

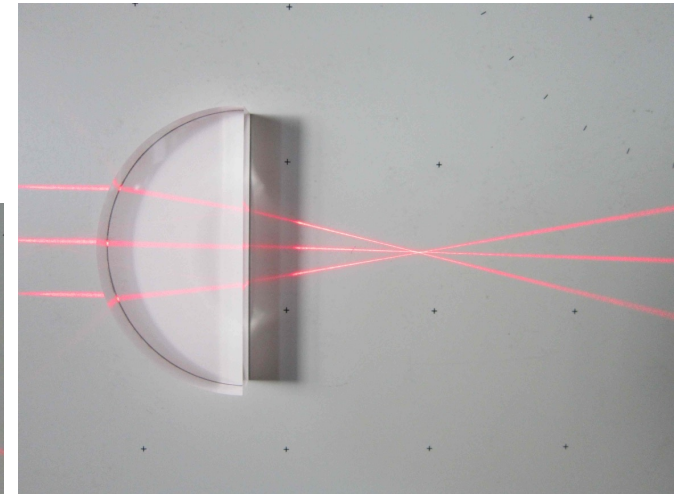
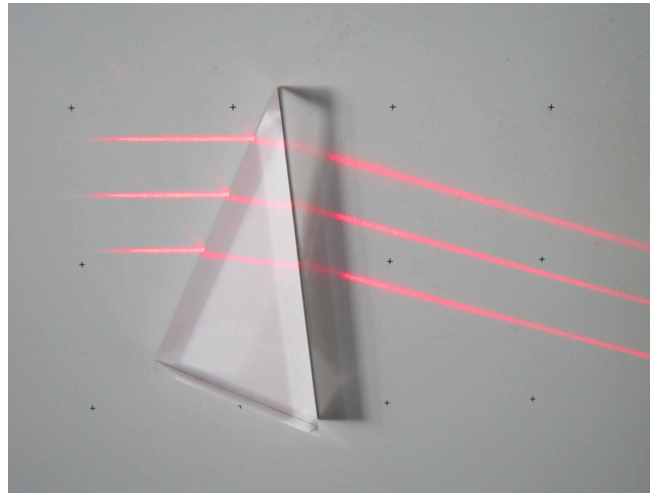
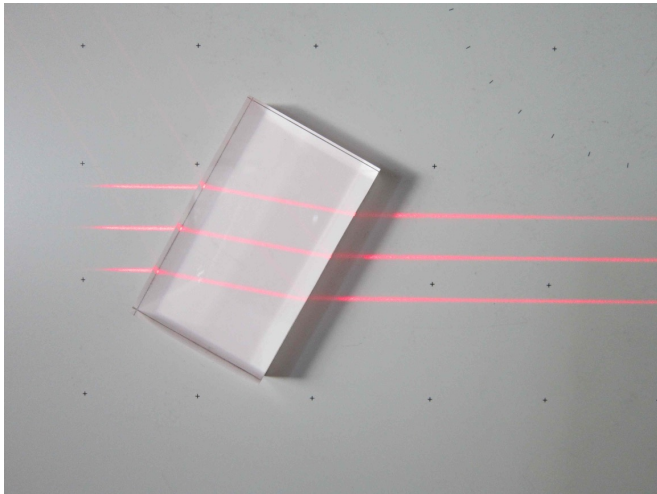
Optique I

Optique géométrique

Lentilles

Défauts des lentilles

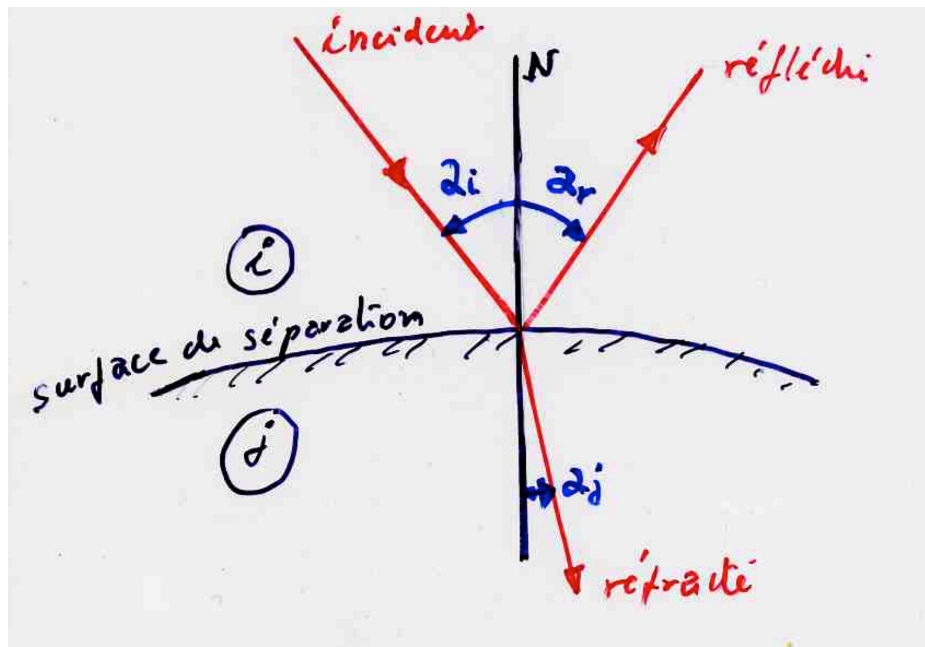
Instruments optiques



Optique géométrique

Notion de rayon lumineux

1. Propagation rectiligne dans milieu homogène et isotrope
2. Réversibilité des trajectoires
3. Indépendance des rayons



Lois de Snell - Descartes:

1. rayons et normale N dans un même plan
2. $\alpha_r = -\alpha_i$
3.
$$\frac{\sin \alpha_i}{\sin \alpha_j} = n_{ji} = \frac{u_i}{u_j}$$

Indice de réfraction

$$\frac{\sin \alpha_i}{\sin \alpha_j} = n_{ji} = \frac{u_i}{u_j}$$

n_{ji} = indice de réfraction de j par rapport à i

u_i = vitesse de la lumière dans le milieu i

si i = vide $\Rightarrow u_i = c = 299\,792\,458 \text{ ms}^{-1}$

$$\frac{c}{u_j} = n_j \quad \text{indice absolu}$$

$$n_{ji} = \frac{u_i}{u_j} = \frac{c}{u_j} \cdot \frac{u_i}{c} = \frac{n_j}{n_i}$$

air	1.000294
eau	1.33
verre Crown	1.52
verre Flint	1.60

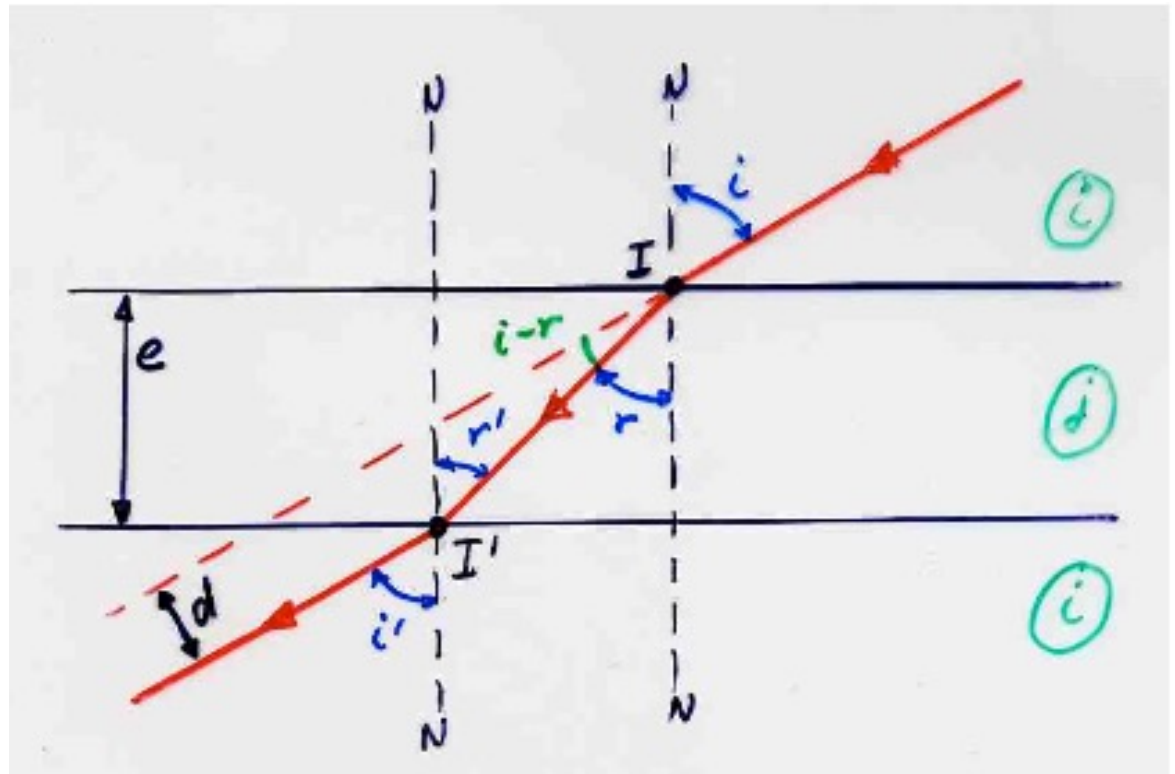
Indice de réfraction dépend de la fréquence de la lumière (couleur)!

Réfraction à travers une lame à faces parallèles

Un rayon lumineux qui traverse une lame à faces parallèles se déplace parallèlement à lui-même

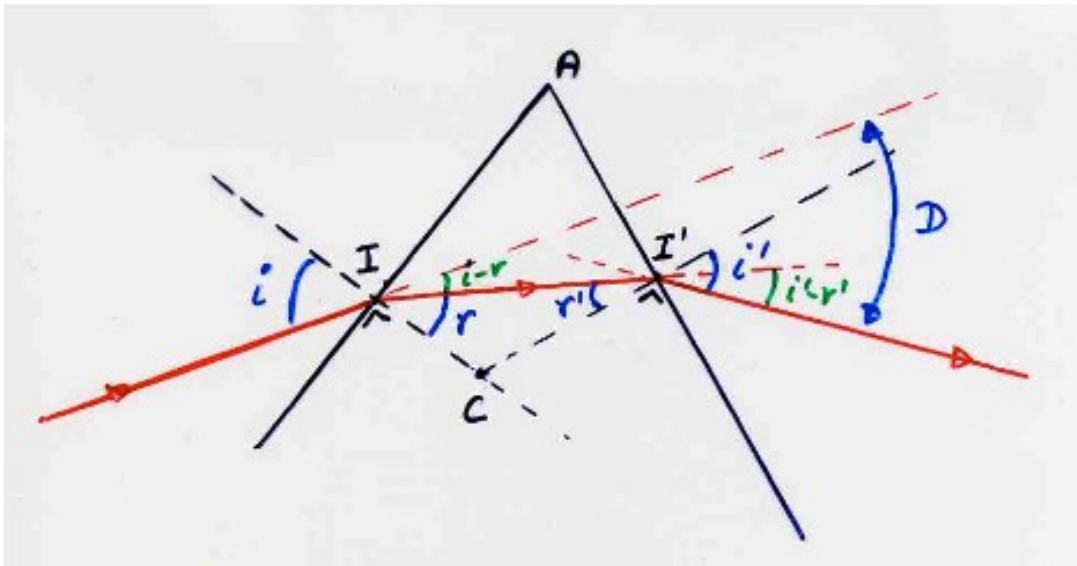
Déplacement

$$d = e \frac{\sin(i - r)}{\cos r}$$



Réfraction à travers un prisme

Déviation vers la base et dispersion de la lumière polychromatique



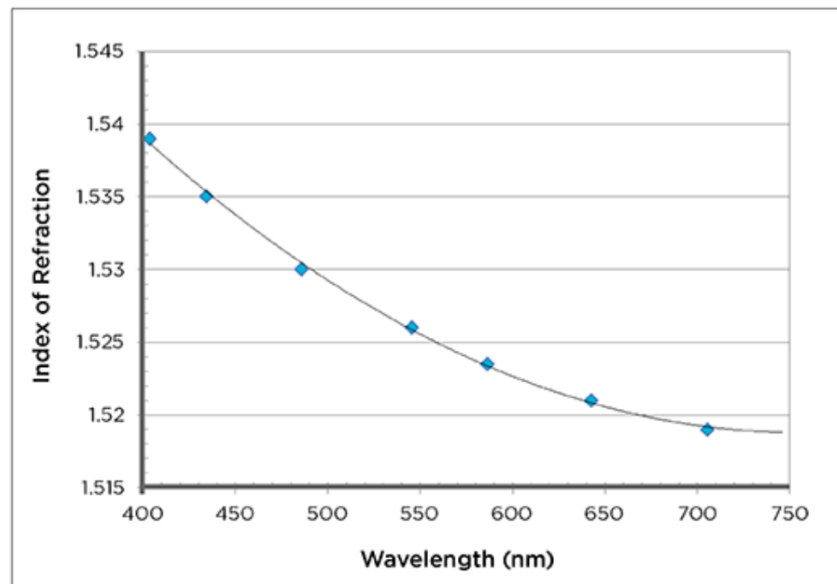
Déviation pour les faibles angles

$$D = (n - 1)A$$

Indice de réfraction dépend de la fréquence de la lumière (couleur)!

Réfraction à travers un prisme

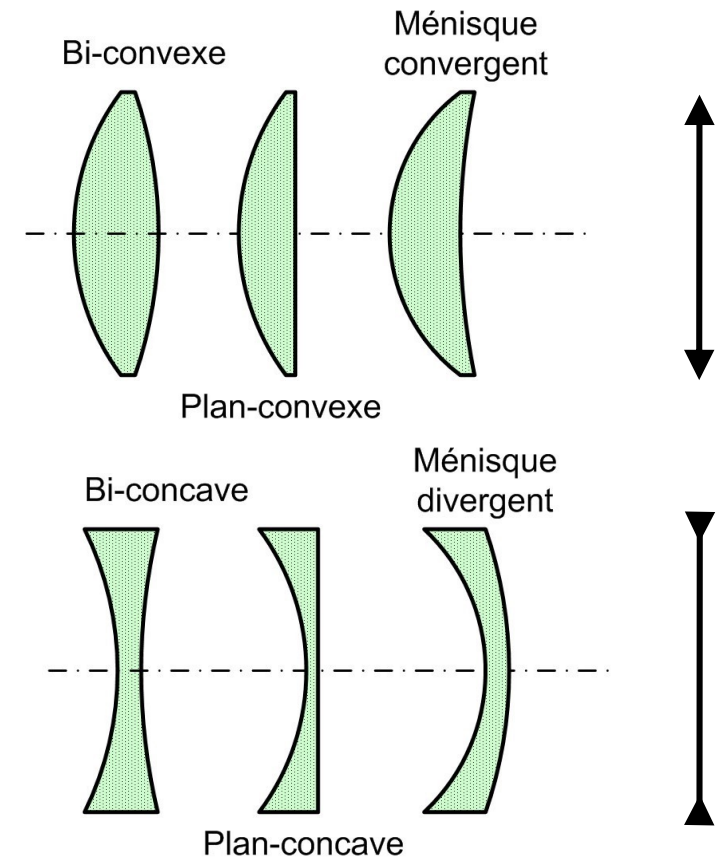
Déviation vers la base et dispersion de la lumière polychromatique



Indice de réfraction dépend de la fréquence de la lumière (couleur)!

Lentilles

- Convergentes
 - lentilles à bords minces
 - transforment un faisceau lumineux parallèle en faisceau lumineux convergent
- Divergentes
 - lentilles à bords épais
 - transforment un faisceau lumineux parallèle en faisceau lumineux divergent



Lentilles minces

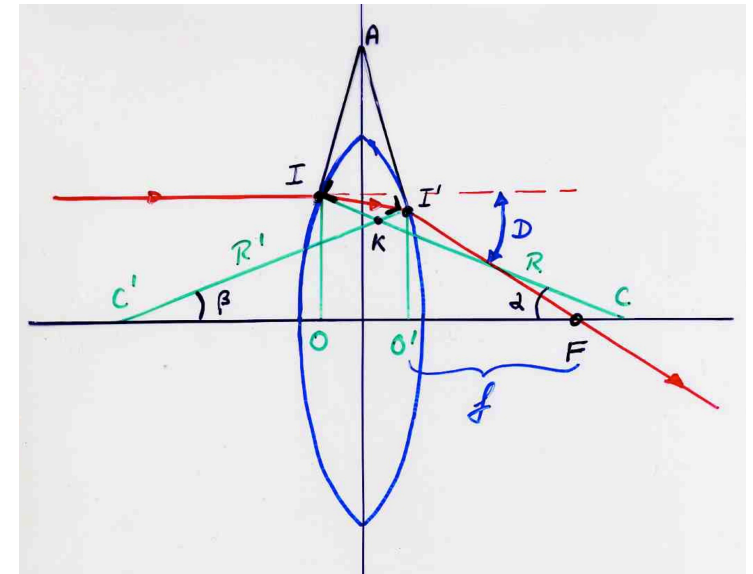
La lentille est considérée comme mince si l'épaisseur est petite par rapport aux rayons de courbure (distance focale)

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right)$$

➡ Pour une lentille en verre crown ($n = 1.5$) avec deux rayons de courbure égaux

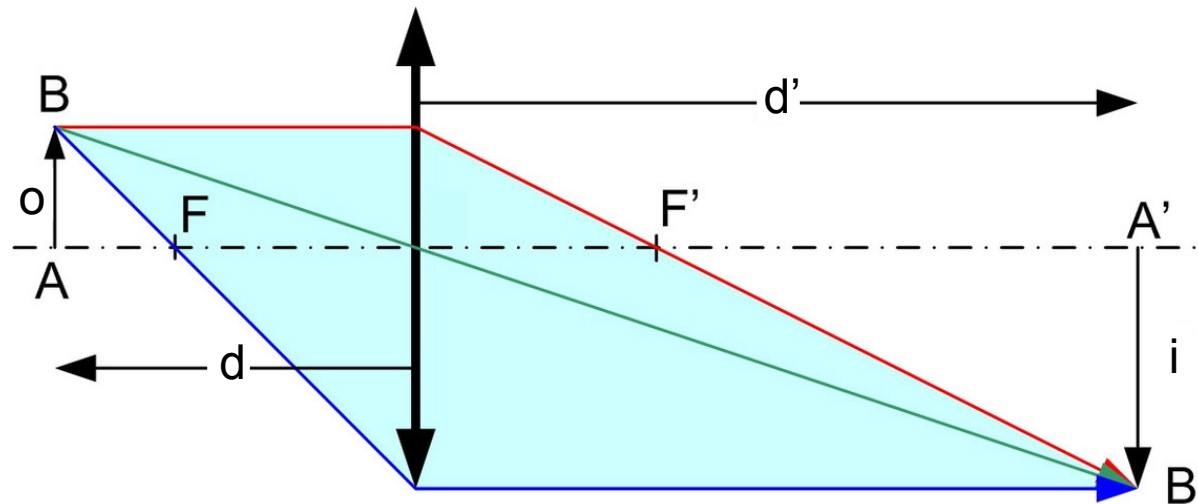
$$f = R$$

$\frac{1}{f}$ = convergence d'une lentille, l'unité est la dioptrie



Lentilles minces – construction des images

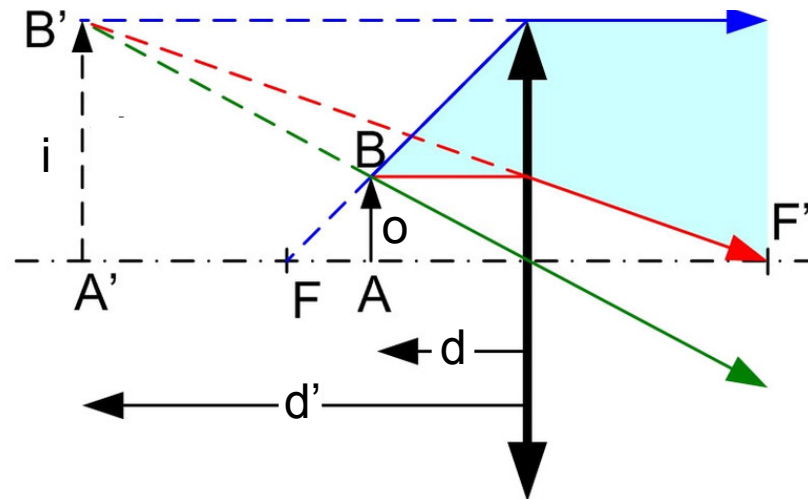
lentille convergente



- Tout rayon lumineux passant par le centre optique d'une lentille mince ne subit aucune déviation
- Tout rayon lumineux parallèle à l'axe principal d'une lentille se réfracte en passant réellement ou virtuellement par le foyer

Lentilles minces – construction des images

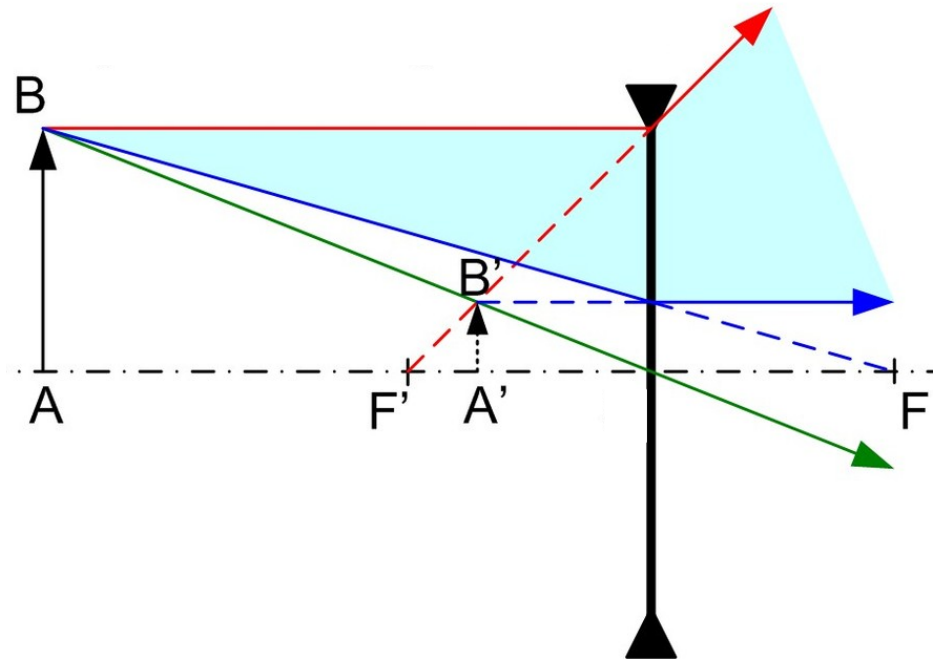
lentille convergente



- Tout rayon lumineux passant par le centre optique d'une lentille mince ne subit aucune déviation
- Tout rayon lumineux parallèle à l'axe principal d'une lentille se réfracte en passant réellement ou virtuellement par le foyer

Lentilles minces – construction des images

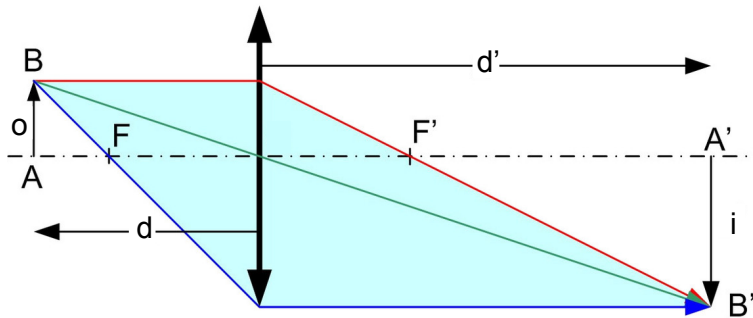
lentille divergente



- Tout rayon lumineux passant par le centre optique d'une lentille mince ne subit aucune déviation
- Tout rayon lumineux parallèle à l'axe principal d'une lentille se réfracte en passant réellement ou virtuellement par le foyer

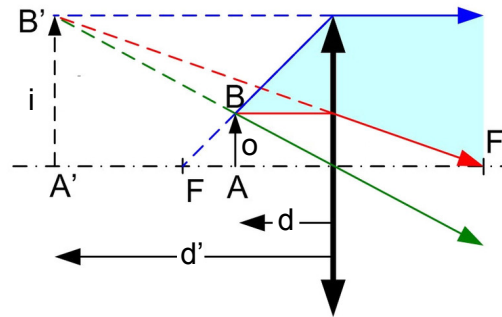
Formules des lentilles

Objet réel et image réelle



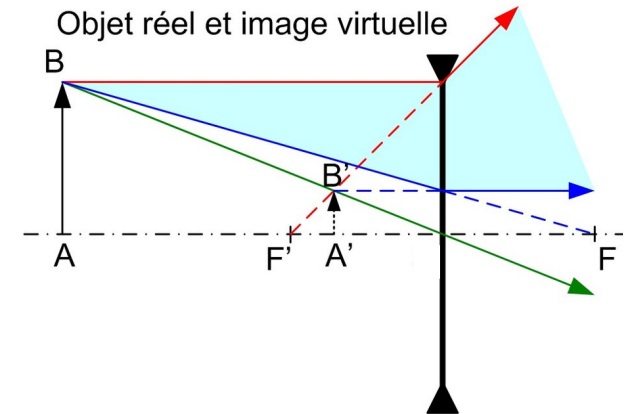
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{f}$$

Objet réel et image virtuelle



$$\gamma = \frac{i}{o} = \frac{d'}{d}$$

Objet réel et image virtuelle



$f > 0$ lentille convergente

$d > 0$ objet réel

$d' > 0$ image réelle

$\gamma > 0$ image renversée

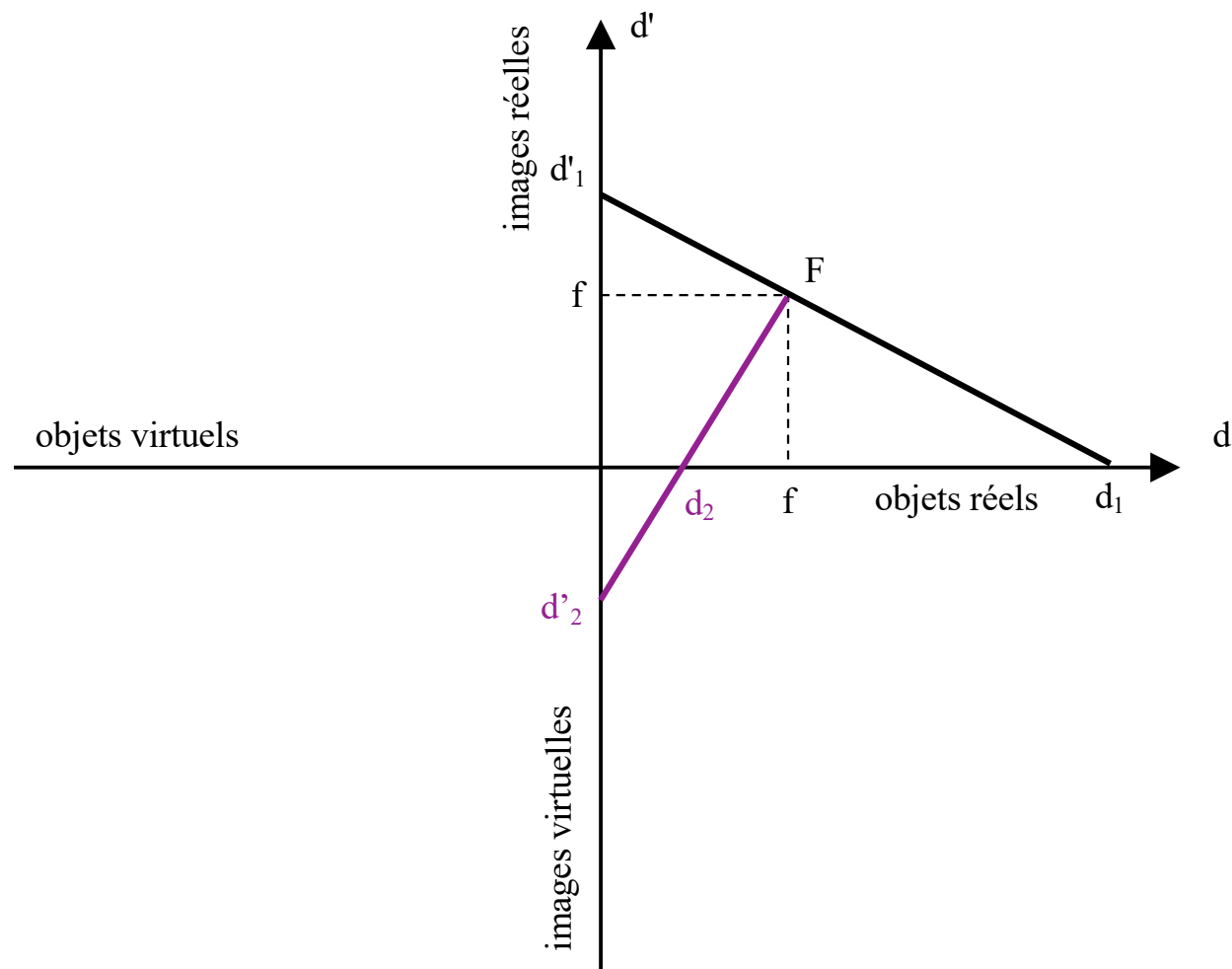
$f < 0$ lentille divergente

$d < 0$ objet virtuel

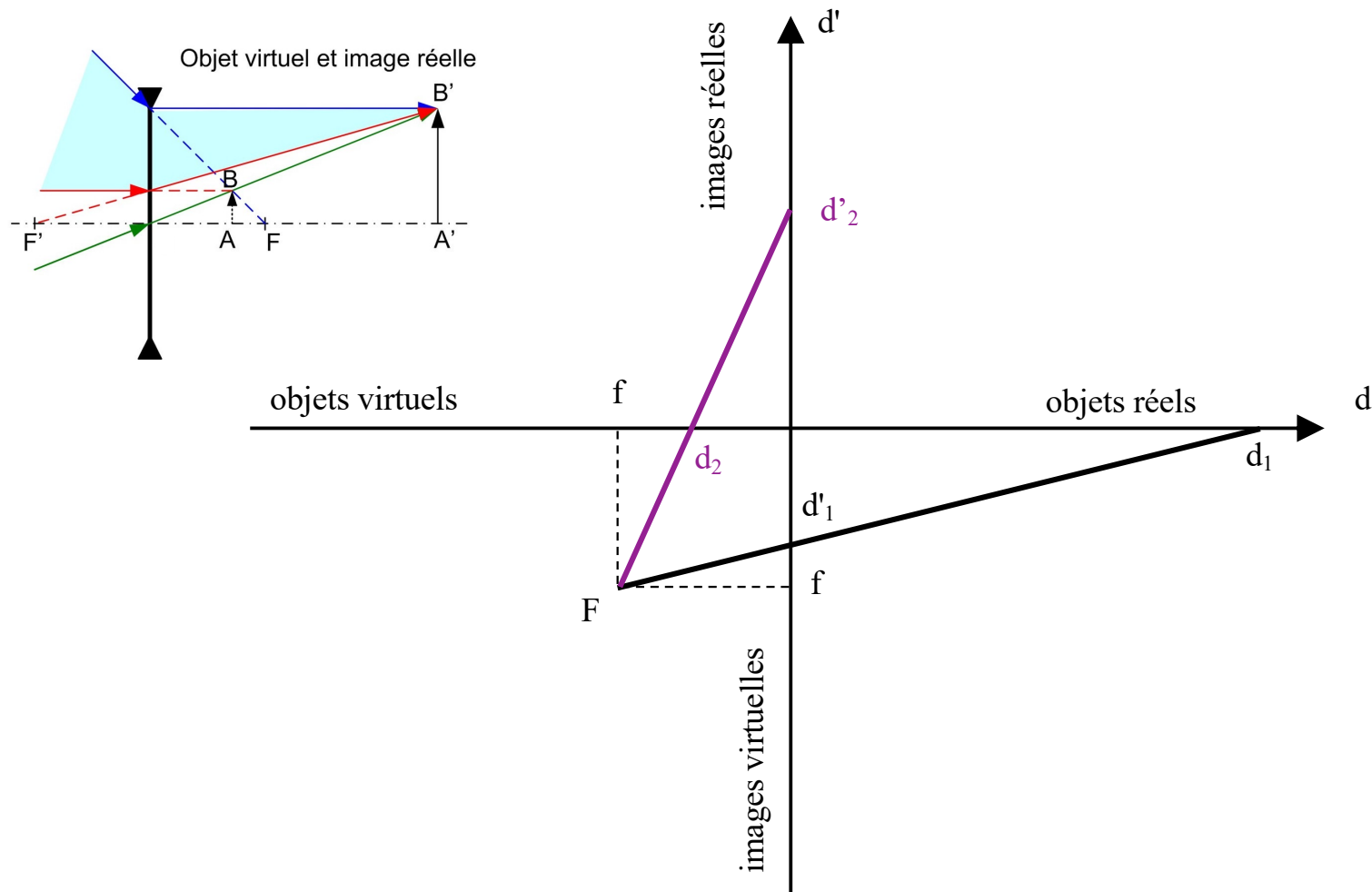
$d' < 0$ image virtuelle

$\gamma < 0$ image droite

Graphiques de Lissajous - lentille convergente



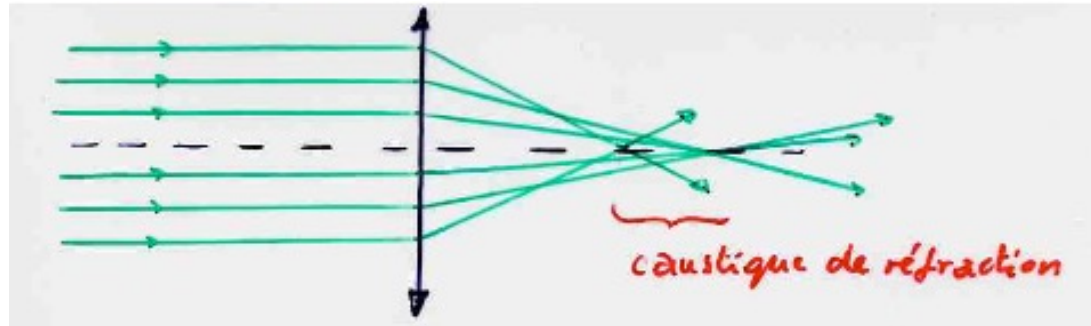
Graphiques de Lissajous - lentille divergente



Défauts des lentilles - Aberrations géométriques

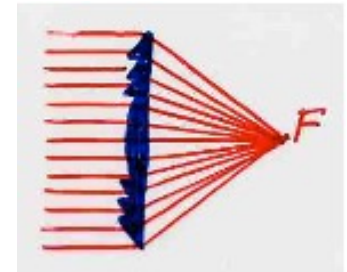
Aberration de sphéricité

- les rayons parallèles à l'axe ne convergent dans le foyer si elles sont marginales



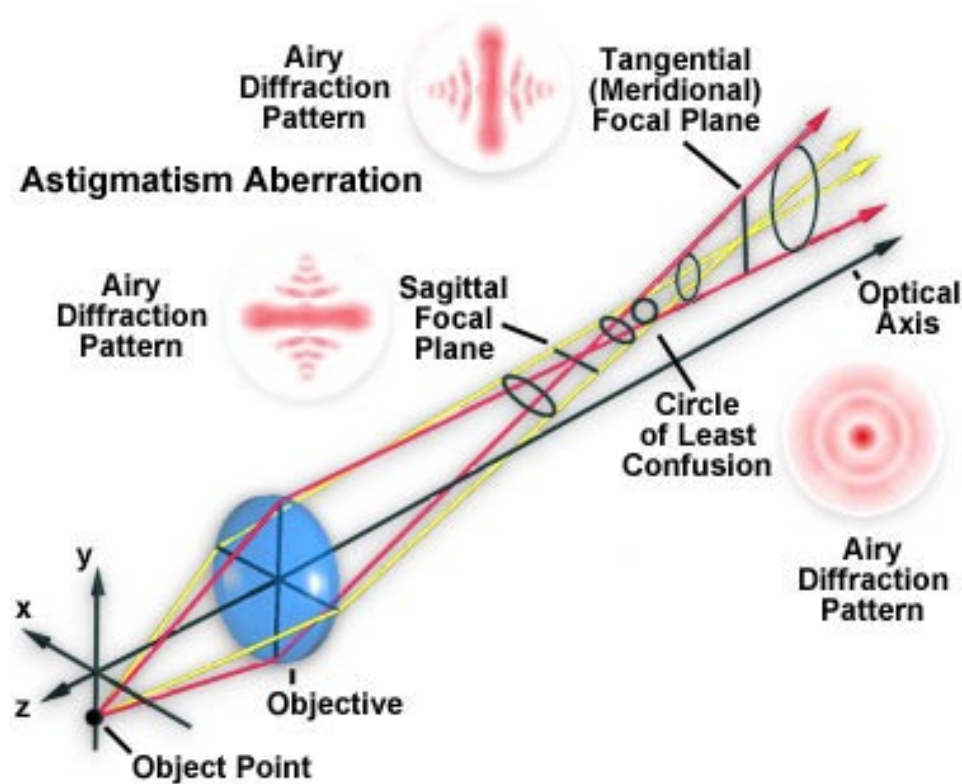
Remèdes:

- diaphragme
- correction par une deuxième lentille – appareil photo
- lentille à échelons (lentille de Fresnel) - phares



Aberration d'astigmatisme

- les rayons fortement inclinés sur l'axe optique qui se propagent dans deux plans perpendiculaires ont des foyers différents.



Aberration chromatique

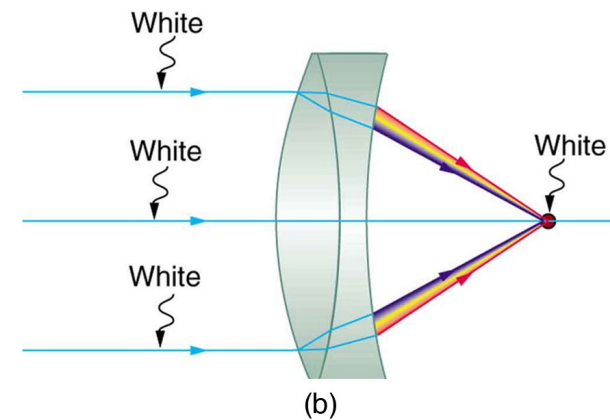
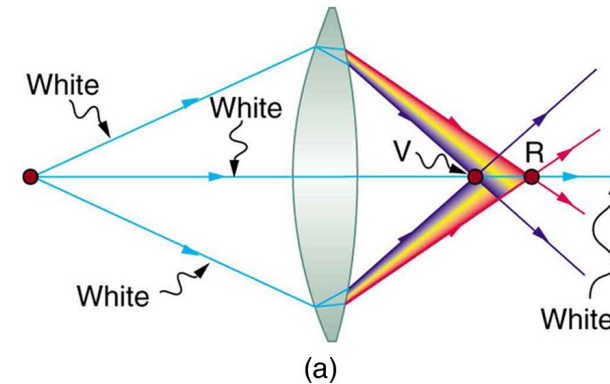
- l'indice de réfraction n varie avec la couleur de la lumière

$$n = n(\lambda)$$

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right)$$

Remède:

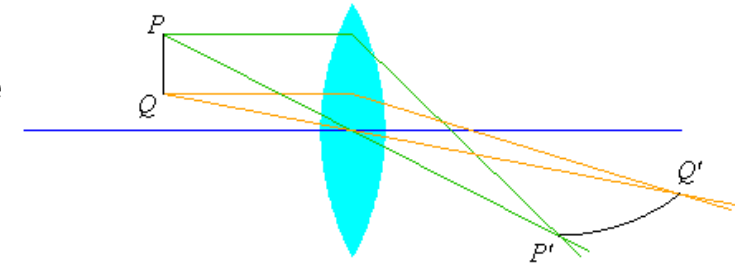
- combinaison de deux lentilles
convergente en Crown
divergente en Flint



Conséquences des aberrations

Courbure de champ

- un objet plat perpendiculaire à l'axe optique ne peut pas être focalisé sur un plan d'image plat



Distorsion

- variation de l'agrandissement lorsqu'on s'éloigne de l'axe optique

agrandissement décroît



distorsion en barillet

(objectif grand angle, objectif fish eye)

agrandissement croît

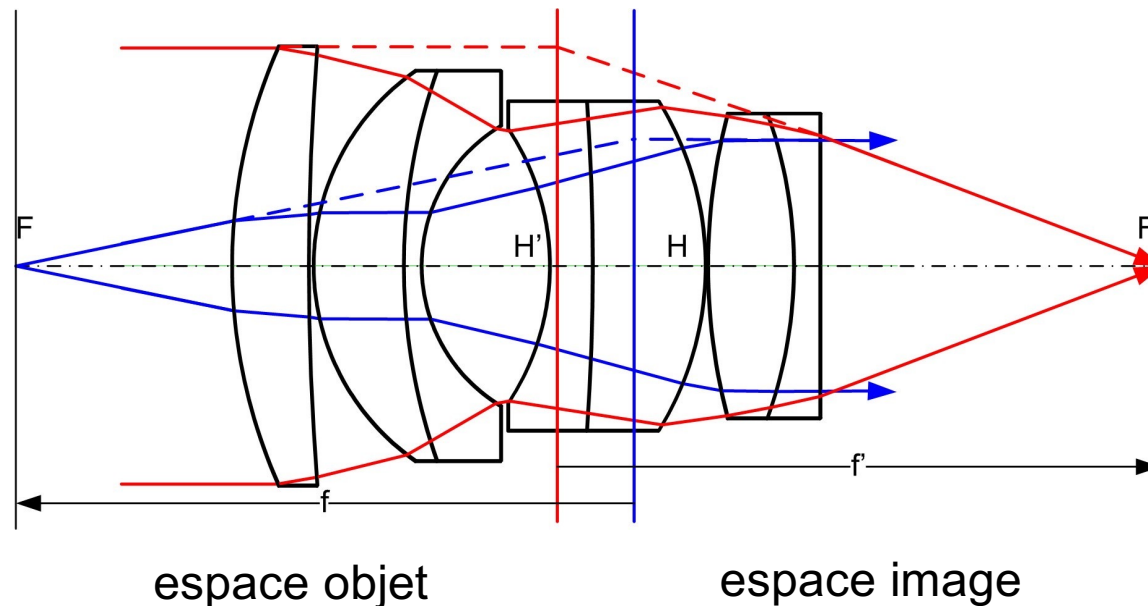


distorsion en croissant

Systèmes optiques

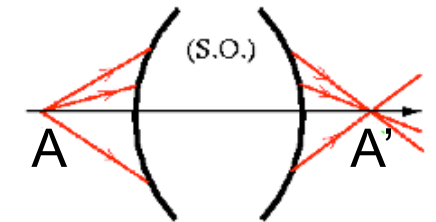
Ensemble de surfaces qui réfractent (dioptries) ou réfléchissent (miroirs) les rayons lumineux

- un système centré possède une axe de symétrie

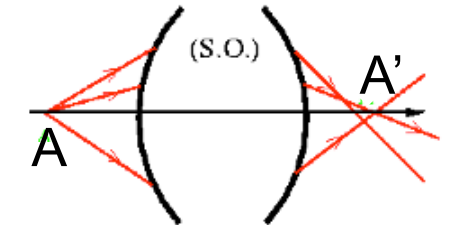


Stigmatisme

Un système optique est dit stigmatique pour un couple de points A et A' si tous les rayons lumineux issus du point A passent par le point A' après passage à travers le système optique.



En pratique, à un point A correspond une surface: caustique, le système optique est astigmatique



On vise un stigmatisme approché

conditions de Gauss (la théorie du premier ordre):

1. les rayons lumineux font des angles petits avec l'axe optique
2. les rayons lumineux parallèles à l'axe optique sont peu éloignés de celui-ci

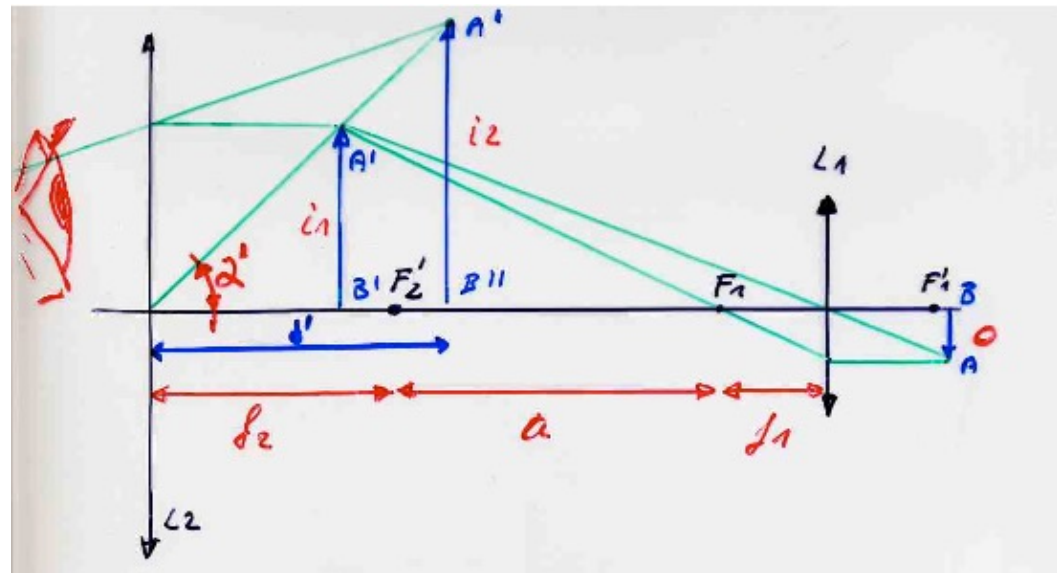
On se limite au domaine paraxial ($<1^\circ$) en introduisant des diaphragmes

Instruments optiques

Images réelles (téléobjectif, appareils de projection...)

Images virtuelles (téléscope, miroir, lunette, loupe...)

- Exemple: microscope



- à l'œil nu on verrait l'objet sous un angle: $\alpha = \frac{O}{\approx 25 \text{ cm}}$
- grossissement: $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$

Caractéristiques d'un instrument d'optique

Le grossissement

- grandissement angulaire

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

Le champ

- portion de l'objet dont l'instrument fournit une image nette

La clarté

- luminosité des objets vus à travers l'instrument
(ϕ : flux lumineux)

$$C = \frac{\phi'}{\phi}$$

Le pouvoir séparateur

- limite de perception des détails

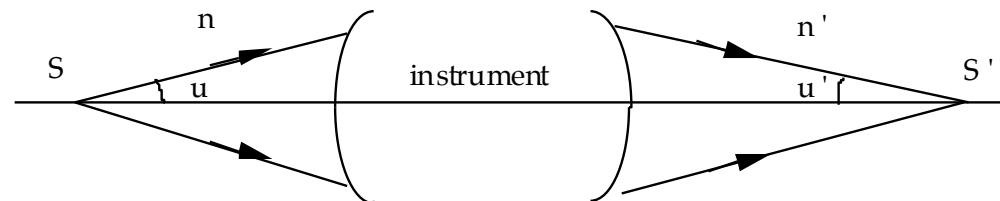
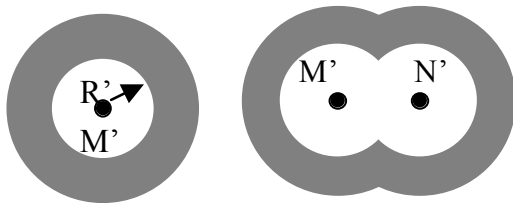
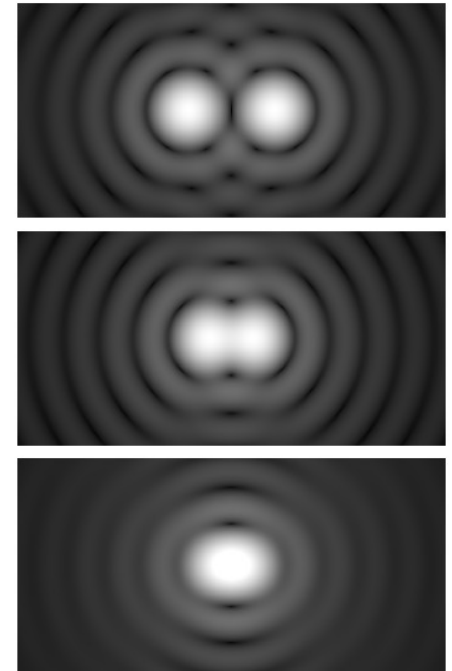
Résolution spatiale

Le pouvoir séparateur

- limite de perception des détails
- la distance minimale qui doit exister entre deux points pour qu'ils soient correctement discernés

Le critère de Rayleigh:

le sommet d'une des taches de diffraction correspond au premier minimum de l'autre



$$\overline{MN} = \frac{1.22\lambda}{2n \sin u}$$

$$\overline{M'N'} = \frac{1.22\lambda}{2n' \sin u'}$$