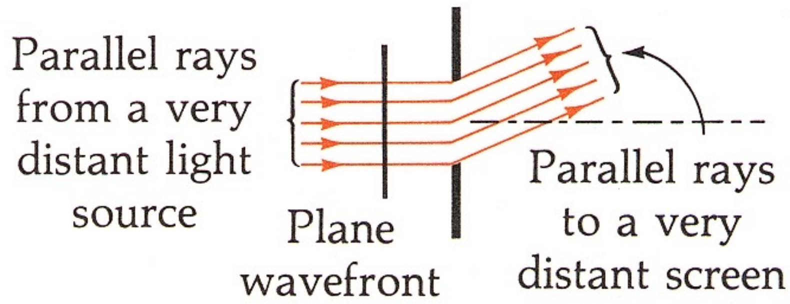
Diffraction : cas général



Diffraction Fresnel et Fraunhofer

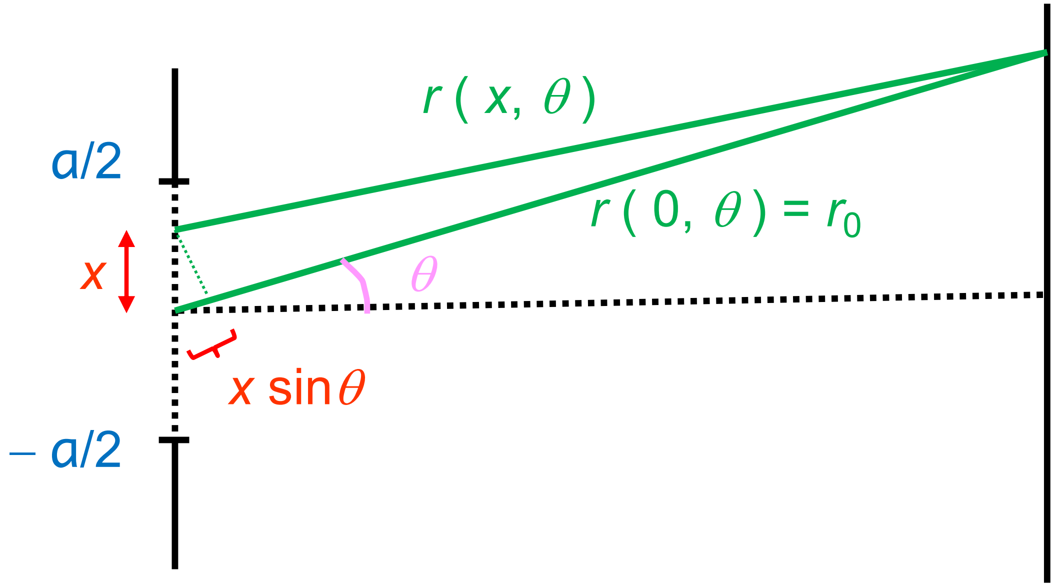


Fresnel diffraction. The source and screen are both near the aperture. Rays from the source and rays to the screen cannot be considered parallel.



Fraunhofer diffraction. The light source and the screen are both very far from the aperture. Rays incident on the aperture are parallel, and rays leaving the aperture toward the screen are parallel.

Diffraction d'une seule fente – calcul



$$r(x,\theta) = r(0,\theta) - x\sin\theta = r_0 - x\sin\theta$$

$$dE = A\,dx\,\sin[\,k \cdot r(x,\theta) - \omega t\,]$$

Diffraction d'une fente – superposition du champ *E*

$$E(r_0, \theta, t) = A \int_{-a/2}^{a/2} dx \, \sin(k r_0 - k x \sin\theta - \omega t)$$

$$= A \ \mathrm{Im}\left\{ \int_{-a/2}^{a/2} dx \, e^{\,i\,(k r_0 - k x \sin\theta - \omega t)} \right\}$$

$$= A \ \mathrm{Im}\left\{ e^{\,i(k r_0 - \omega t)} \int_{-a/2}^{a/2} dx \, e^{-i\,k x \sin\theta} \right\}$$

$$= A \ \mathrm{Im}\left\{ e^{\,i(k r_0 - \omega t)} \frac{-1}{i\,k \sin\theta} \left[e^{-i\,k x \sin\theta} \right]_{-a/2}^{a/2} \right\}$$

$$= A \ \mathrm{Im}\left\{ e^{\,i(k r_0 - \omega t)} \frac{2}{k \sin\theta} \sin\left(\frac{ka\sin\theta}{2} \right) \right\}$$

$$= A \ \sin(k r_0 - \omega t) \frac{2}{k \sin\theta} \sin\left(\frac{ka\sin\theta}{2} \right)$$

Diffraction d'une seule fente – Intensité

$$I \propto \langle E^2(r_0, \theta, t) \rangle = A^2 \cdot ½ \cdot \left(\frac{2}{k \sin\theta}\right)^2 \sin^2\left(\frac{ka\sin\theta}{2}\right)$$

$$I = I_0 \left(\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2$$

où $$\alpha = \frac{ka\sin\theta}{2} = \frac{2\pi}{\lambda}\frac{a\sin\theta}{2} = \frac{\pi a\sin\theta}{\lambda}$$

I_0 correspond à l'intensité à $\theta = 0$

Diffraction d'une seule fente – Analyse

$$I = I_0 \left(\frac{\sin\alpha}{\alpha}\right)^2 \qquad \text{où} \qquad \alpha = \frac{\pi a \sin\theta}{\lambda}$$

Condition de minimum d'intensité: $I(\theta) = 0$

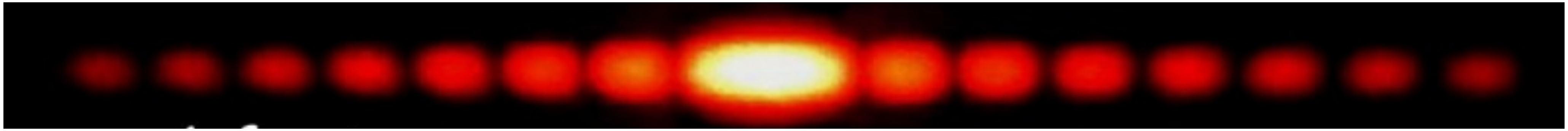
$$\sin\alpha = 0 \qquad \wedge \qquad \alpha \neq 0$$

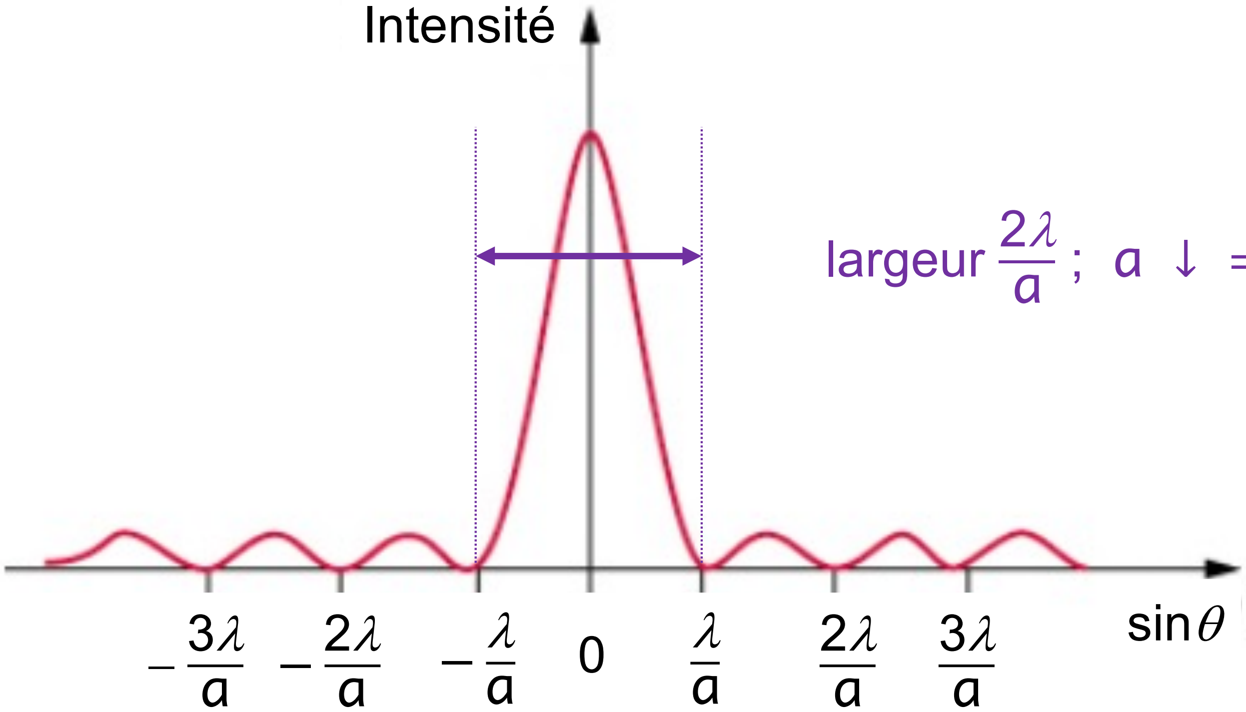
$$\alpha = m\,\pi \qquad m = \pm 1, \pm 2, \ldots$$

$$\frac{\pi a \sin\theta}{\lambda} = m\,\pi \qquad m = \pm 1, \pm 2, \ldots$$

$$\sin\theta = m\,\frac{\lambda}{a} \qquad m = \pm 1, \pm 2, \ldots$$

Diffraction d'une seule fente – résultat graphique

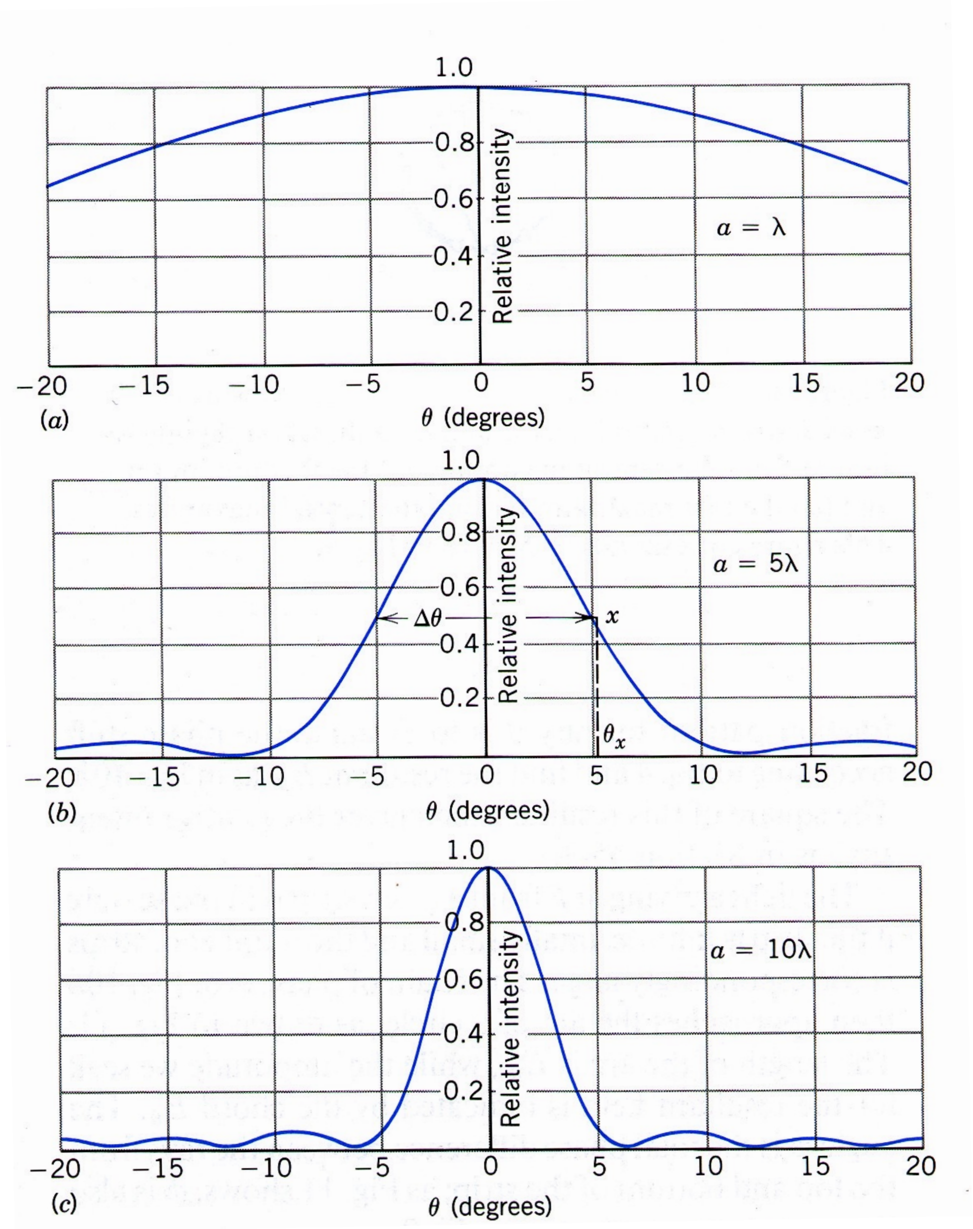




largeur $\frac{2\lambda}{a}$; $a \downarrow \;\Rightarrow\;$ largeur $\uparrow$

- La largeur de la frange principale est 2x plus large que les autres.
- La frange principale contient > 90% de l'intensité totale.

Diffraction par une fente linéaire

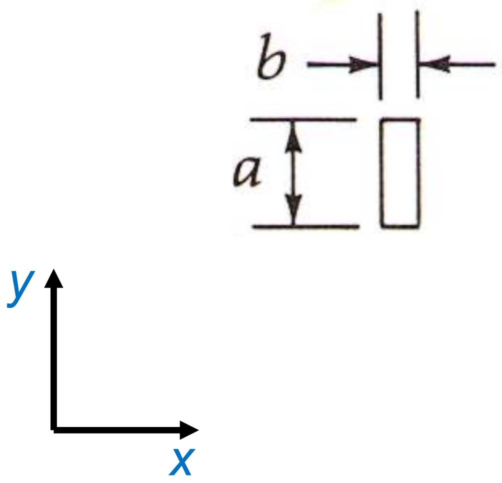


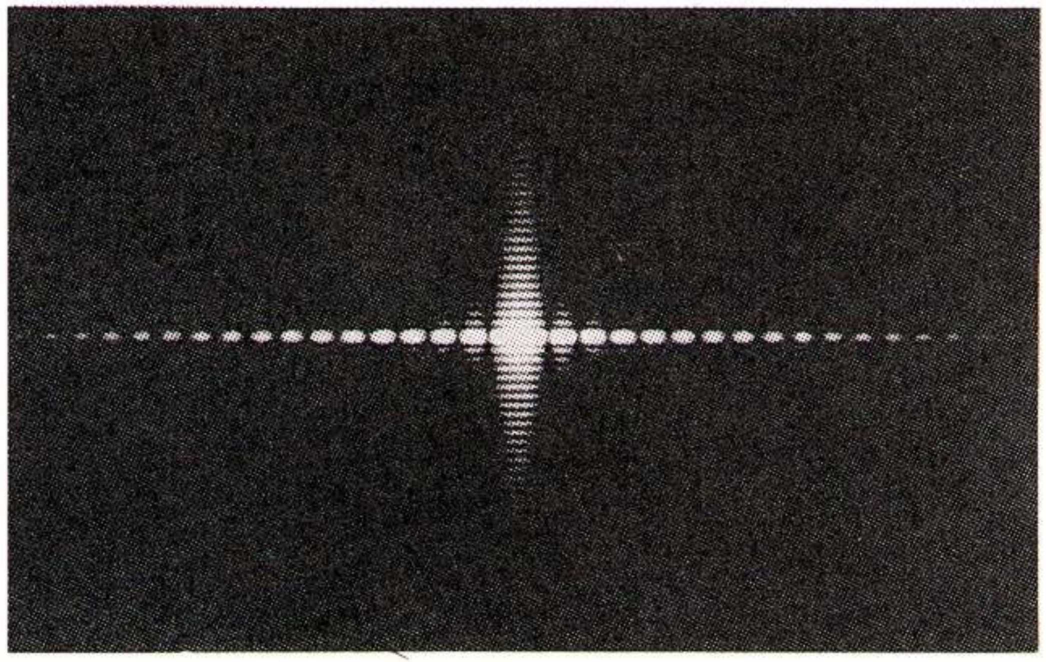
$a = \lambda$

$a = 5\lambda$

$a = 10\lambda$

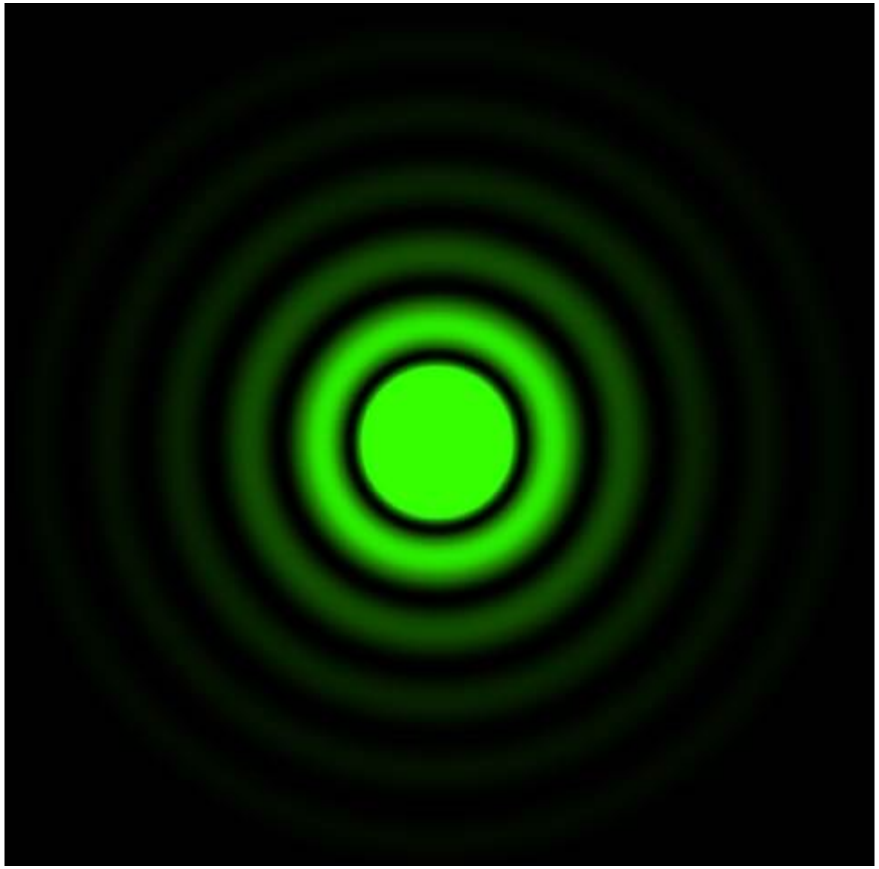
Diffraction par une ouverture rectangulaire





Dans la limite $a \to \infty$, on retrouve le résultat correspondant à la fente linéaire :
la séparation $\lambda / a \to 0$ et on ne distingue plus les franges dans la direction y .

Diffraction par une ouverture circulaire



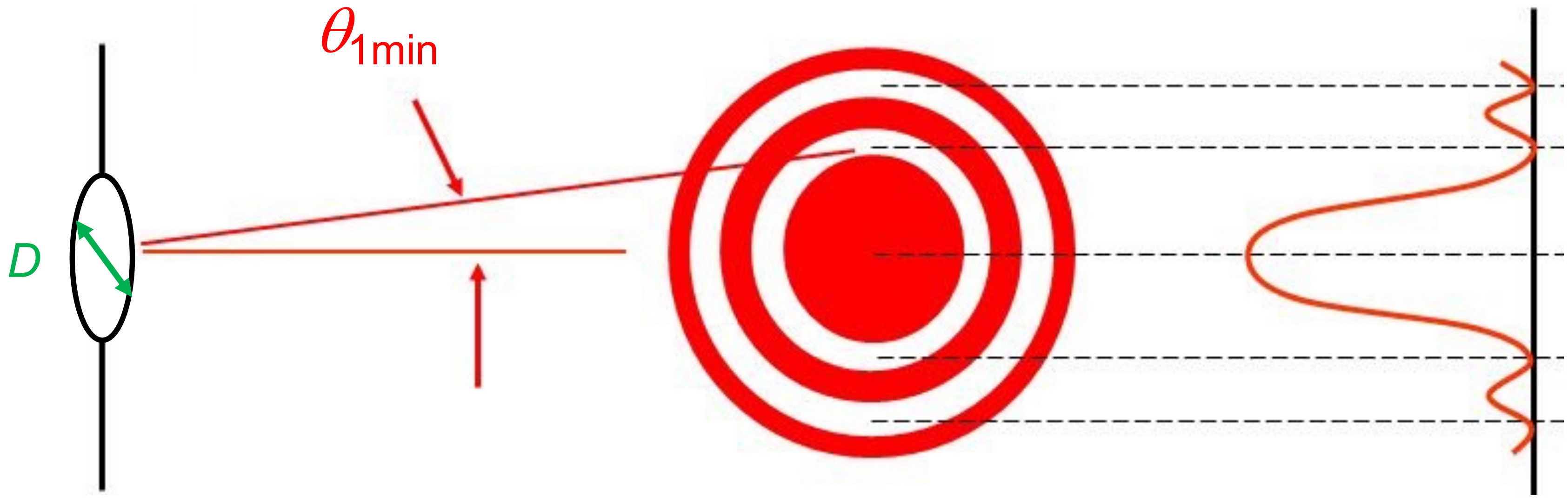
$$I_1 = 84\%\ I_{tot}$$

$$I_1 + I_2 = 91\%\ I_{tot}$$

I_1 : intensité disque central

I_2 : intensité premier anneau

Diffraction par une ouverture circulaire



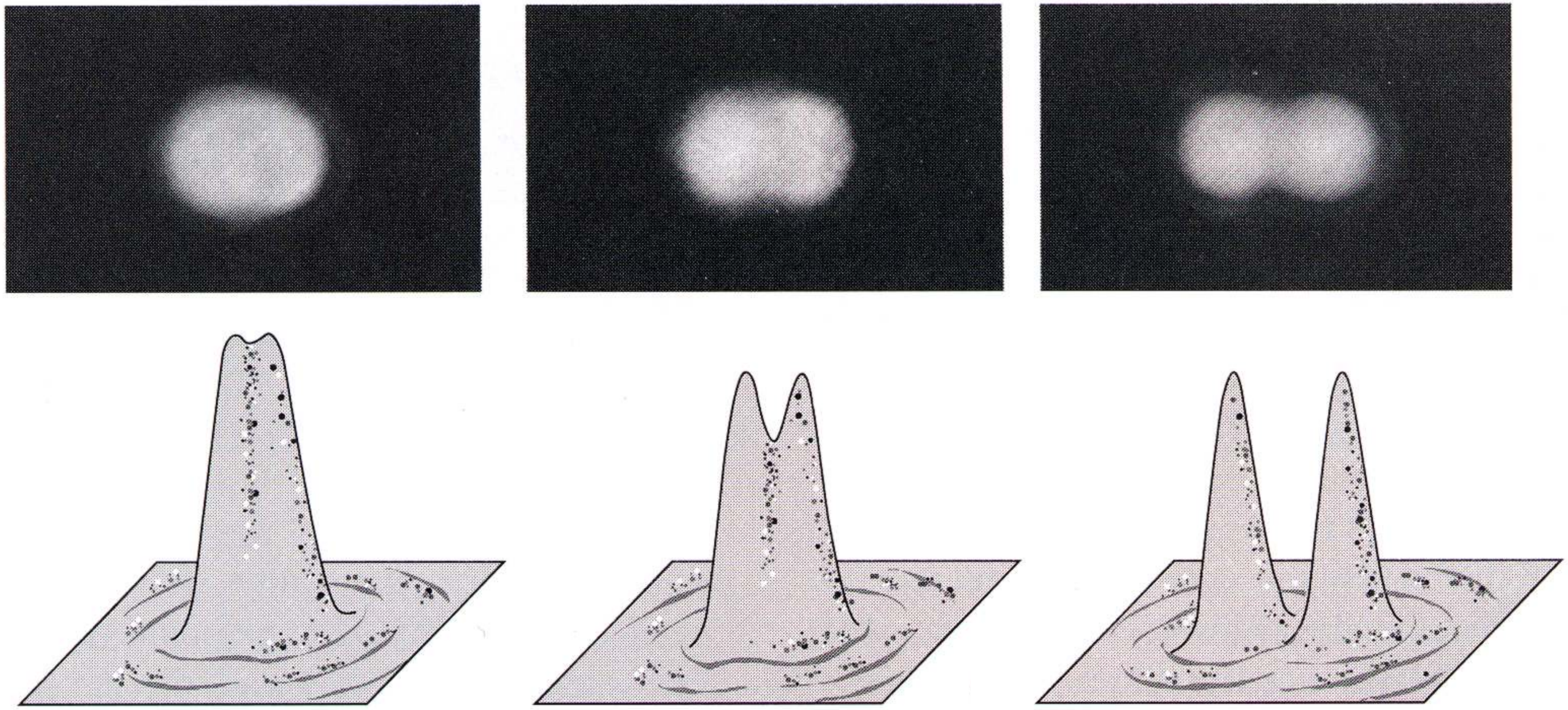
ouverture circulaire
de diamètre *D*

$$\sin\,\theta_{1min} = 1.22\frac{\lambda}{D}$$

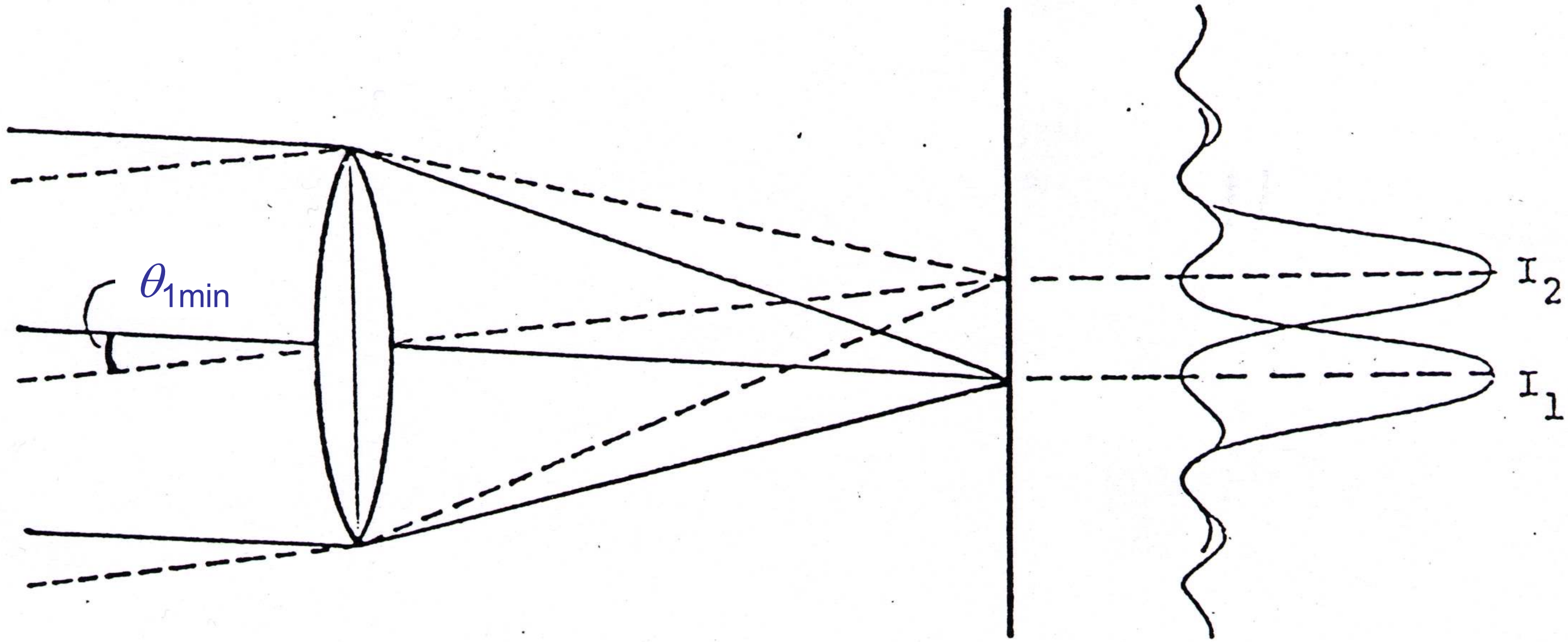
à comparer avec la fente linéaire où

$$\sin\theta_{1min} = \frac{\lambda}{a}$$

Pouvoir de résolution : Critère de Rayleigh

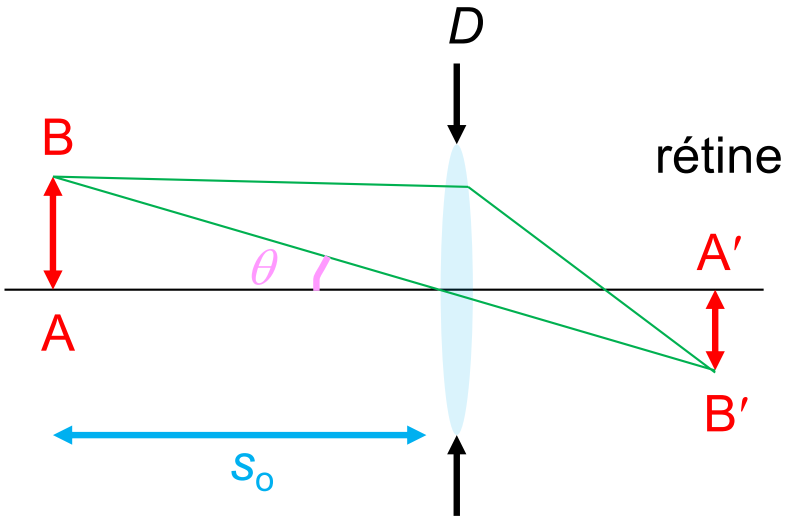


Pouvoir de résolution d'une ouverture circulaire



$$\sin\,\theta_{1min} = 1.22\frac{\lambda}{D}$$

Pouvoir de résolution de l'œil humain



$$\sin\theta_{min} = \frac{1.22\,\lambda}{D}$$

$$\sin\theta_{min} \cong \tan\theta_{min} = \frac{AB_{min}}{s_o}$$

$$AB_{min} = \frac{1.22\,\lambda\, s_o}{D}$$

$D = 2$ mm

$s_o = 25$ cm

$\lambda = 0.5$ µm

$$AB_{min} = 1.22 \cdot 0.5\ \mu\text{m} \cdot \frac{25\ \text{cm}}{0.2\ \text{cm}} \cong 75\ \mu\text{m}$$

Cours 04

Optique physique

- Interférence
  - Couches minces, couche anti-reflet
  - Interféromètre de Michelson

- Diffraction
  - 1 fente
  - Ouverture circulaire
  - Pouvoir de résolution