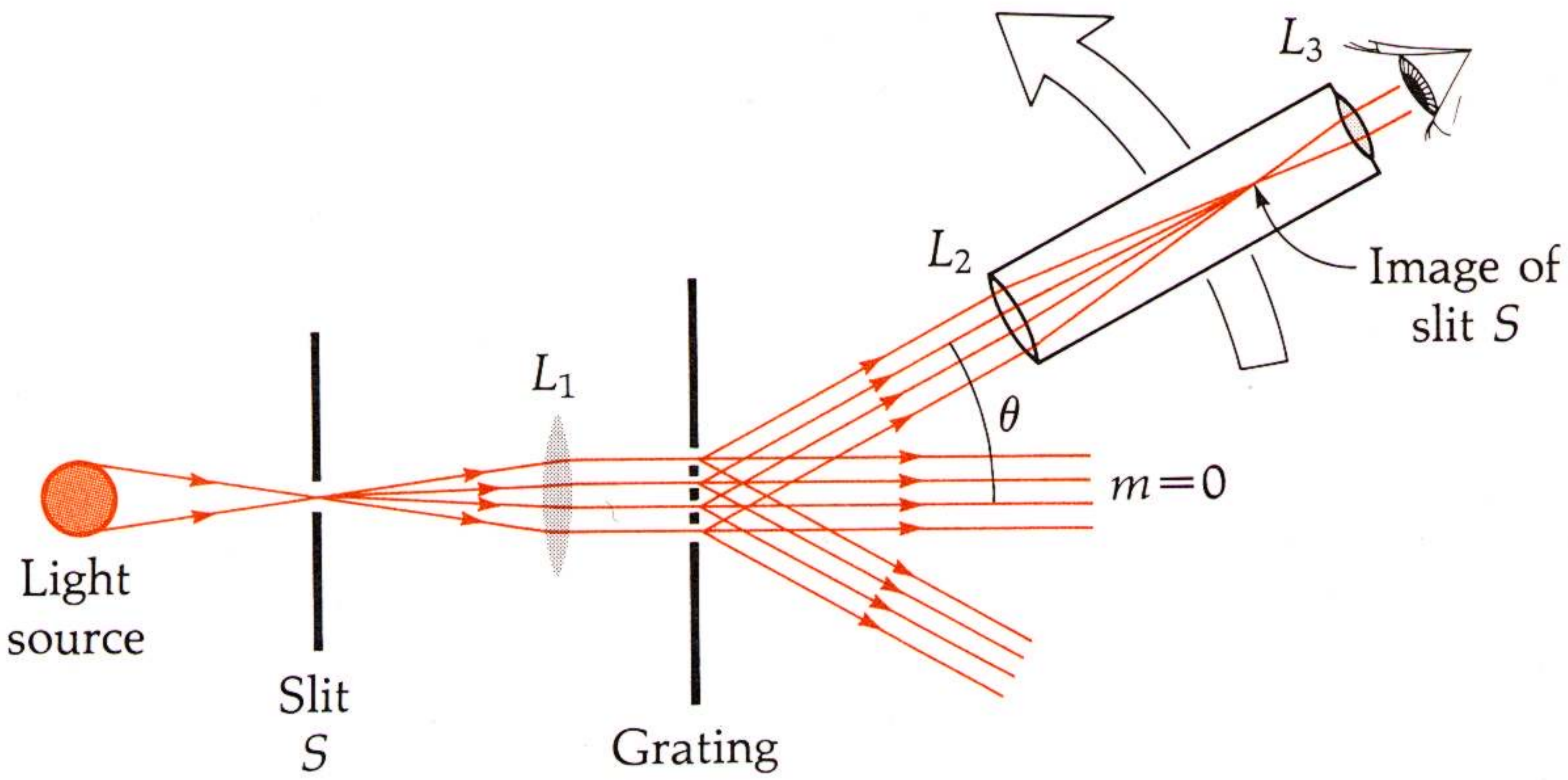
Cours 05

Optique physique

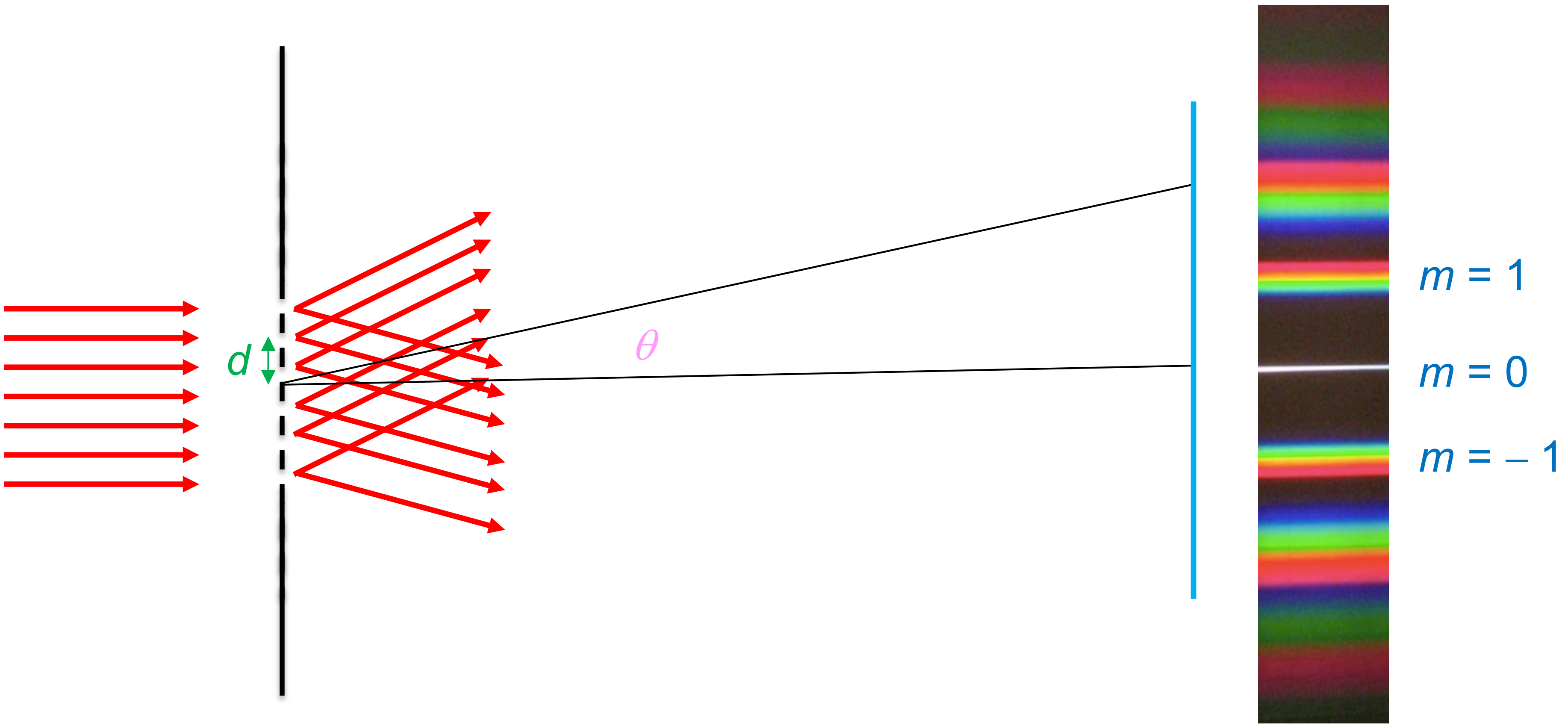
- Réseaux
  - Interférence et diffraction combinées
  - Propriétés de réseaux
  - Diffraction de rayons X
- Polarisation
  - Polariseur
  - Loi de Malus
  - Angle de Brewster (rappel)
  - Polarisation par diffusion

Réseau de diffraction



Réseaux : notions générales

Avec un réseau, on obtient la séparation des longueurs d'onde λ



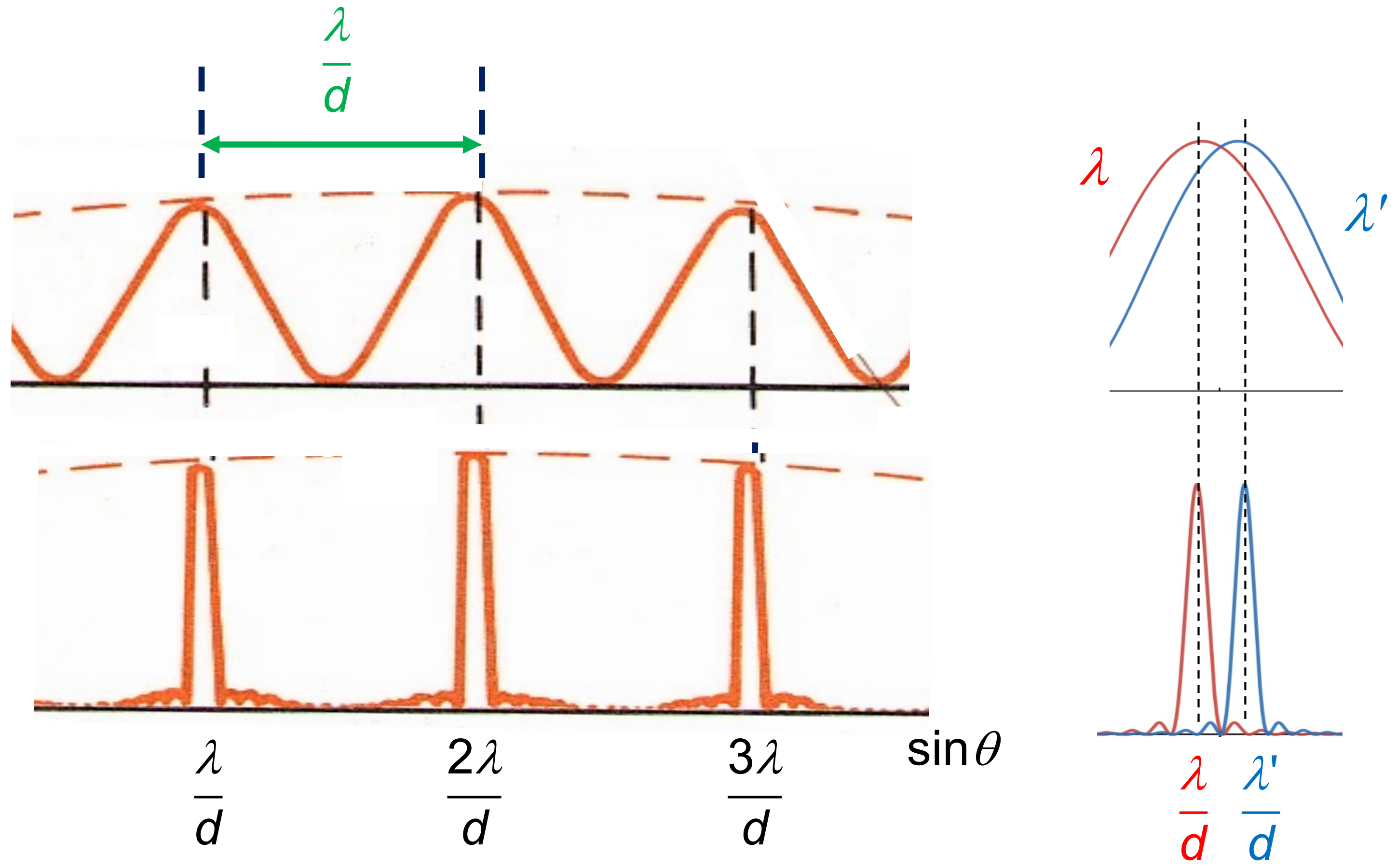
Interférence: $\sin\theta_{max} = m\,\dfrac{\lambda}{d}$ où m est l'ordre de l'interférence

Des longueurs d'onde λ différentes ont des θ_{max} différents !

Réseaux : notions générales

2 fentes

N fentes



Interférence et diffraction combinées

Calcul pour *N* fentes

$$E\,(\,r_0,\ \theta,\ t\,)\ =\ A\sum_{n=1}^{N}\int_{-a/2}^{a/2} dx\ \sin\,(\,k\,r_\mathrm{n} - k\,x\,\sin\theta - \omega\,t\ \,)$$

Intensité pour 2 fentes (*N* = 2)

$$I\ =\ I_0\ \cdot\ 4\cos^2(\,\pi\,d\,\sin\theta/\,\lambda\,)\ \cdot\ \frac{\sin^2(\,\pi\,a\,\sin\theta/\,\lambda\,)}{(\,\pi\,a\,\sin\theta/\,\lambda\,)^2}$$

interférence de 2 fentes séparées de *d*

diffraction d'une fente de largeur *a*

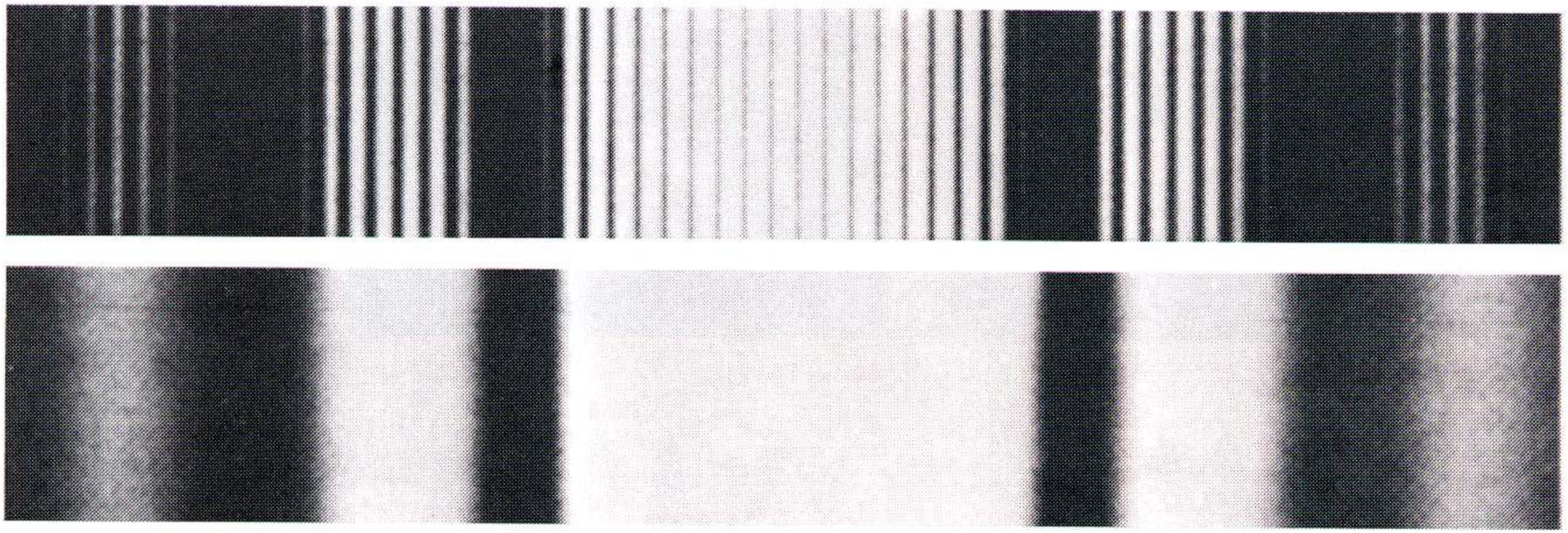
Intensité pour *N* fentes

$$I\ =\ I_0\ \cdot\ \frac{\sin^2(\,N\,\pi\,d\,\sin\theta/\,\lambda\,)}{\sin^2(\,\pi\,d\,\sin\theta/\,\lambda)}\ \cdot\ \frac{\sin^2(\,\pi\,a\,\sin\theta/\,\lambda\,)}{(\,\pi\,a\,\sin\theta/\,\lambda\,)^2}$$

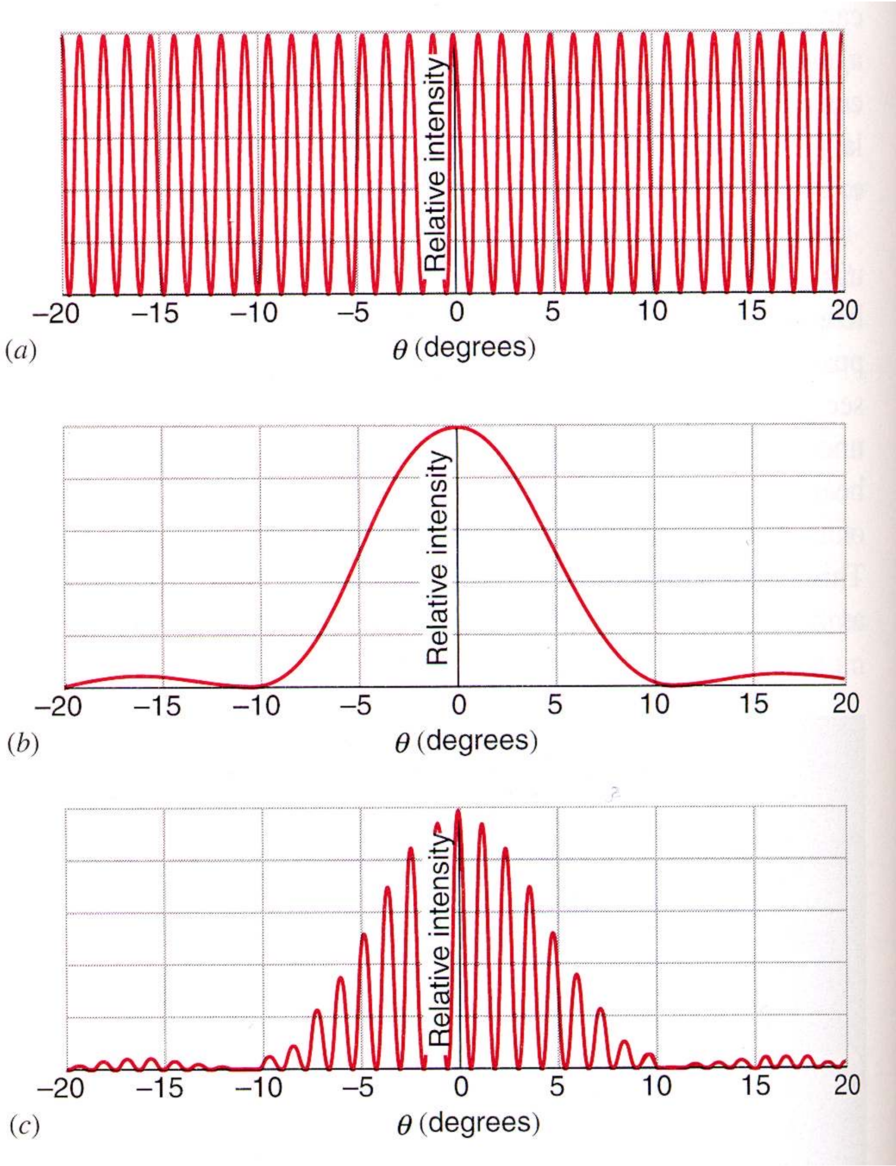
interférence de *N* fentes séparées de *d*

diffraction d'une fente de largeur *a*

Interférence et diffraction



Interférence et diffraction

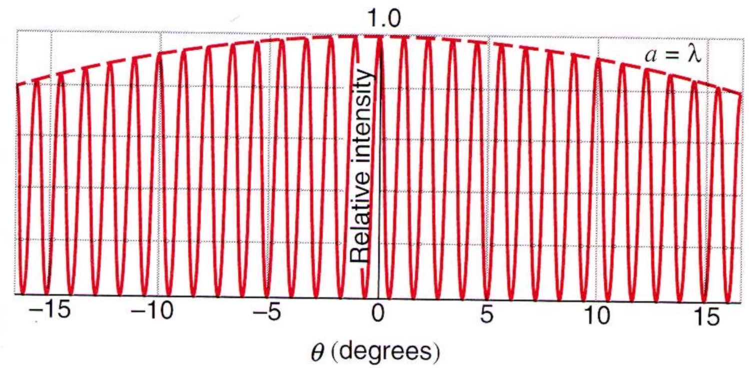


Interférence 2 fentes à distance d

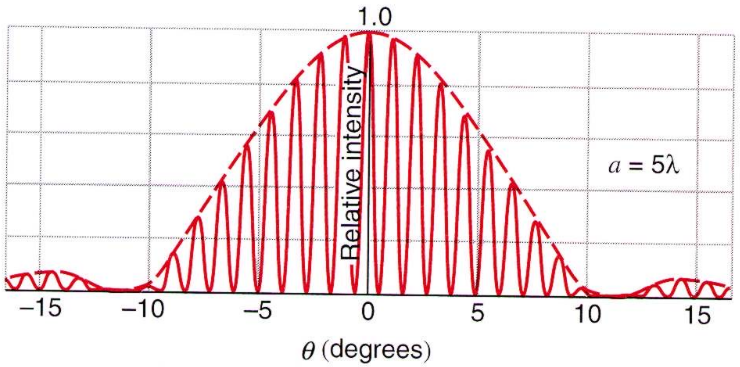
Diffraction 1 fente de largeur a

Interférence/diffraction de 2 fentes de largeur a à distance d

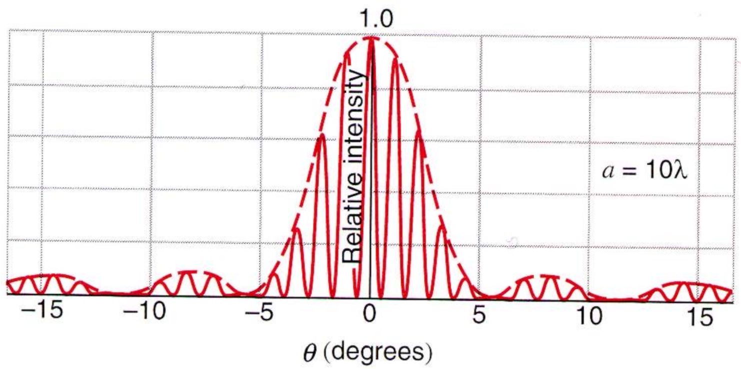
Interférence et diffraction par deux fentes



$a = \lambda$

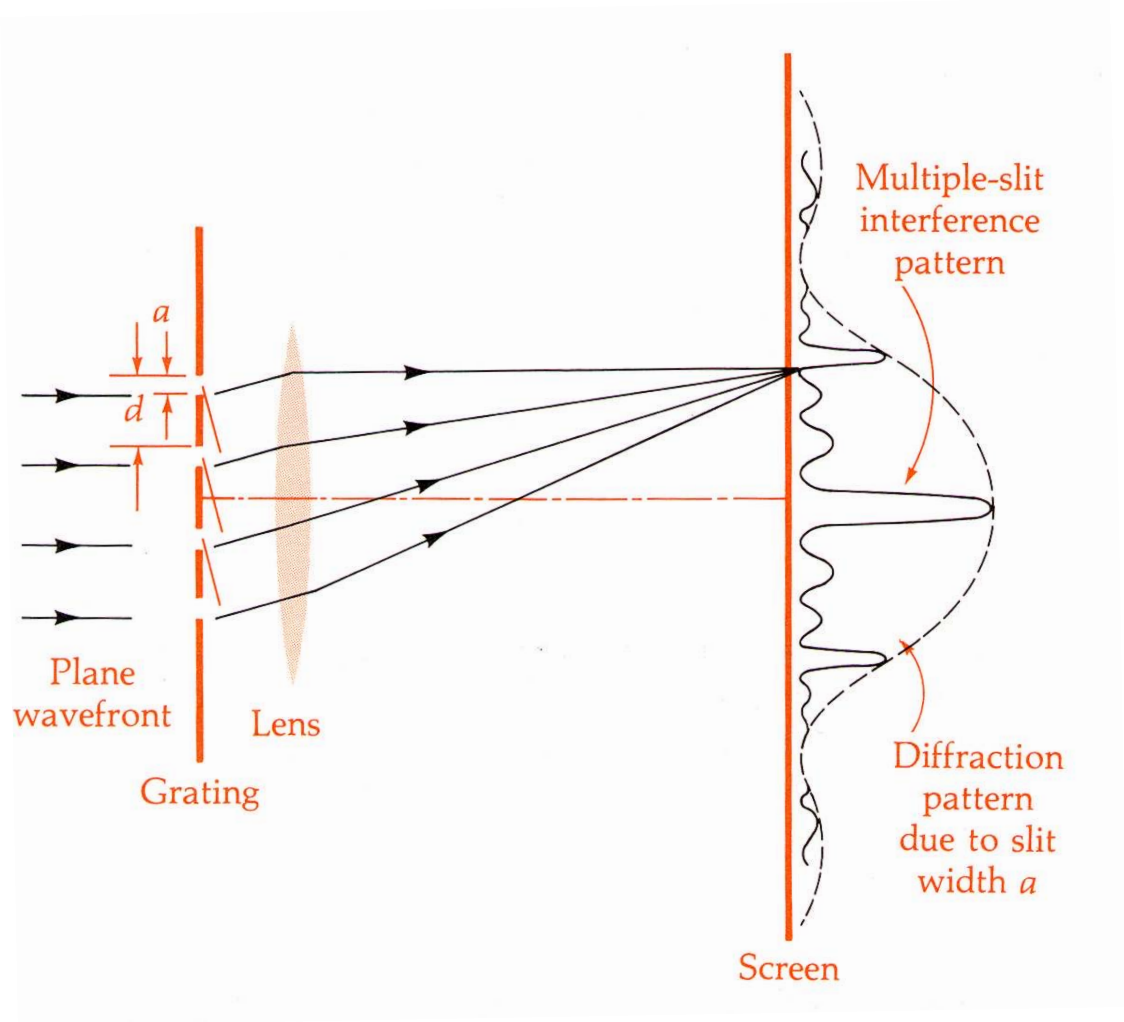


$a = 5\lambda$

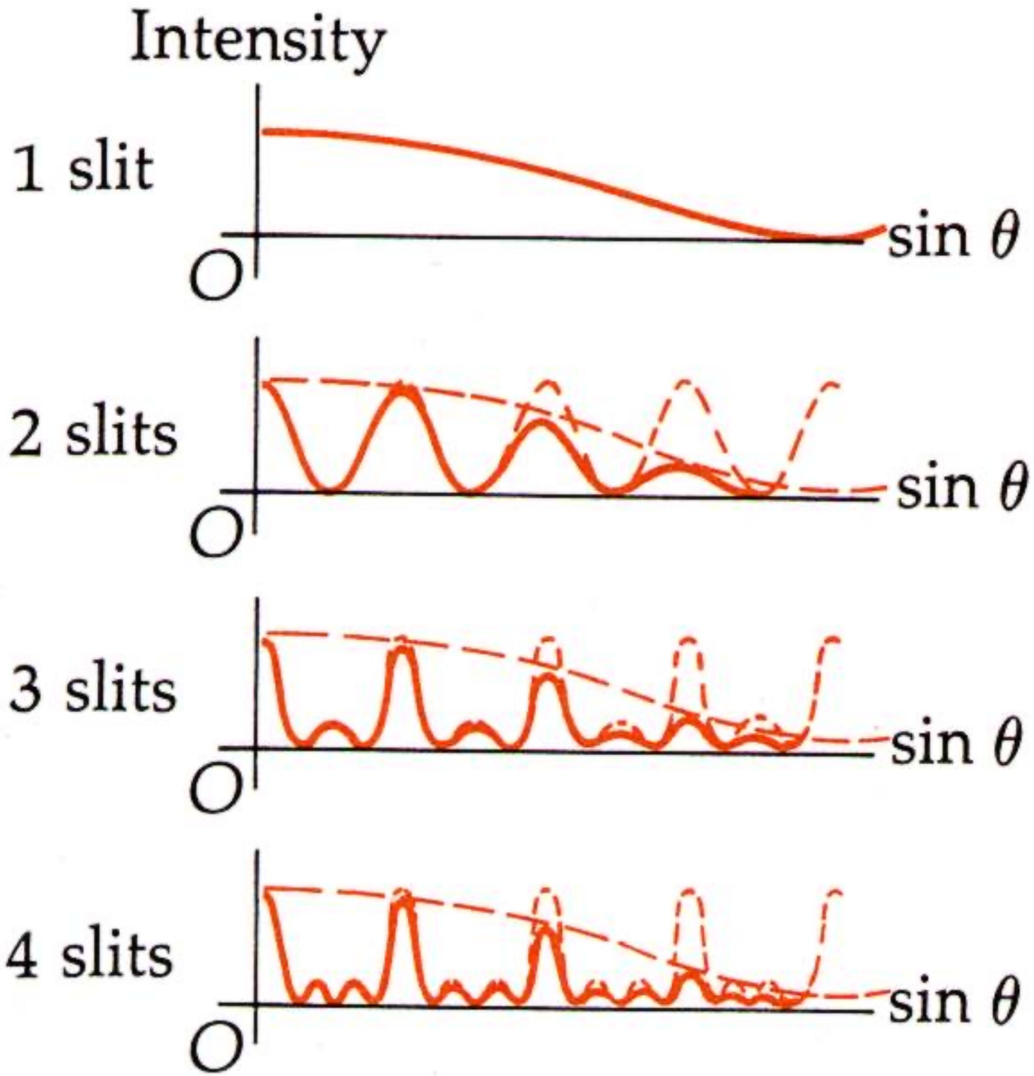


$a = 10\lambda$

Réseaux à quatre fentes



Réseaux: diffraction et interference



Propriétés de réseaux : Pouvoir de dispersion

$D = \dfrac{\Delta\theta_m}{\Delta\lambda}$ où θ_m correspond à l'angle de l'interférence constructive d'ordre m

$$\sin\theta_m = m\,\frac{\lambda}{d}$$

En différenciant …

$$\sin\theta'_m = m\,\frac{\lambda'}{d}$$

$$\sin(\theta_m + \Delta\theta_m) = \frac{m}{d}(\lambda + \Delta\lambda)$$

$$\cancel{\sin\theta_m} + \cos\theta_m\,\Delta\theta_m = \cancel{\frac{m}{d}\lambda} + \frac{m}{d}\Delta\lambda$$

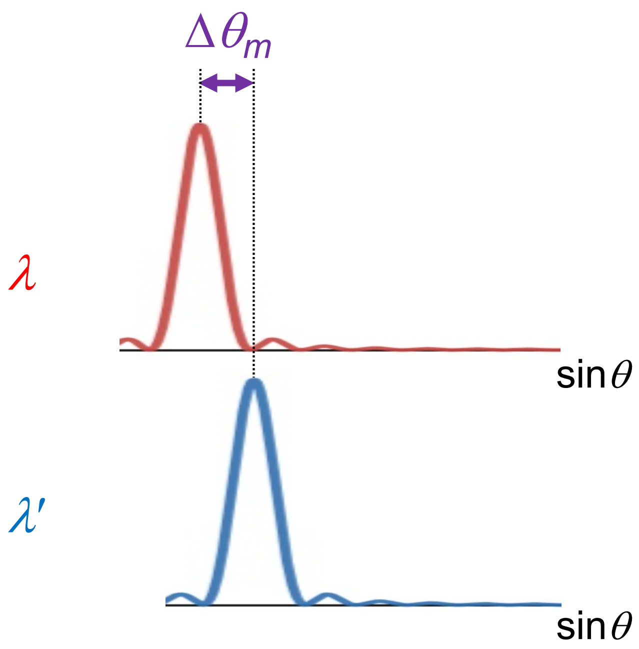
$$\cos\theta_m\,\Delta\theta_m = \frac{m}{d}\,\Delta\lambda$$

$$D = \frac{\Delta\theta_m}{\Delta\lambda} = \frac{m}{d\cos\theta_m} \xRightarrow{\theta_m \ll 1} \boxed{D = \frac{m}{d}}$$

- $D = 0$ pour $m = 0$
- $d\downarrow \;\Rightarrow D\uparrow$

Propriétés de réseaux : Pouvoir de résolution

$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$ où $\Delta\lambda = \lambda - \lambda'$ est le plus petit possible avec λ' résolue



Pour que λ' soit résolue, on applique le critère de Rayleigh au réseau de N fentes :

$$\Delta\theta_m = \frac{\lambda}{Nd} \qquad (**)$$

En utilisant $D = \frac{\Delta\theta_m}{\Delta\lambda} = \frac{m}{d}$ (page précédente) $\Rightarrow$ $\Delta\lambda = \frac{d}{m}\Delta\theta_m$ (*)

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \overset{(*)}{=} \frac{m\lambda}{d\Delta\theta_m} \overset{(**)}{\Rightarrow} \boxed{R = m \cdot N}$$

Propriétés de réseaux : Résumé

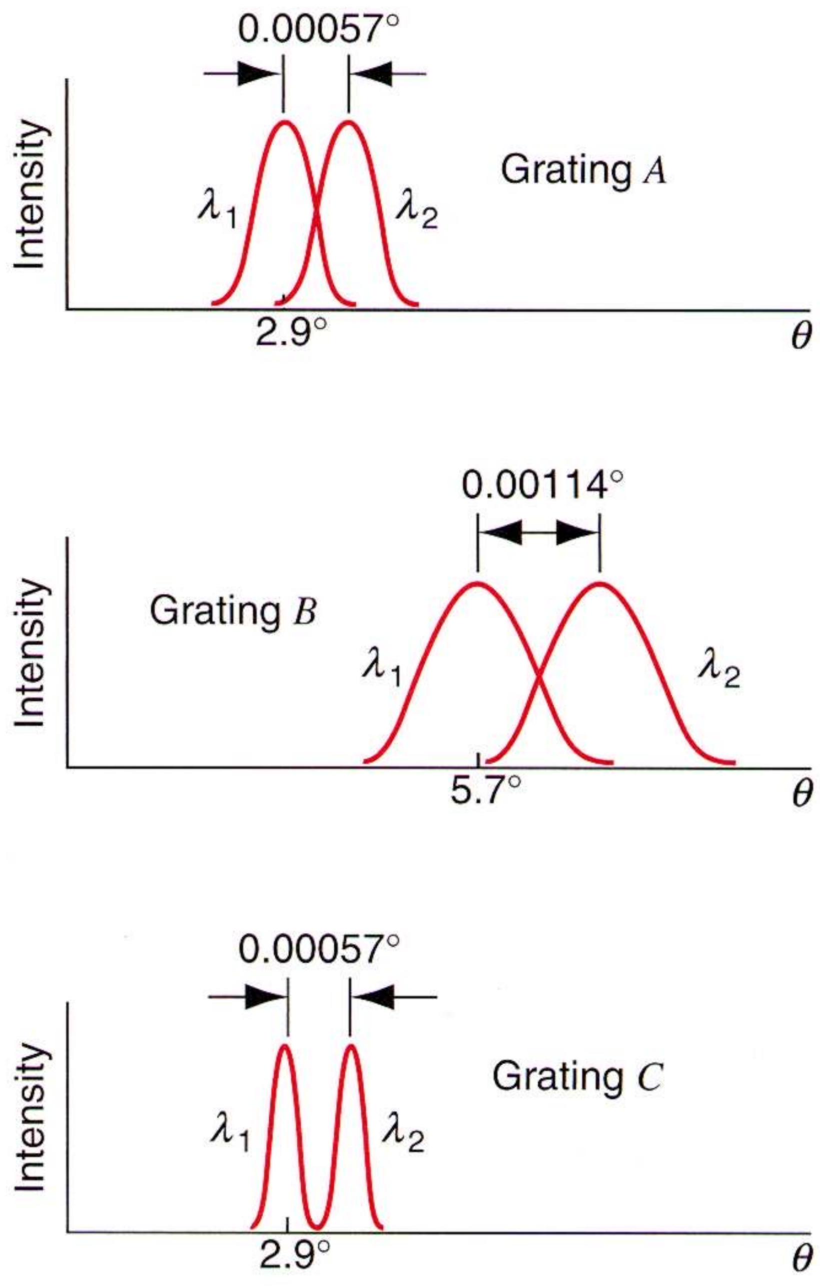
- Pouvoir de dispersion : $D = \frac{m}{d}$
- Pouvoir de résolution : $R = m \cdot N$
- Position de la ligne : $\sin\theta_m = m \frac{\lambda}{d}$
- Demi-largeur de la ligne : $\Delta\theta_m = \frac{\lambda}{Nd}$

Propriétés de trois réseaux

TABLE 43-1 Properties of Three Gratings[a]

Grating	*N*	*d* (nm)	θ	*R*	*D* (10^{-4} rad/nm)
A	5,000	10,000	2.9°	5,000	1.0
B	5,000	5,000	5.7°	5,000	2.0
C	10,000	10,000	2.9°	10,000	1.0

[a] For $\lambda = 500$ nm and $m = 1$.



Commentaires concernant les 3 réseaux

- Le réseau B a le plus grand pouvoir de dispersion D
  parce que $D = \dfrac{m}{d}$ (dernière colonne) :
    - $m = 1$ pour les trois réseaux
    - d est le plus petit pour le réseau B

- Le réseau C a le plus grand pouvoir de resolution R
  parce que $R = m \cdot N$ (avant-dernière colonne) :
    - $m = 1$ pour les trois réseaux
    - N est le plus grand pour le réseau C

Rayons X

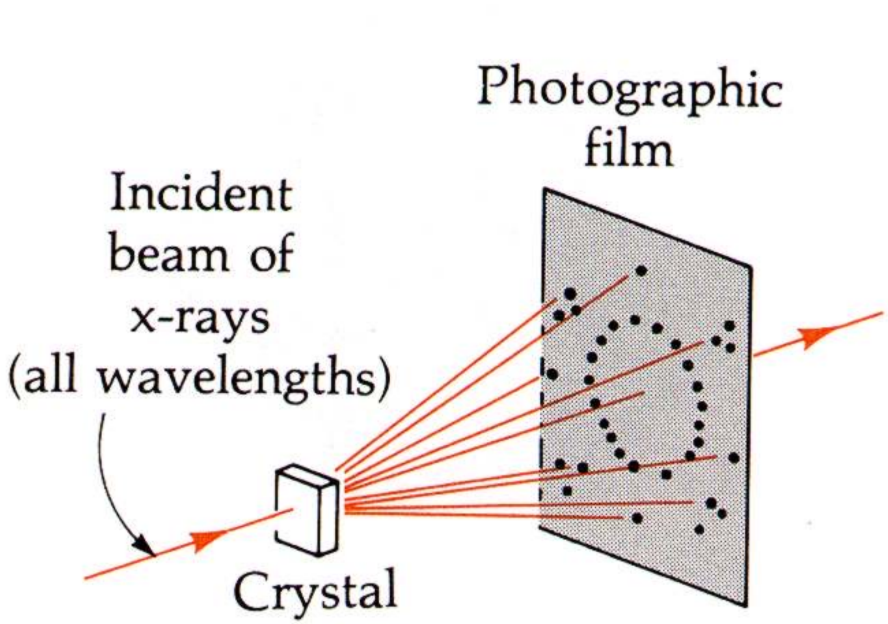
Lumière : λ = 500 nm = 0.5 μm

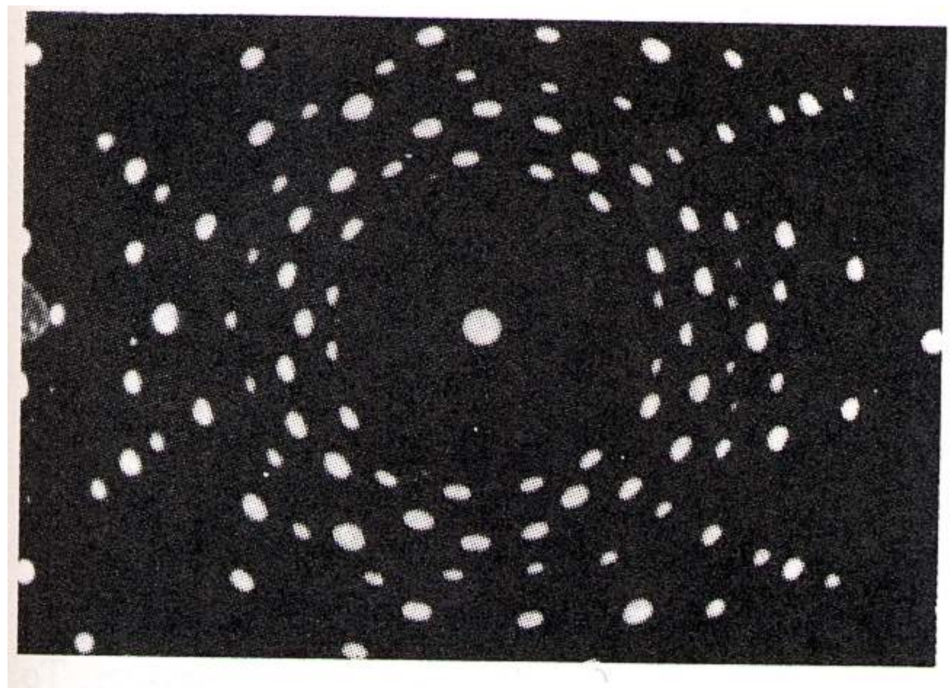
Rayons X : λ = 0.1 nm = 1 Å

Application : détermination de la structure cristalline

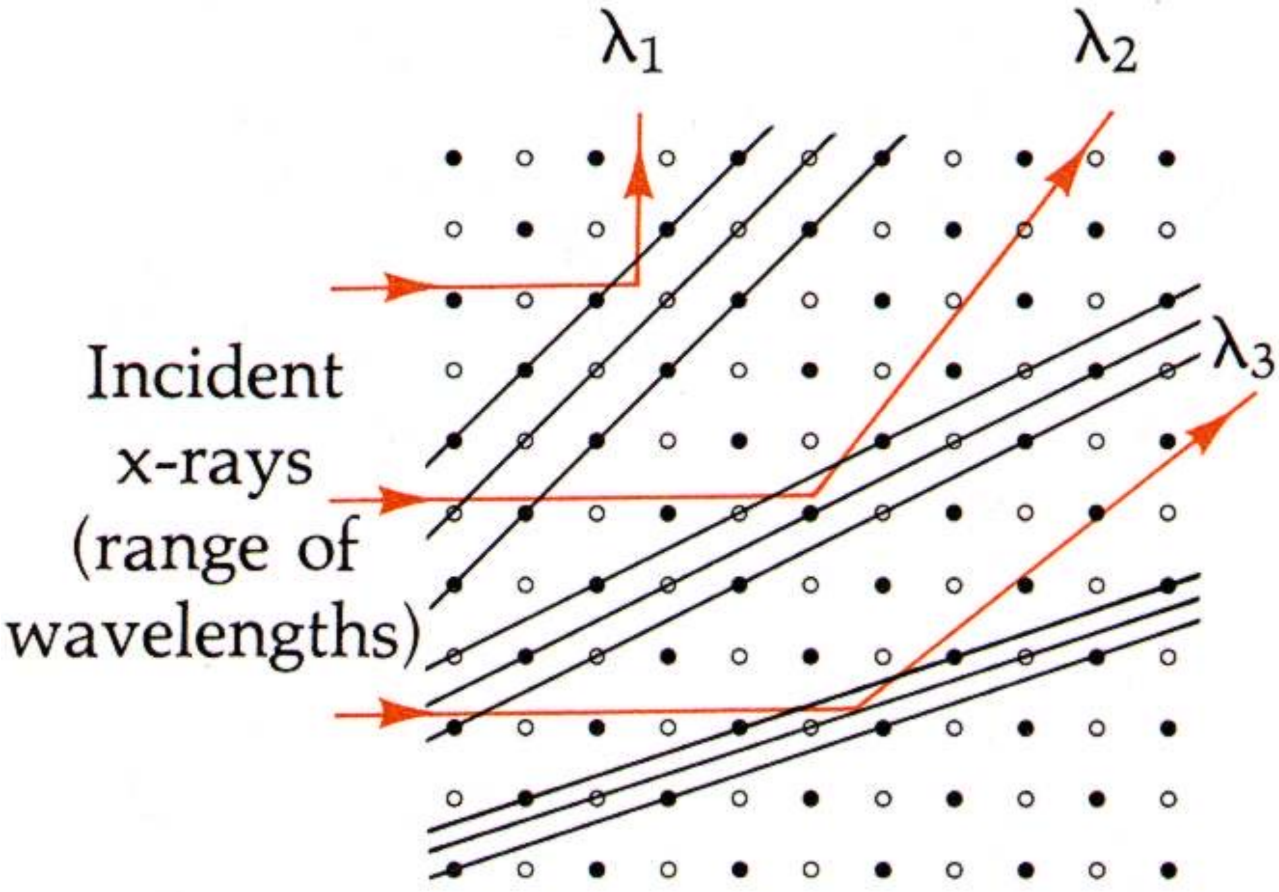
Le cristal agit comme un réseau de diffraction 3-dimensionnel

Expérience de von Laue

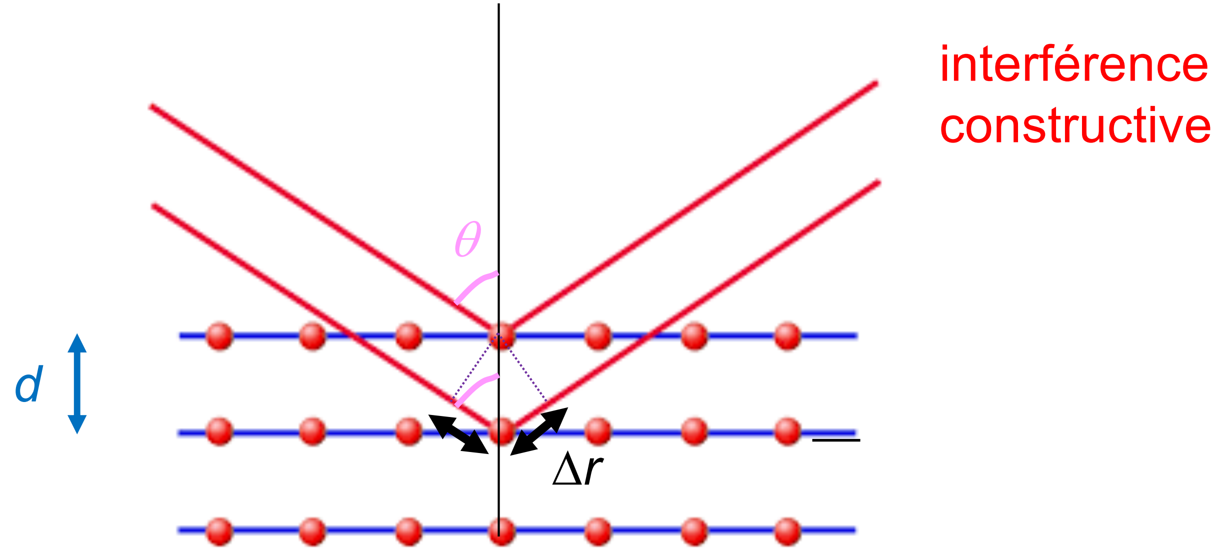




Diffraction Bragg : Famille de plans



Diffraction à rayons X : Loi de Bragg



$$\cos\theta = \frac{\Delta r}{d}$$

chemin optique : $2\Delta r = 2d\cos\theta$

construction de la phase : $\Delta\phi = k \cdot (2\,\Delta r) = \dfrac{2\pi}{\lambda}\,2d\cos\theta$ $\qquad n = 1$ pour rayons X

condition d'interférence constructive : $\Delta\phi = m \cdot 2\pi$

Loi de Bragg : $\boxed{2d\cos\theta = m\,\lambda}$

Cours 05

Optique physique

- Réseaux
  - Interférence et diffraction combinées
  - Propriétés de réseaux
  - Diffraction de rayons X
- Polarisation
  - Polariseur
  - Loi de Malus
  - Angle de Brewster (rappel)
  - Polarisation par diffusion

Polarisation : Notions générales

- Nature transverse des ondes électromagnétiques.

- Phénomènes où l'orientation du champs électrique $\vec{E}$ est essentielle :

$$E_x(z,t) = E_{0x} \sin[kz - \omega t + \phi_x(t)]$$

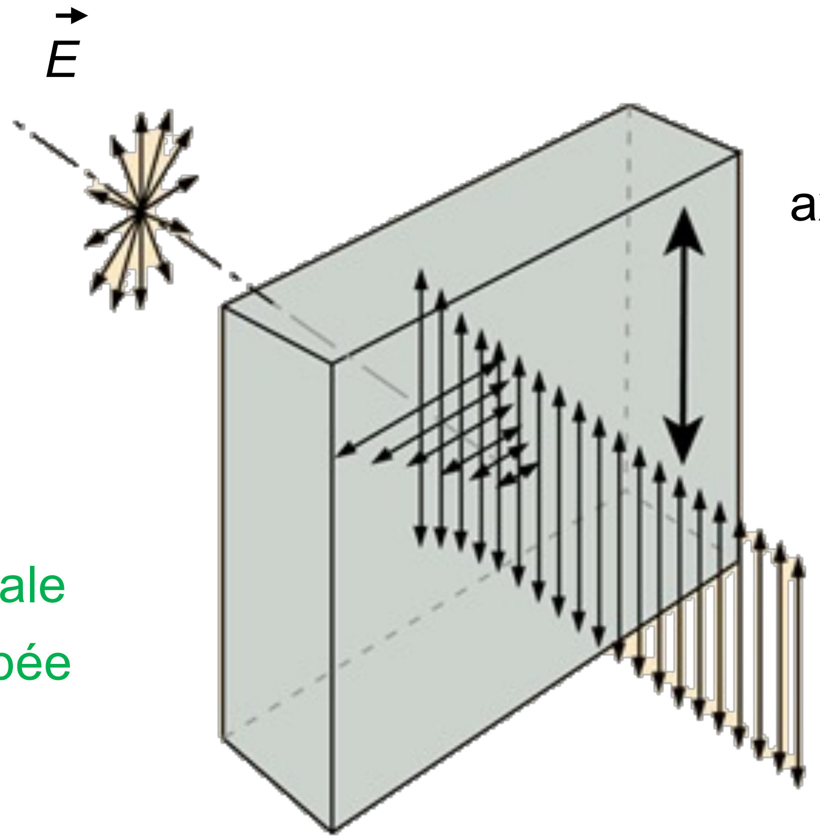
$$E_y(z,t) = E_{0y} \sin[kz - \omega t + \phi_y(t)]$$

- Lumière non-polarisée : $\Delta\phi(t) = \phi_x(t) - \phi_y(t)$ fluctue rapidement.

- Lumière polarisée : $\Delta\phi(t)$ ne dépend pas du temps.

  - $\Delta\phi = 0, \pi$ polarization linéaire
  - $\Delta\phi \neq 0$ polarization elliptique
  - $\Delta\phi \neq \pm\pi/2$ et $E_{0x} = E_{0y}$ polarization circulaire

Polariseur

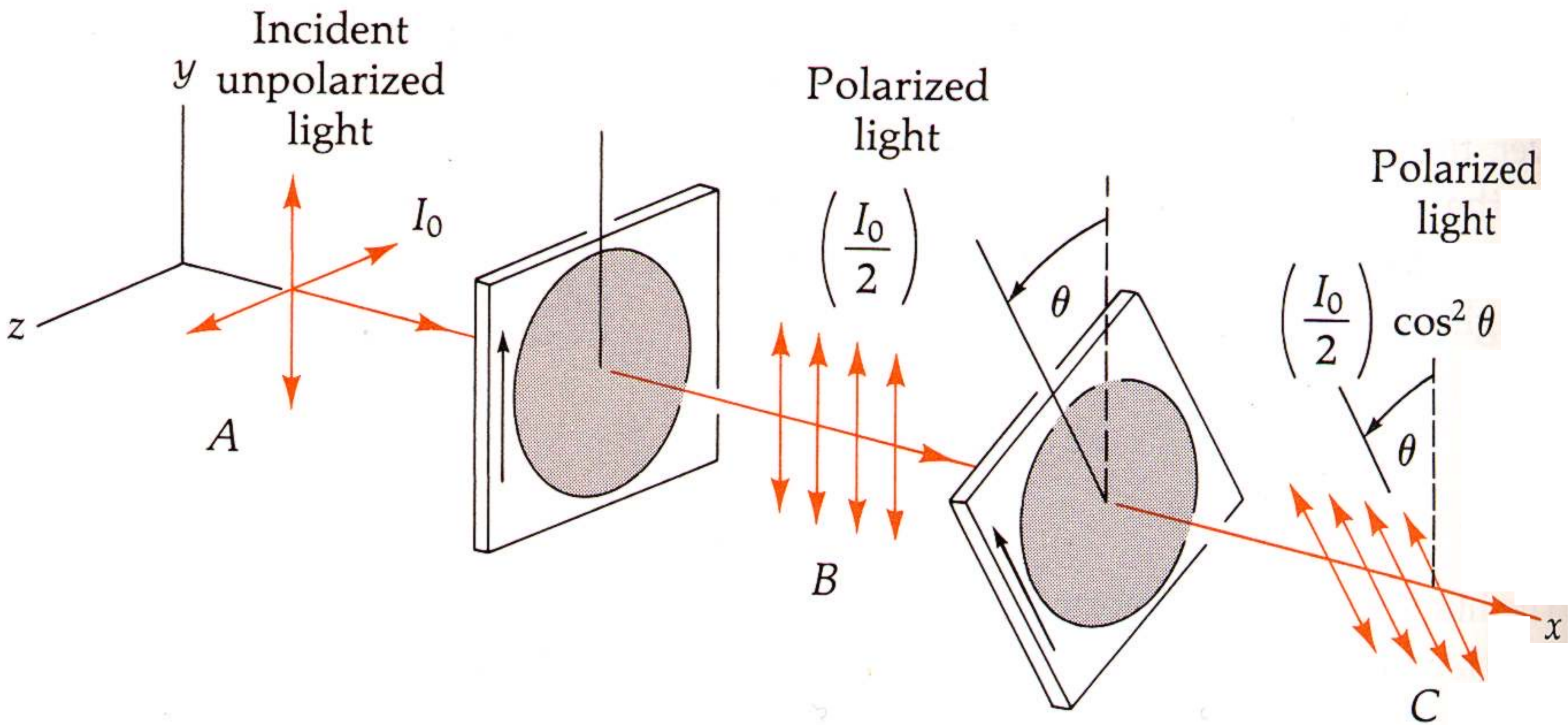


axe de polarisation vertical

composante horizontale
complètement absorbée

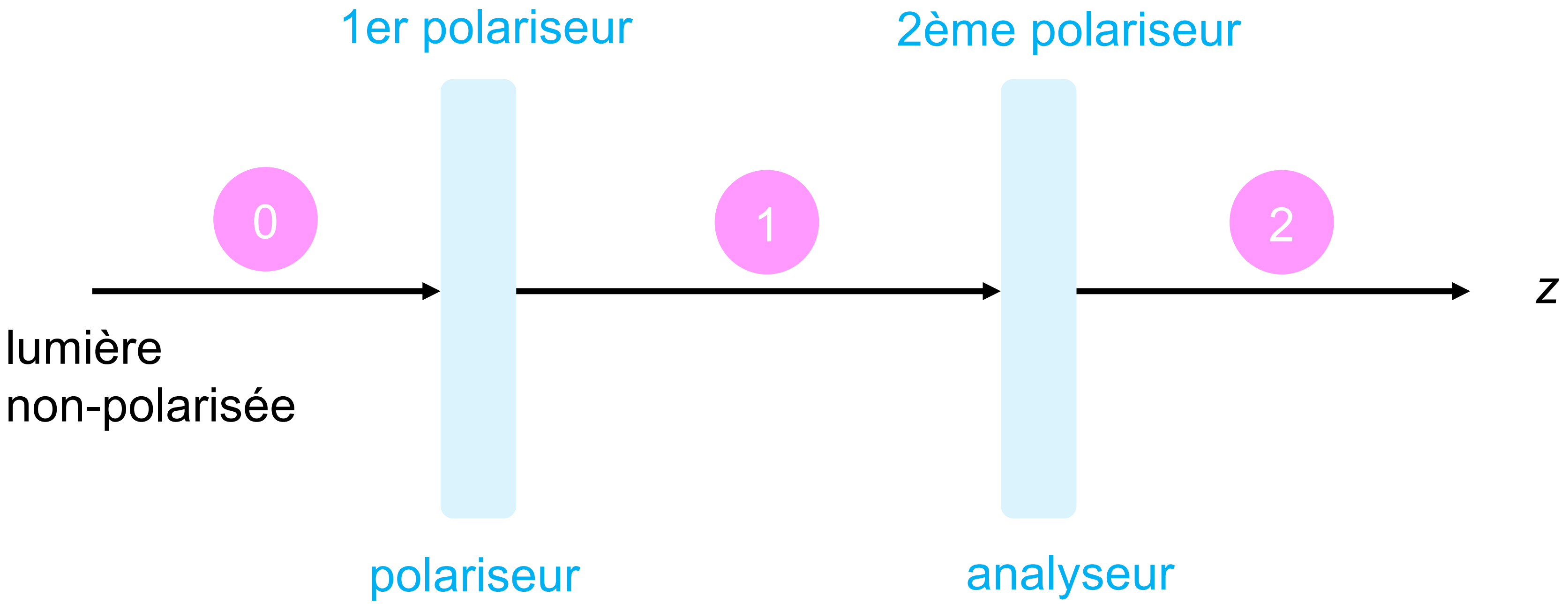
composante verticale
absorbée partiellement

Loi de Malus



Incident unpolarized light
y
z
I_0
A
Polarized light
$\left(\frac{I_0}{2}\right)$
B
θ
Polarized light
$\left(\frac{I_0}{2}\right)\cos^2\theta$
θ
C
x

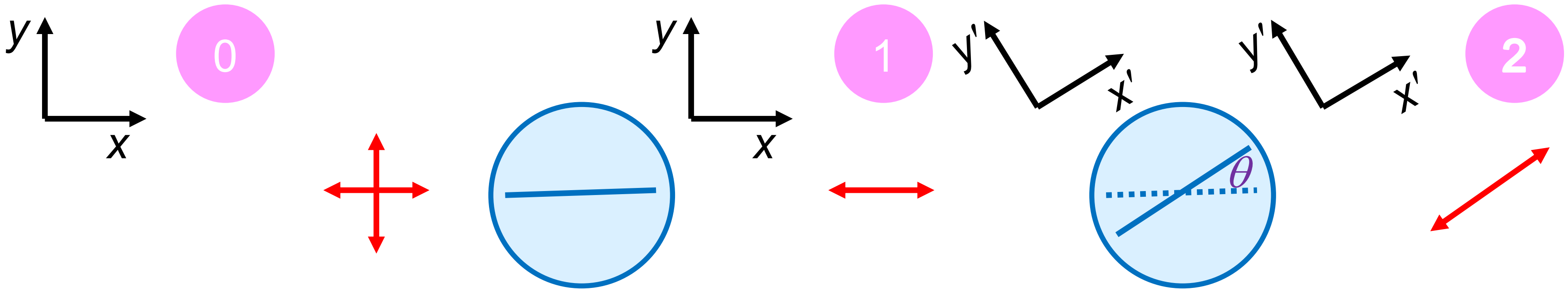
Loi de Malus



1er polariseur
2ème polariseur
0
1
2
z
lumière
non-polarisée
polariseur
analyseur

Loi de Malus

Champ électrique



lumière nonpolarisée

lumière polarisée le long de x

lumière polarisée le long de x'

$$\begin{cases} E_{0x} \\ E_{0y} \end{cases} \qquad \begin{cases} E_{1x} = E_{0x} \\ E_{1y} = 0 \end{cases} \qquad \begin{cases} E_{1x'} = E_{0x}\cos\theta \\ E_{1y'} = -\,E_{0x}\sin\theta \end{cases} \qquad \begin{cases} E_{2x'} = E_{0x}\cos\theta \\ E_{2y'} = 0 \end{cases}$$

Intensité

$$I_0 = c\varepsilon_0 \langle \vec{E}_0^{\,2} \rangle = c\varepsilon_0(\langle E_{0x}^2\rangle + \langle E_{0y}^2\rangle)$$

$$I_1 = c\varepsilon_0 \langle \vec{E}_1^{\,2} \rangle = c\varepsilon_0\langle E_{0x}^2\rangle = I_0/2$$

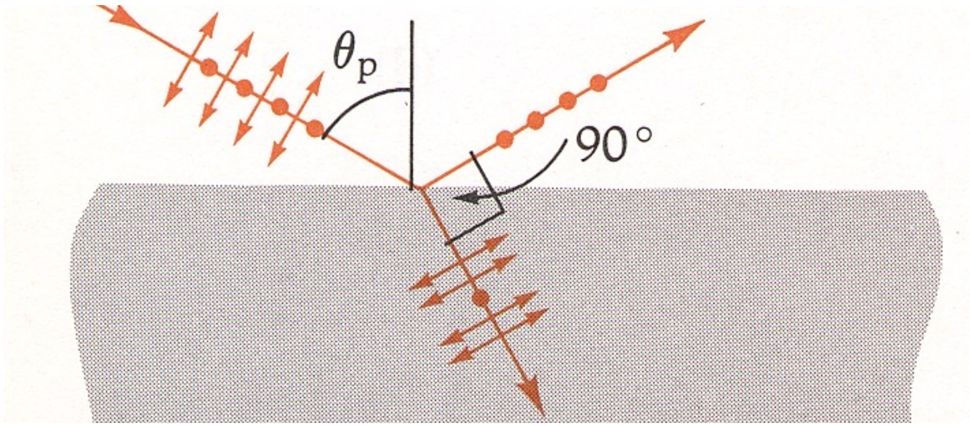
$$I_2 = c\varepsilon_0 \langle \vec{E}_2^{\,2} \rangle = c\varepsilon_0\langle E_{0x}^2\rangle\cos^2\theta$$

Loi de Malus: $I_2 = \frac{1}{2} I_0 \cos^2\theta$

Polarisation par réflexion: angle de Brewster (rappel)

Rélation de Fresnel

$$\left(\frac{E_{or}}{E_{oi}}\right)_{\perp} = -\frac{n_1 \cos\theta_t - n_2 \cos\theta_i}{n_1 \cos\theta_t + n_2 \cos\theta_i}$$

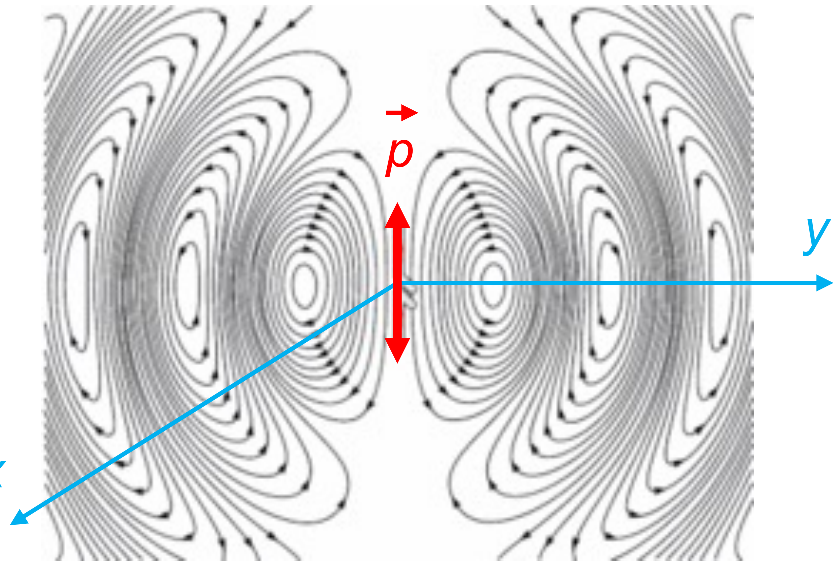


Angle de Brewster

$$\boxed{\tan\theta_B = \frac{n_2}{n_1}}$$

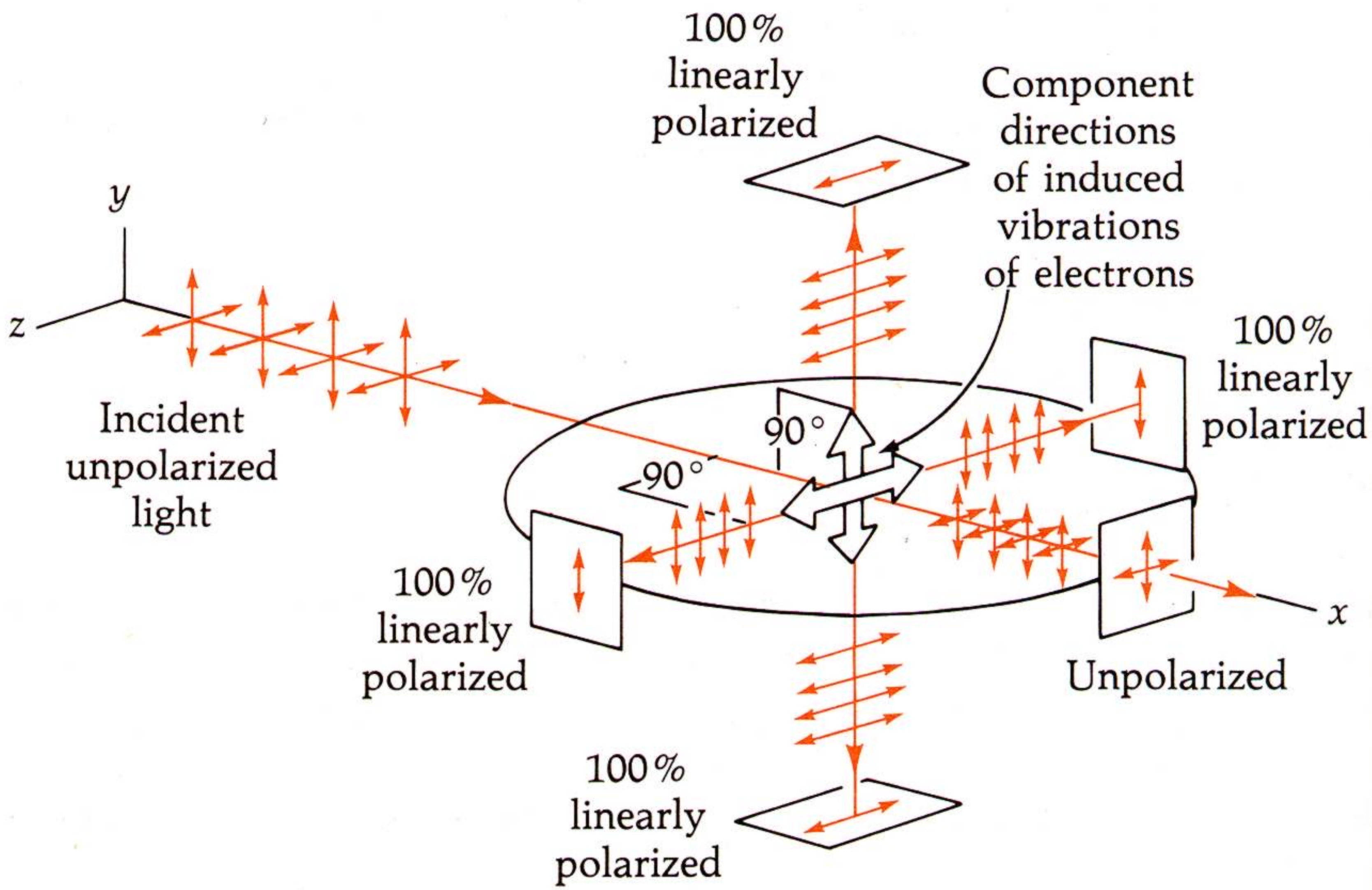
Champ électrique d'un dipole oscillant

$\vec{E} = 0$
dans l'axe



$\vec{E}$ // à $\vec{p}$
dans le plan *xy*

Polarisation par diffusion



Cours 05

Optique physique

- Réseaux
  - Interférence et diffraction combinées
  - Propriétés de réseaux
  - Diffraction de rayons X
- Polarisation
  - Polariseur
  - Loi de Malus
  - Angle de Brewster (rappel)
  - Polarisation par diffusion