

Cours 02

Optique géométrique

- Indice de réfraction
- Loi de la réfraction
- Réflexion totale
- Réfraction à une interface plane
- Réfraction à une interface sphérique
- Lentilles minces
- Construction graphique des images
- Grandissement
- Aberrations
- L'œil humain
- Grossissement d'un instrument d'optique

Indice de réfraction

$$n = \frac{c}{u} = \frac{\text{vitesse de la lumière dans le vide}}{\text{vitesse de la lumière dans un milieu}}$$

La célérité dans l'équation d'onde est donnée par:

$$u = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \mu_0 \epsilon \epsilon_0}} = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \epsilon}}$$

$$n = \sqrt{\mu_r \epsilon}$$

Pour un matériaux qui n'est pas ferromagnétique, $\mu_r \cong 1 \Rightarrow n \cong \sqrt{\epsilon}$

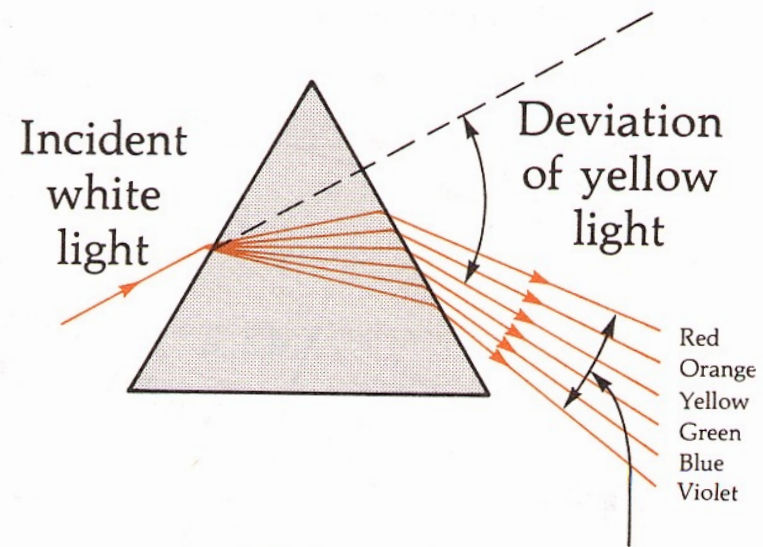
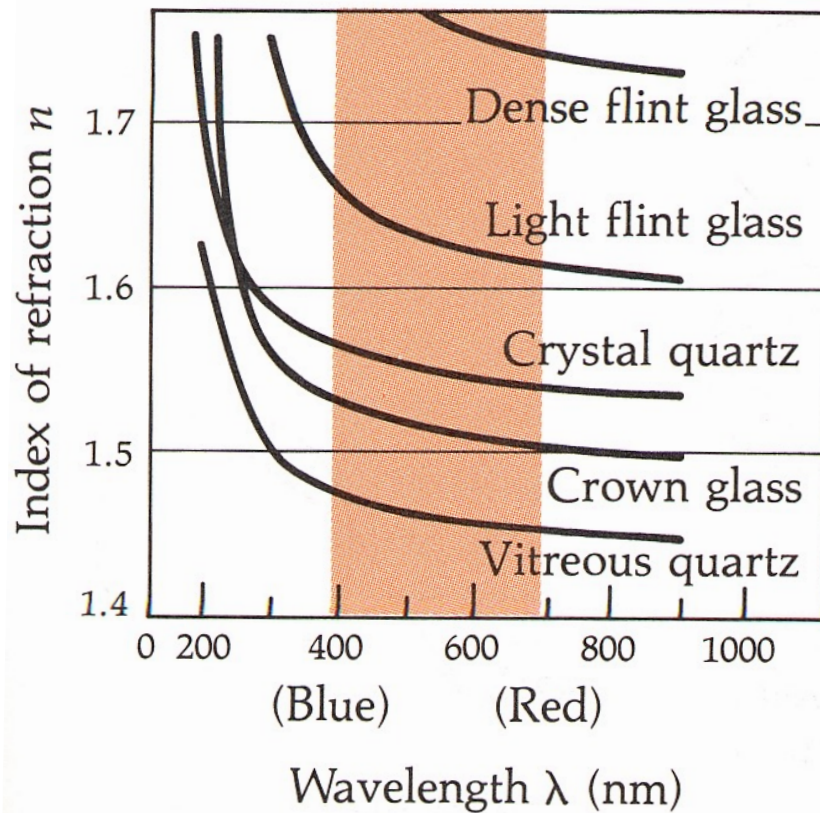
Exemple: Pour le verre, $n = 1.52$

La vitesse de la lumière dans le verre est : $u = \frac{c}{n} = \frac{c}{1.52} = 0.66c$

Indices de réfraction de matériaux représentatifs

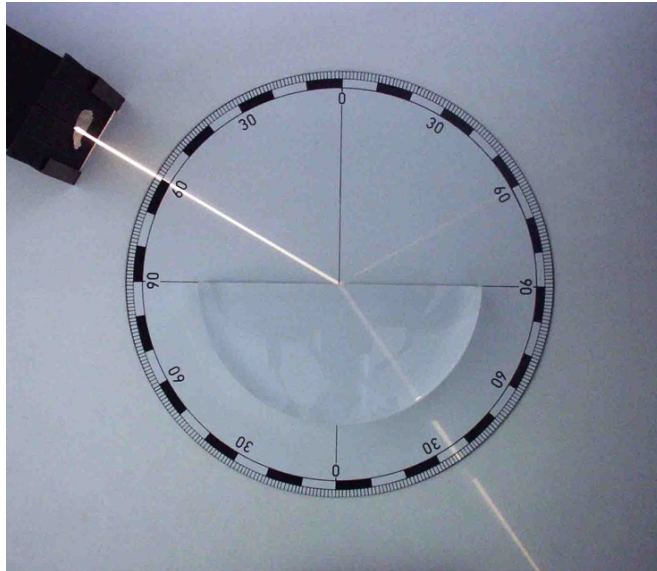
Substance	Refractive Index n (for $\lambda \approx 550$ nm)
Air (0°C, 1 atm)	1.000 29
Hydrogen (0°C, 1 atm)	1.000 13
Ice	1.31
Water	1.333 ($=\frac{4}{3}$)
Fused quartz	1.46
Crown glass	1.52
Polystyrene	1.59
Flint glass	1.66
Diiodomethane	1.75
Diamond	2.42
Thallium iodide	2.78

Dispersion de l'indice de réfraction avec λ



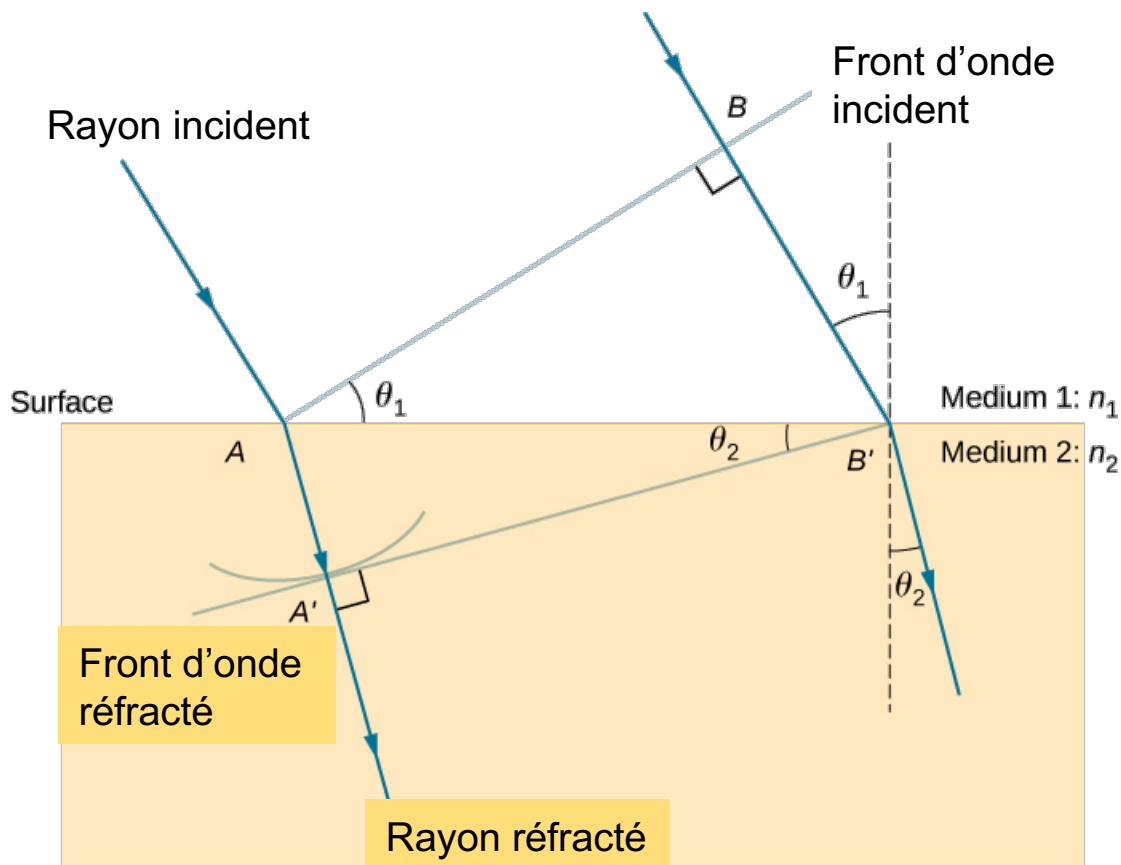
This angle is a measure of the amount of dispersion.

Réfraction



Loi de la réfraction par le principe de Huygens

À l'interface entre deux matériaux différents,
la lumière change de direction par réfraction.



$$\text{temps}_{BB'} = \text{temps}_{AA'}$$

$$\frac{BB'}{u_1} = \frac{AA'}{u_2}$$

$$\text{où } u_1 = \frac{c}{n_1} \text{ et } u_2 = \frac{c}{n_2}$$

$$n_1 BB' = n_2 AA'$$

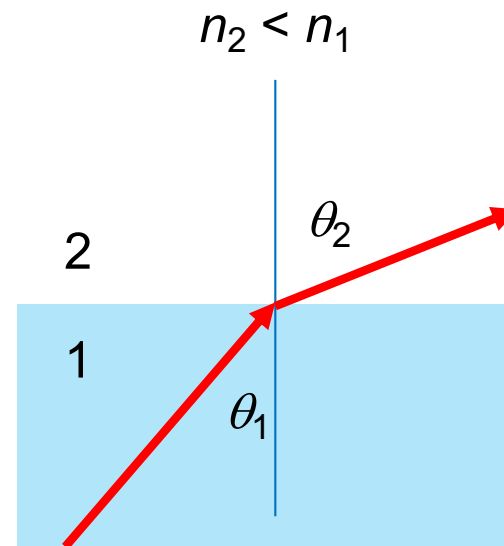
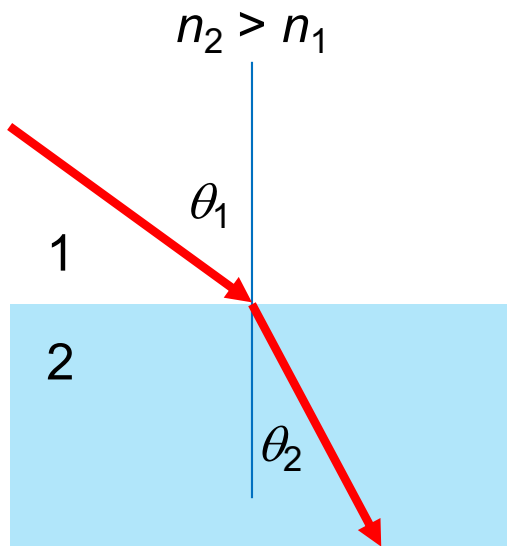
$$n_1 AB' \sin \theta_1 = n_2 AB' \sin \theta_2$$

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

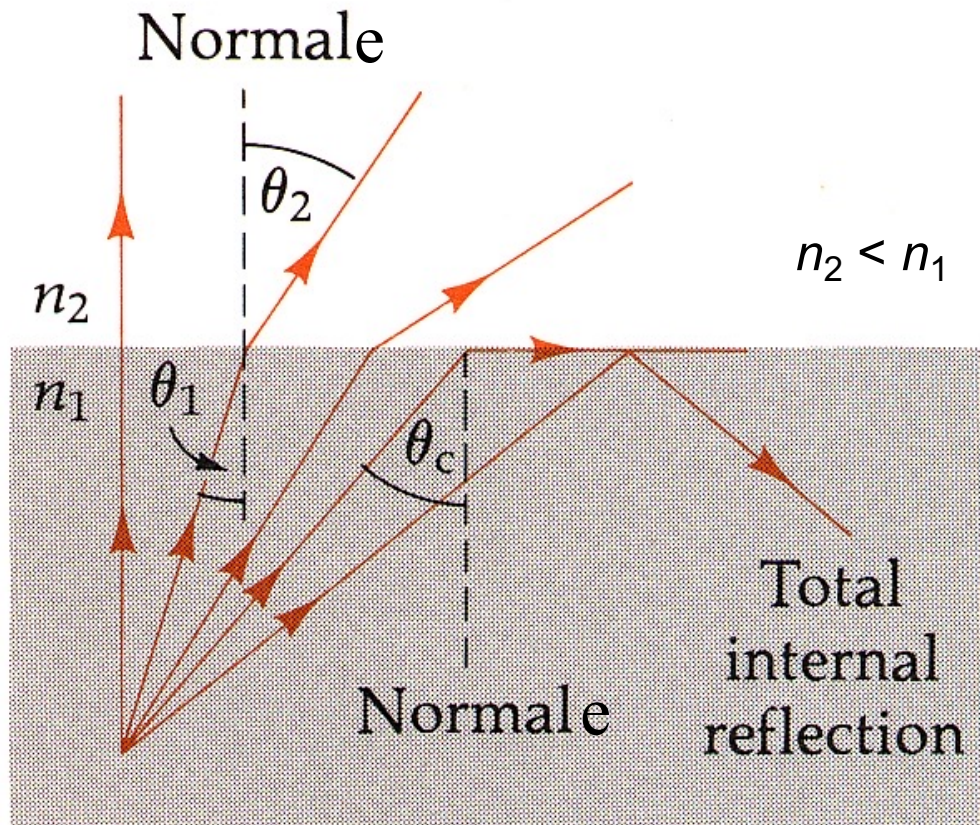
Loi de Snell-Descartes

Loi de Snell-Descartes

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$



Réflexion totale



Loi de Snell-Descartes :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

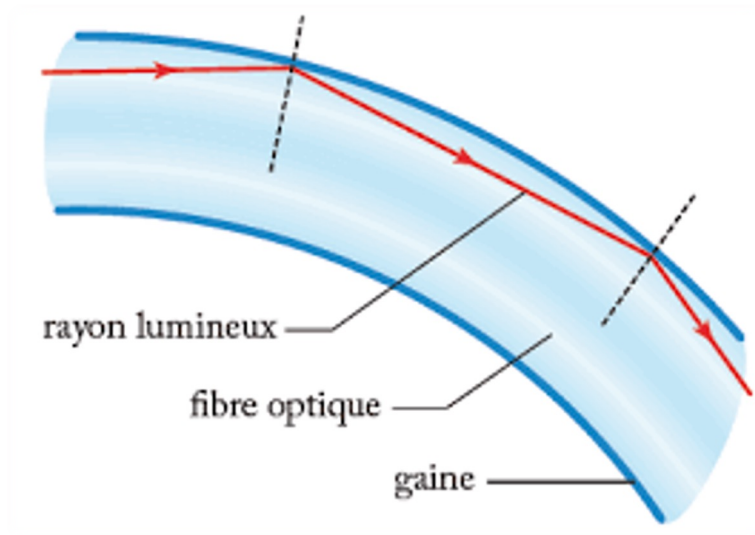
$$\sin \theta_1 = \frac{n_2}{n_1} \sin \theta_2$$

Lorsque $\theta_2 = 90^\circ \Rightarrow \theta_1 = \theta_c$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

Pour $\theta_1 > \theta_c$, il y a réflexion totale, il n'y a plus de réfraction

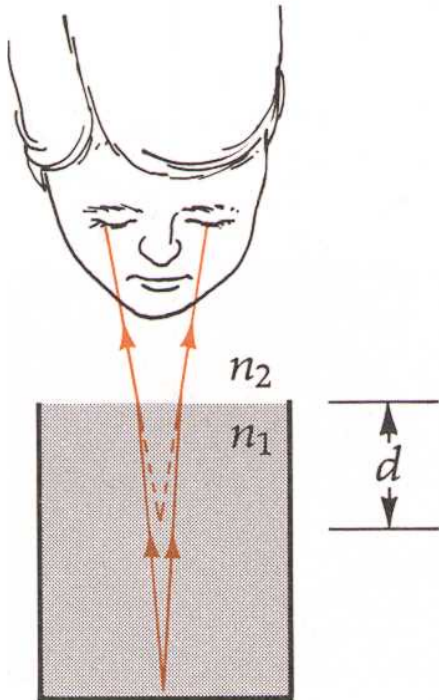
Fibres optiques



Profondeur apparente : un sou dans l'eau....



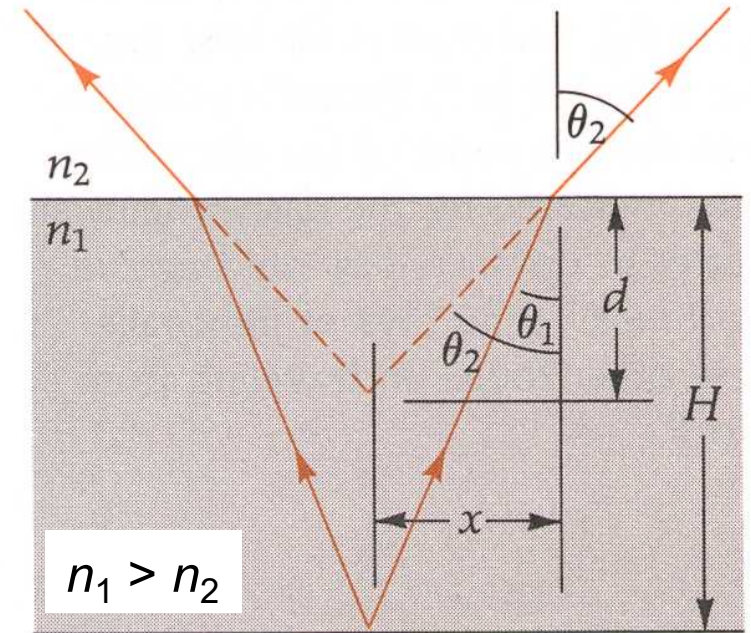
Réfraction à une interface plane



H profondeur réelle
 d profondeur apparente
 (image virtuelle)

Petits angles

$$\theta \approx \sin \theta \approx \tan \theta$$



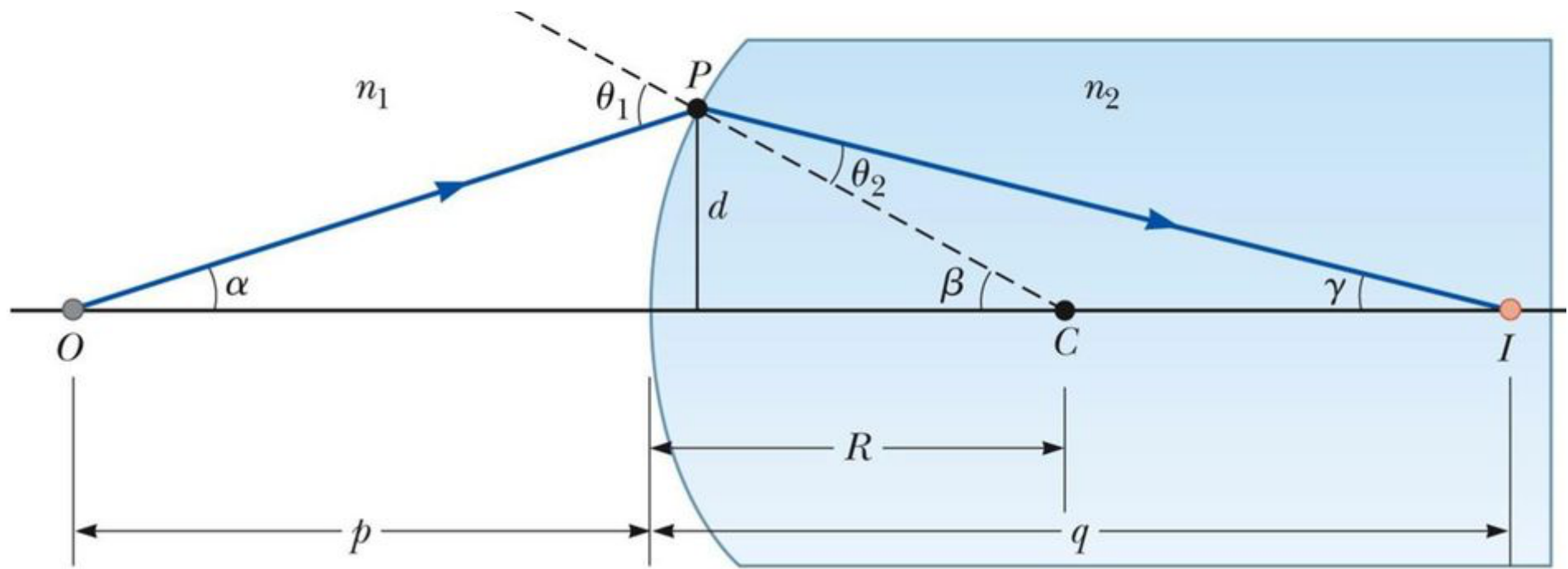
$$\left. \begin{array}{l} \text{Loi de Snell-Descartes : } n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \Rightarrow \frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \\ \theta_1 \approx \tan \theta_1 = x / H \\ \theta_2 \approx \tan \theta_2 = x / d \end{array} \right\} \quad \frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{d}{H}$$

$$d = \frac{n_2}{n_1} H$$

indépendant de x

Si $n_1 > n_2 \Rightarrow d < H$

Réfraction à une interface sphérique



Snell-Descartes ; $n_1 \theta_1 = n_2 \theta_2$

$$\Delta OPC : \theta_1 = \alpha + \beta \quad \cdot n_1 \Rightarrow$$

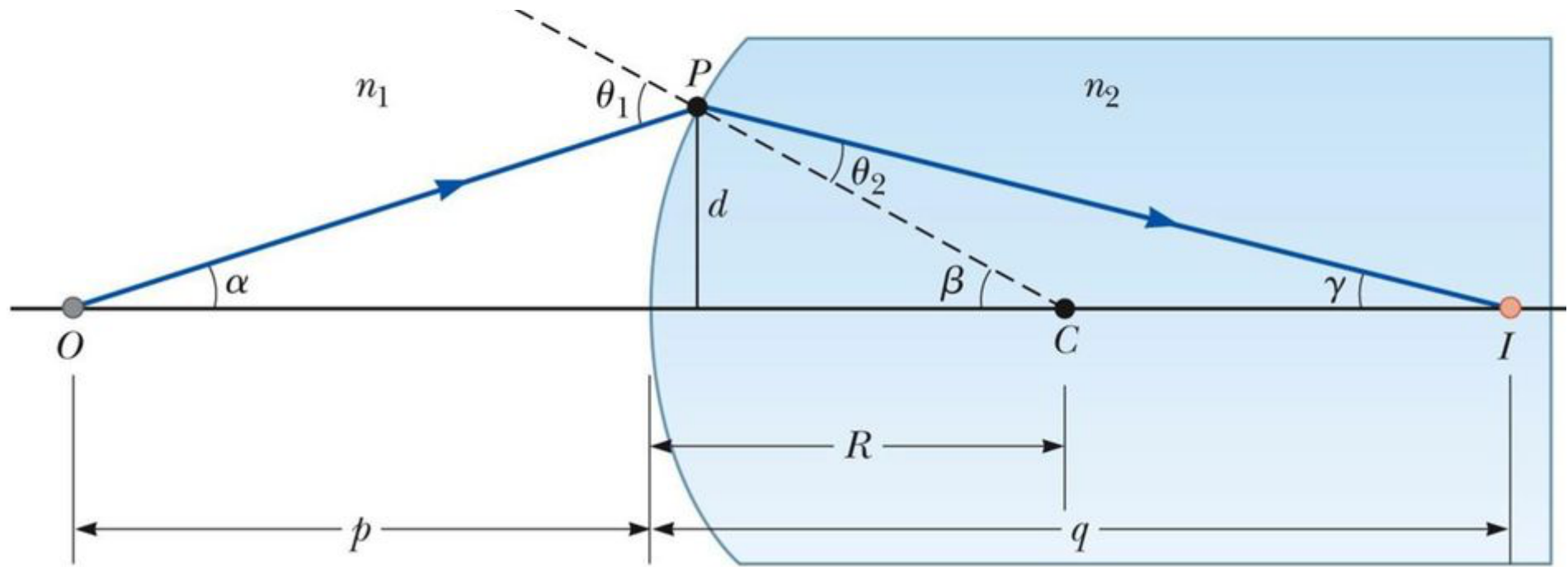
$$\Delta PCI : \beta = \theta_2 + \gamma \quad \cdot n_2 \Rightarrow$$

$$+ \frac{n_1 \theta_1 = n_1 \alpha + n_1 \beta}{n_2 \beta = n_2 \theta_2 + n_2 \gamma}$$

$$n_2 \beta = n_1 \alpha + n_1 \beta + n_2 \gamma$$

$$n_1 \alpha + n_2 \gamma = (n_2 - n_1) \beta$$

Réfraction à une interface sphérique



$$n_1 \alpha + n_2 \gamma = (n_2 - n_1) \beta$$

$$\alpha \cong \tan \alpha = d / p$$

$$\beta \cong \tan \beta = d / R$$

$$\gamma \cong \tan \gamma = d / q$$

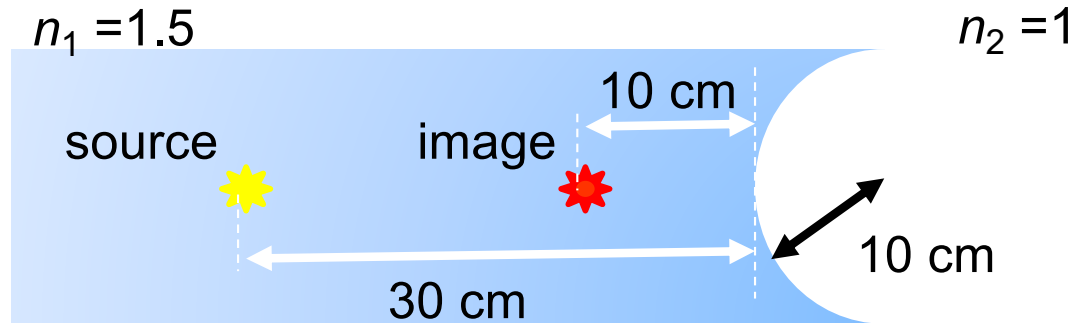
$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = \frac{(n_2 - n_1)}{R}$$

indépendant de d !

Convention de signe : le cas étudié définit les signes positifs de p , q et R

Réfraction à une interface sphérique

Exemple



Où se trouve l'image ?

$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = \frac{(n_2 - n_1)}{R}$$

Par la convention de signe : $p = 30 \text{ cm}$, $R = 10 \text{ cm}$

$$\frac{1.5}{30 \text{ cm}} + \frac{1}{q} = \frac{-0.5}{10 \text{ cm}} \quad \Rightarrow \quad q = -10 \text{ cm}$$

image virtuelle à gauche de l'interface

Distances focales

$$\frac{n_1}{p} + \frac{n_2}{q} = \frac{(n_2 - n_1)}{R}$$

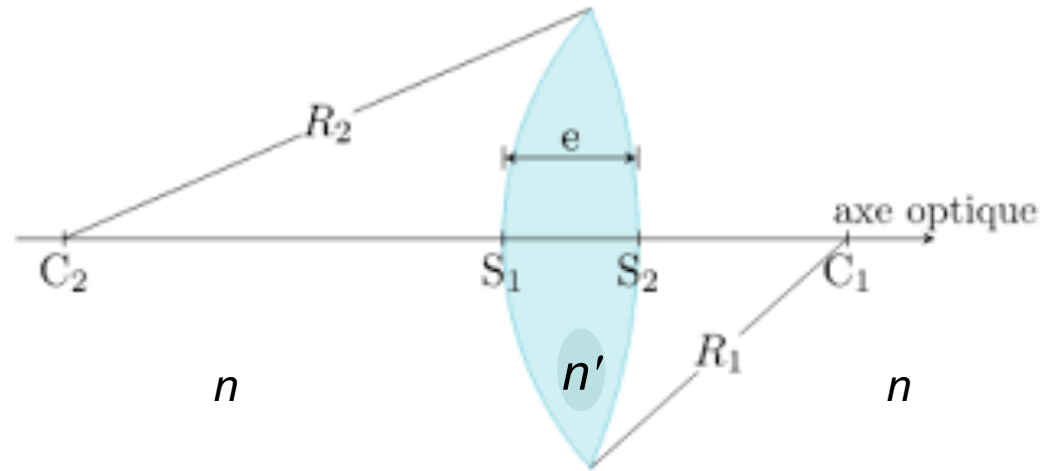
Distance focale image f_i

$$p \rightarrow \infty \quad \Rightarrow \quad q = \frac{n_2}{n_2 - n_1} R = f_i$$

Distance focale objet f_o

$$q \rightarrow \infty \quad \Rightarrow \quad p = \frac{n_1}{n_2 - n_1} R = f_o$$

Lentilles minces



Deux interfaces

1. $\frac{n}{p_1} + \frac{n'}{q_1} = \frac{n' - n}{R_1}$
2. $\frac{n'}{p_2} + \frac{n}{q_2} = \frac{n - n'}{R_2}$

Condition d'épaisseur $\rightarrow 0$

Les points S_1 et S_2 coïncident

$$p_2 = -q_1 \quad \text{NB convention de signe !}$$

En prenant la somme, on obtient :

$$\frac{1}{p_1} + \frac{1}{q_2} = \frac{1}{f} \quad \text{où} \quad \frac{1}{f} = \left(\frac{n'}{n} - 1 \right) \cdot \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right]$$

Formule des lentilles minces

Lentilles minces

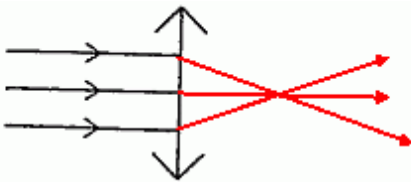
$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

Distances focales

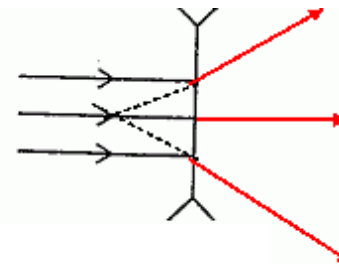
$$p \rightarrow \infty \Rightarrow q = f$$

$$q \rightarrow \infty \Rightarrow p = f$$

Lentilles convergentes ($f > 0$)



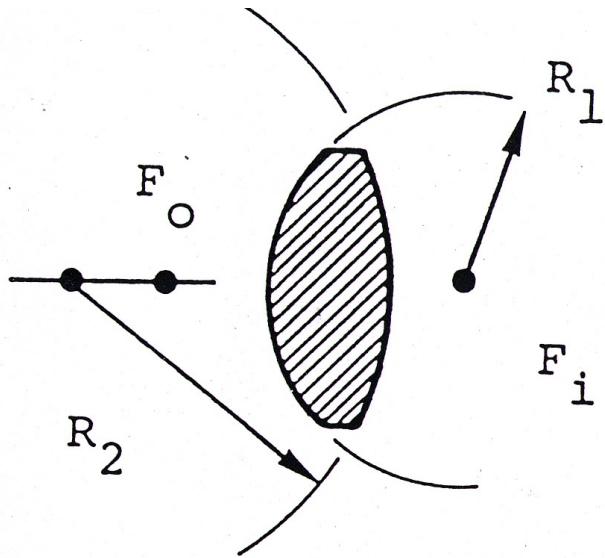
Lentilles divergentes ($f < 0$)



Dioptrie

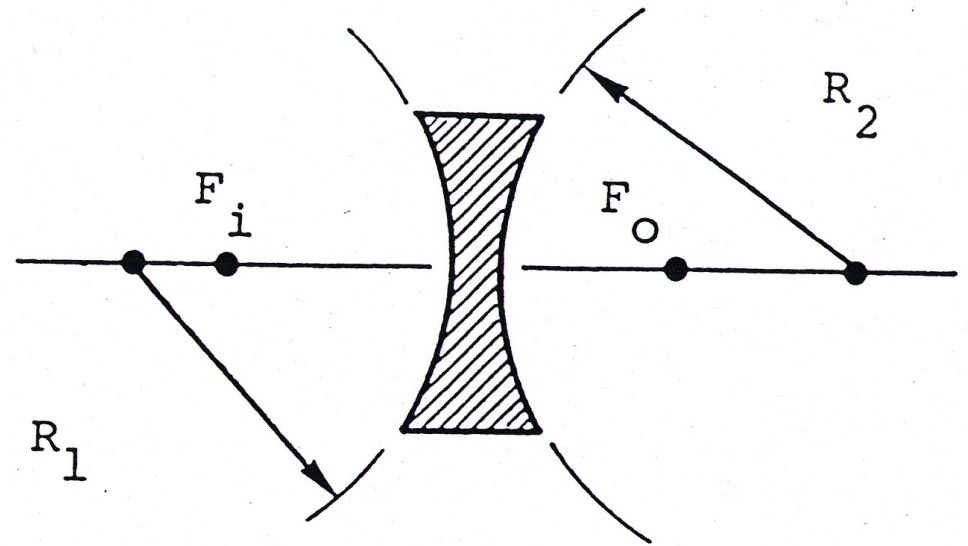
La dioptrie est une quantité adimensionnelle qui s'obtient par : $D = \frac{1}{f} \text{ m}$

Distance focale de lentille mince



$$R_1 > 0 \quad R_2 < 0 \quad f > 0$$

lentille convergente



$$R_1 < 0 \quad R_2 > 0 \quad f < 0$$

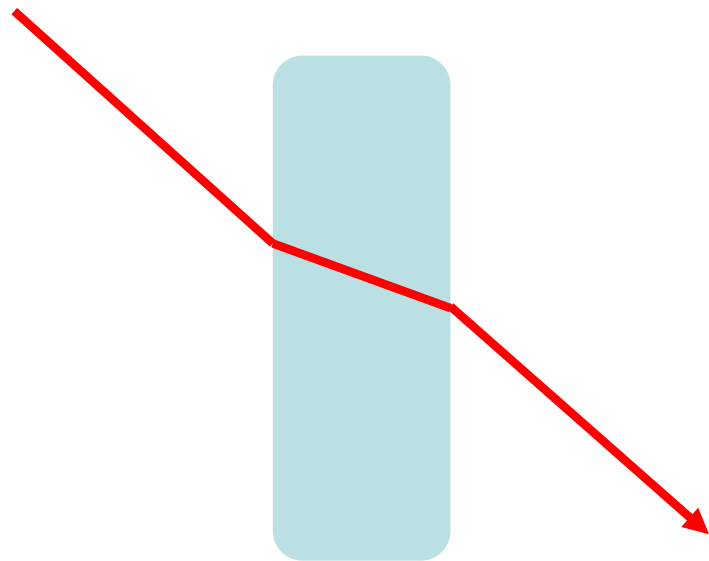
lentille divergente

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n'}{n} - 1 \right) \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right]$$

Construction graphique des images

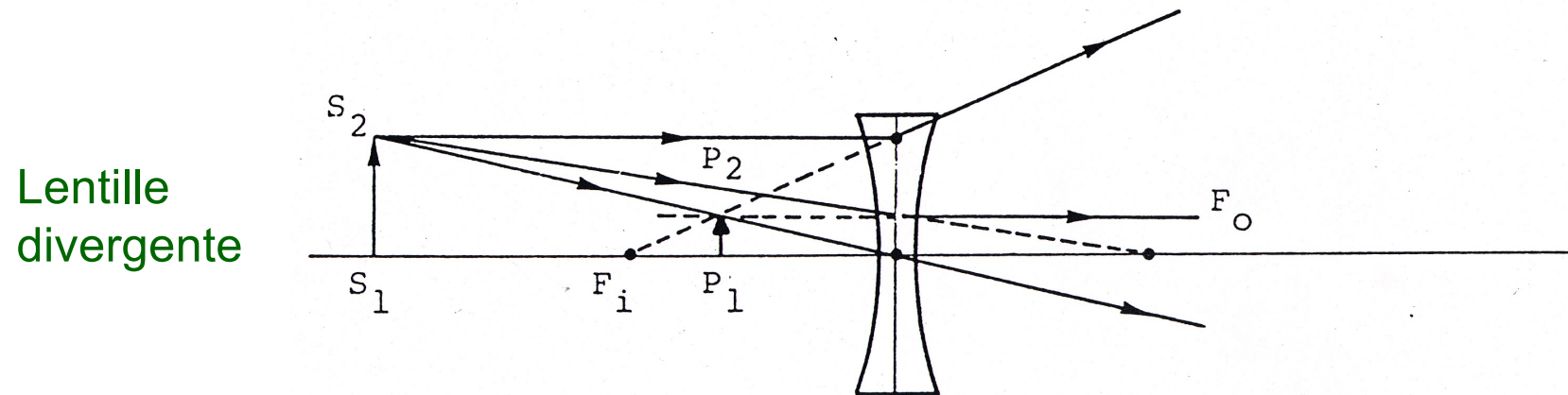
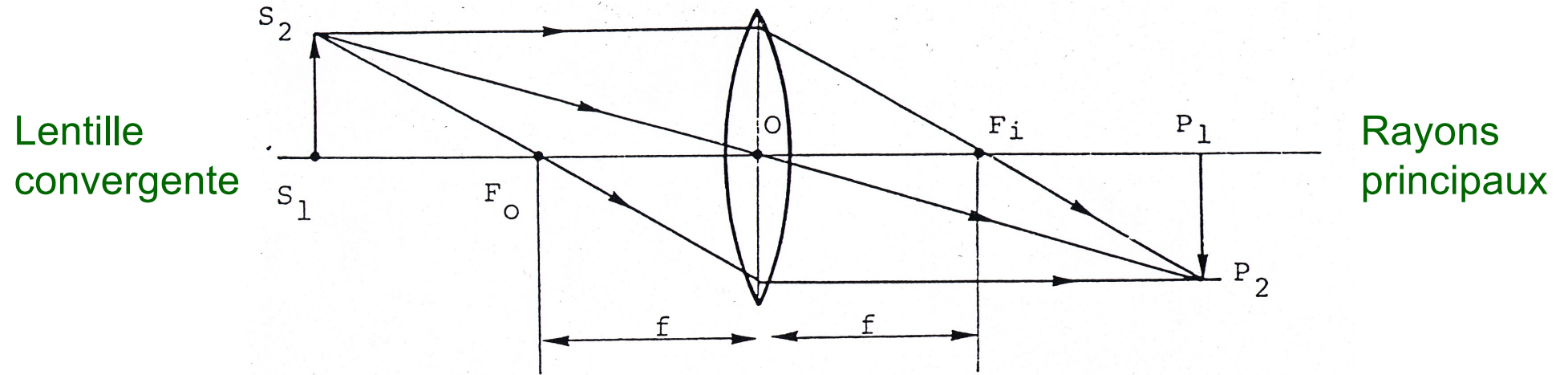
Trois rayons principaux

1. Rayon entrant // à l'axe optique \Rightarrow sortie par le point focal F.
2. Rayon entrant passant par le point focal F \Rightarrow sortie // à l'axe optique.
3. Rayon passant par le centre de la lentille \Rightarrow pas de réfraction

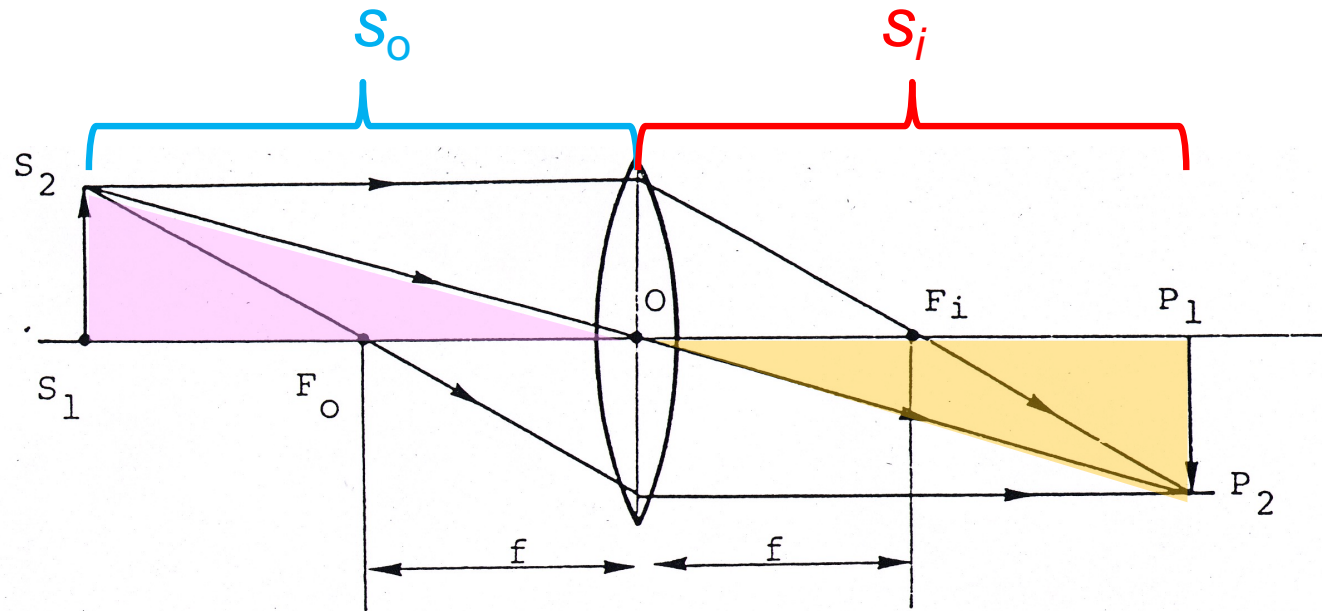


- surfaces parallèles
- épaisseur $\rightarrow 0$

Construction graphique des images



Grandissement



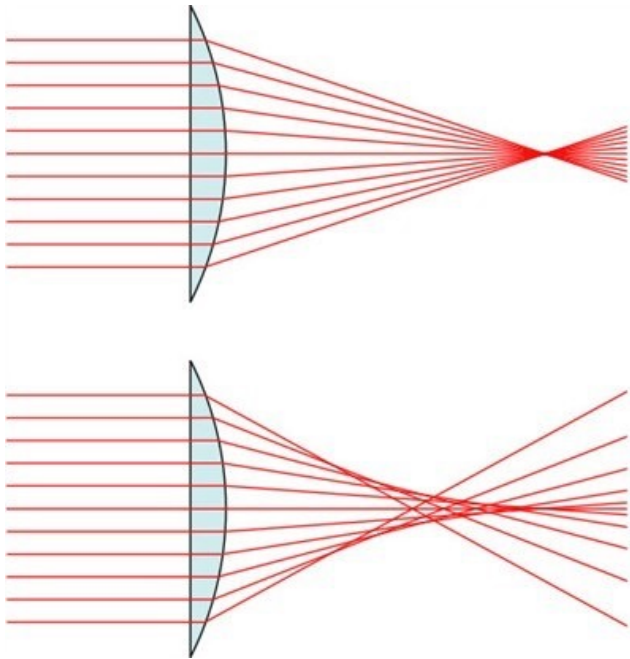
$$G = \frac{P_1 P_2}{S_1 S_2}$$

$$\tilde{G} = -\frac{s_i}{s_o}$$

- $|\tilde{G}| = G$
- $\tilde{G} > 0 \Rightarrow$ image droite
- $\tilde{G} < 0 \Rightarrow$ image inversée

Aberrations

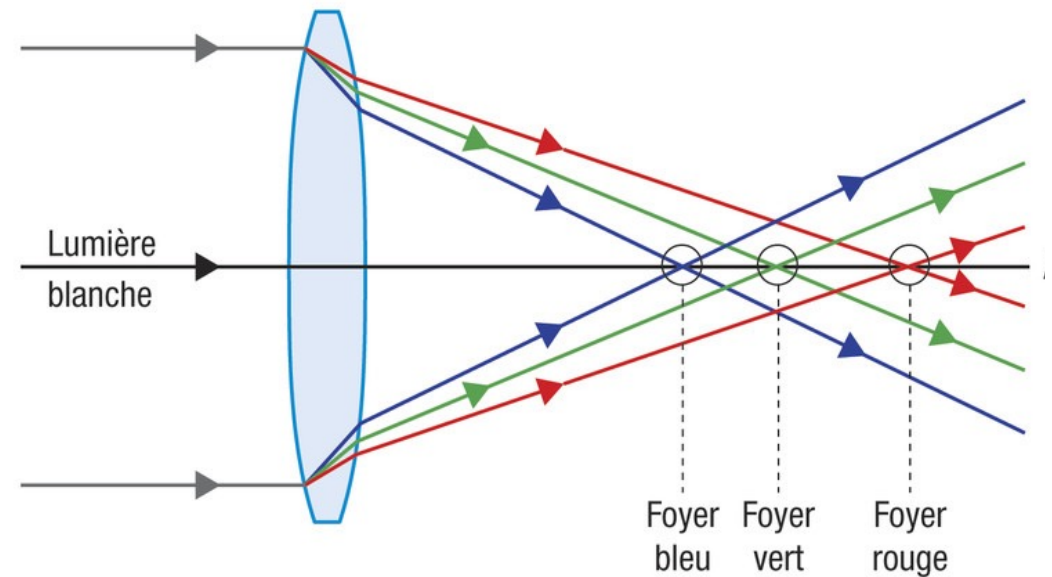
Aberration sphérique



Les rayons formant des angles plus grands ont des distances focales différentes. Approximations :

- Épaisseur nulle
- Rayons paraxials

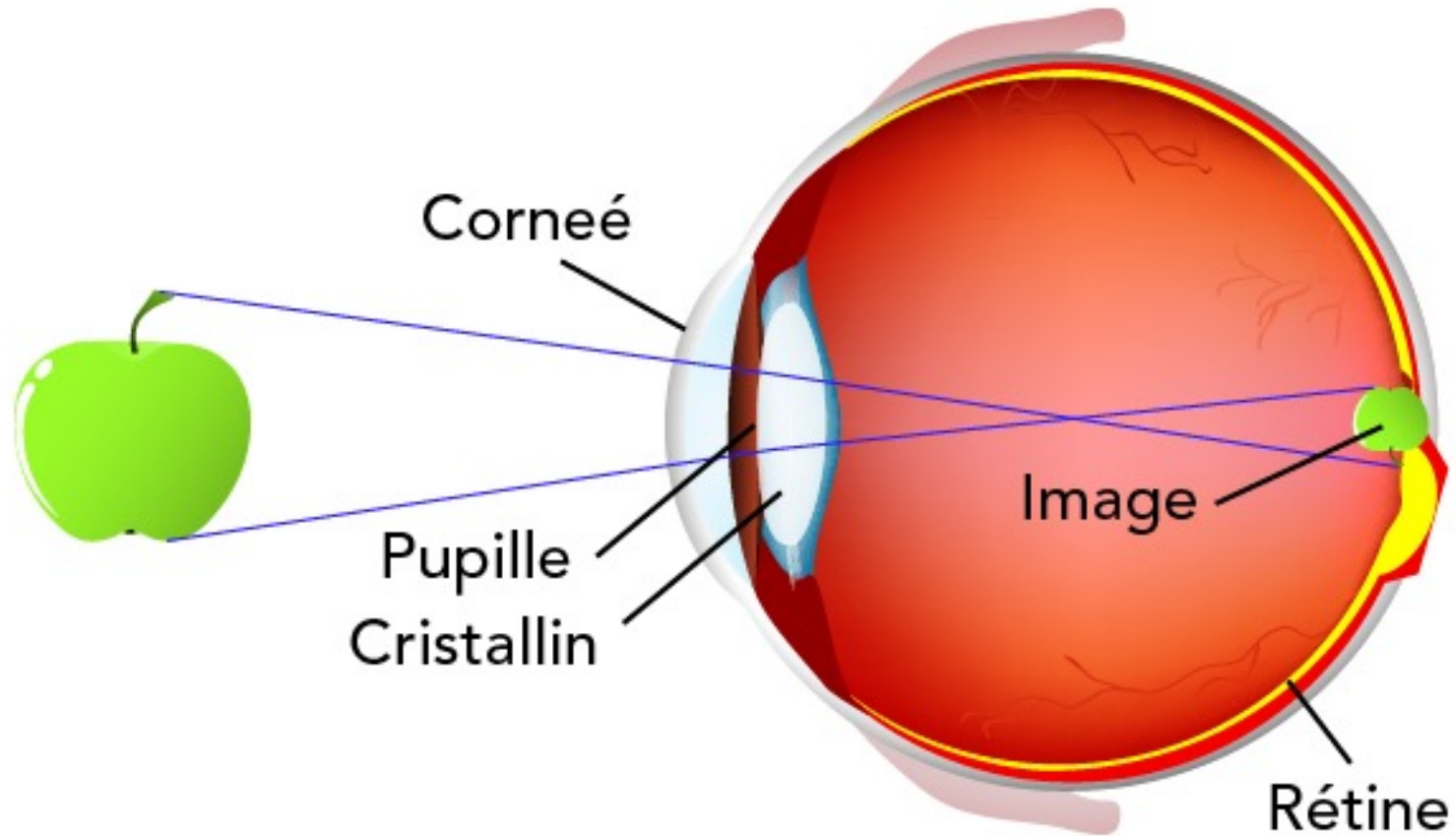
Aberration chromatique



L'indice de réfraction de la lentille dépend de la longueur d'onde : $n(\lambda)$

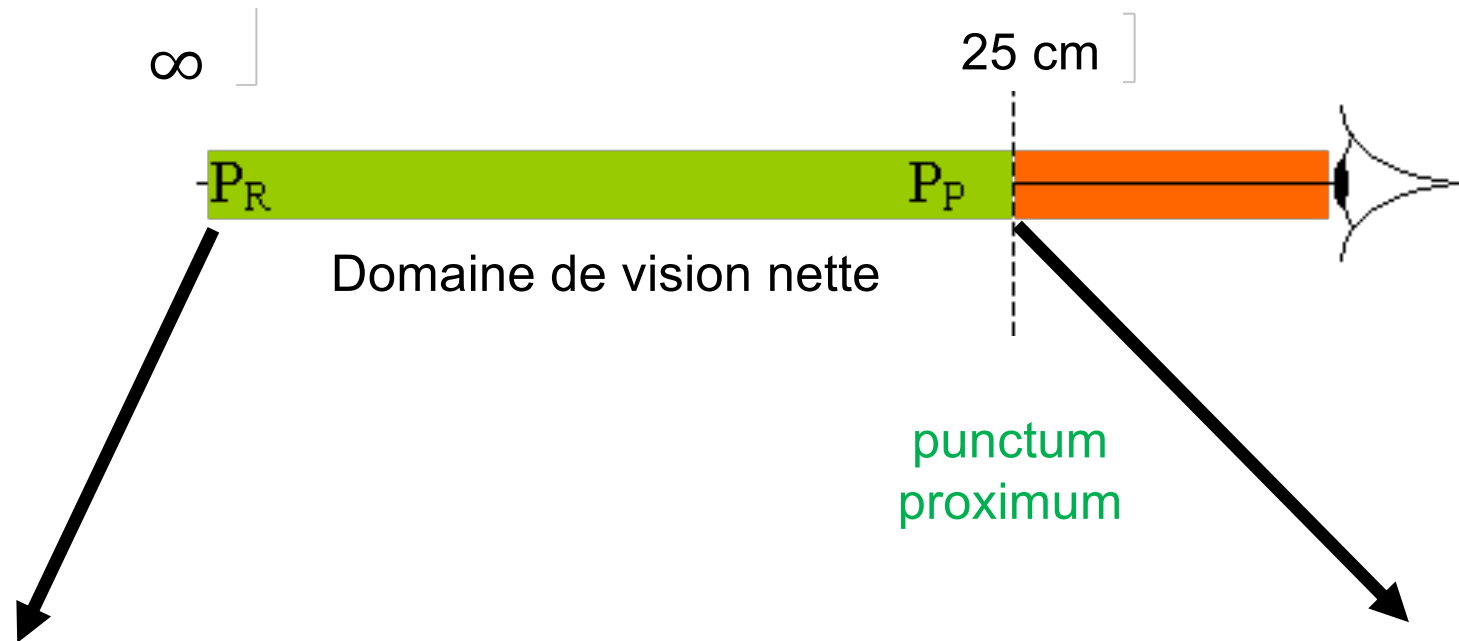
⇒ la distance focale aussi !

L'œil humain

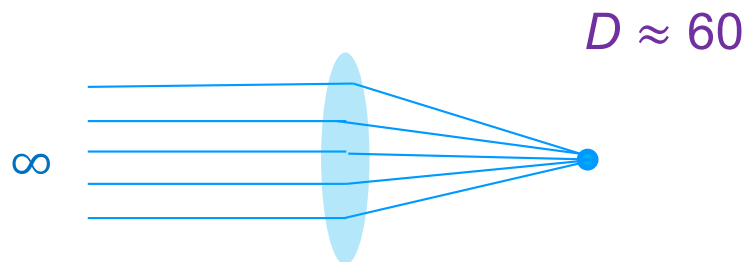


La cornée et le cristallin agissent comme une **lentille à distance focale variable**, modulée par l'action des muscles (accommodation).

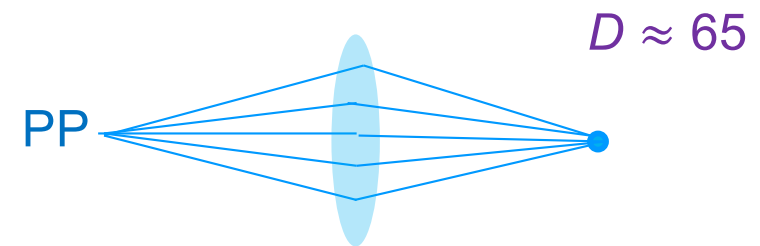
L'œil humain



Distance focale la moins convergente
la lumière provenant de l' ∞ est
focalisée sur la rétine :

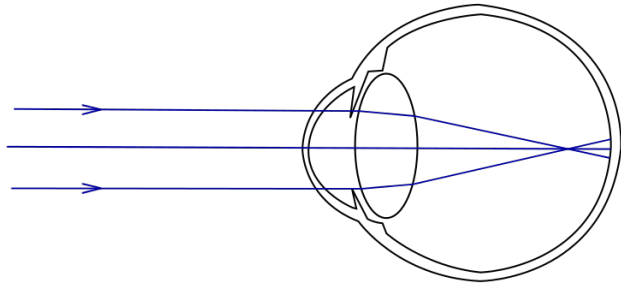


Distance focale la plus convergente
La lumière provenant du punctum
proximum est focalisée sur la rétine :

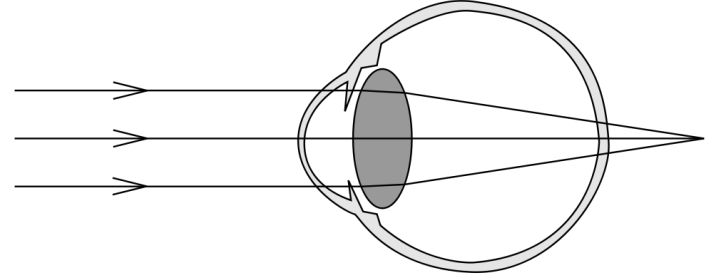


Défauts visuels et corrections

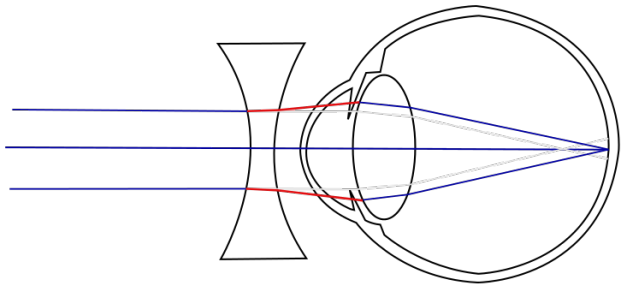
myopie



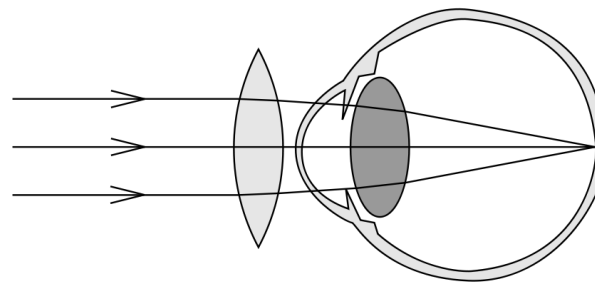
hypermétropie



corrigée avec une lentille divergente



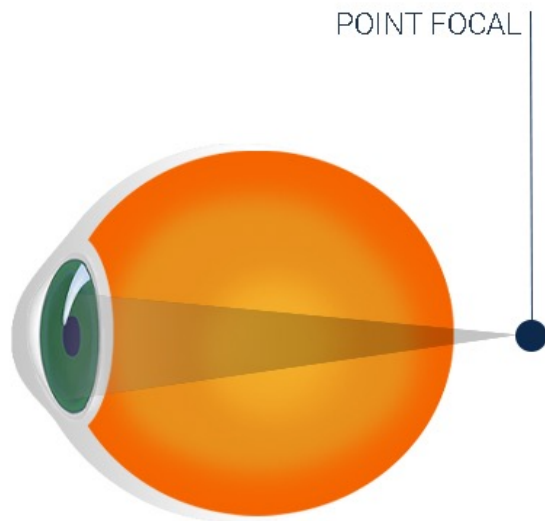
corrigée avec une lentille convergente



Autres défauts visuels

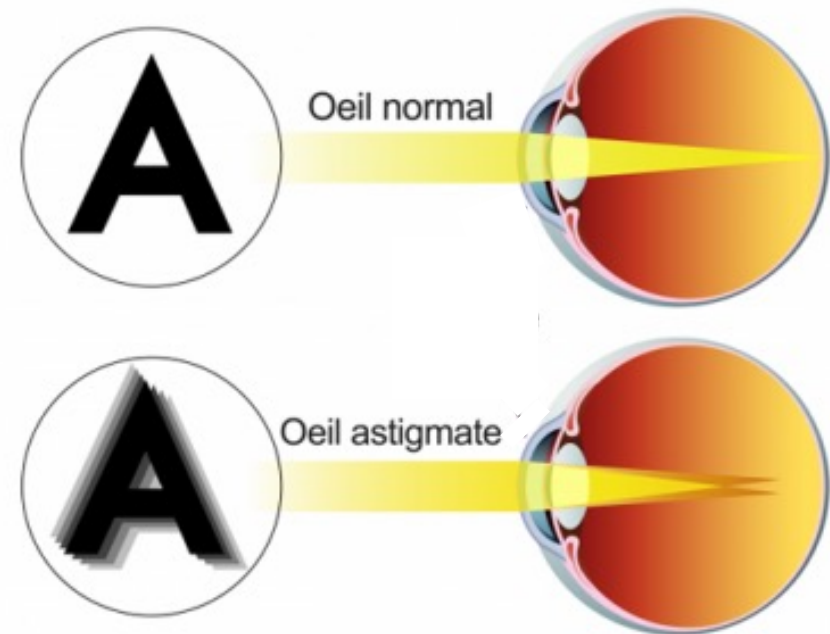
presbytie

diminution de la faculté
d'accommodation



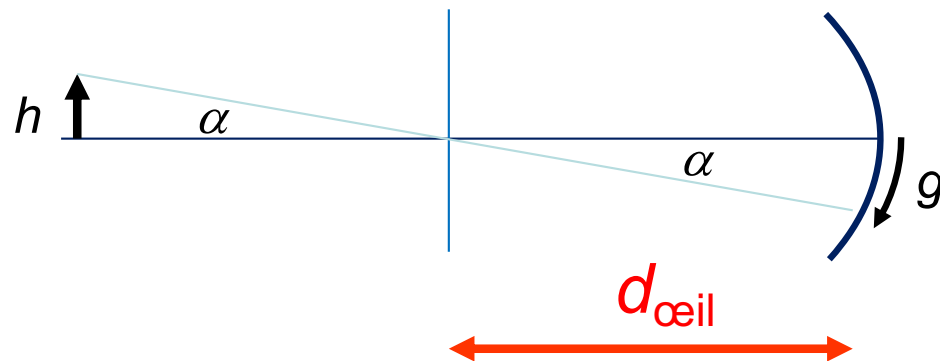
astigmatisme

perte de la symétrie de révolution
de l'œil (superposition d'images)

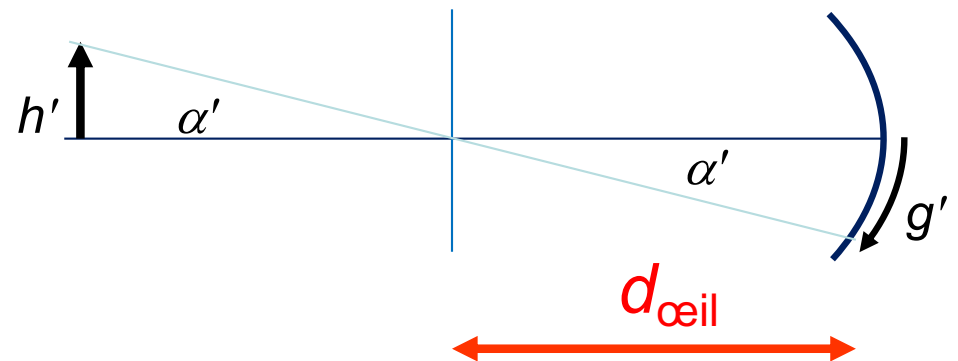


Grossissement d'un instrument d'optique

À l'œil nu



Avec instrument



Définition:
$$G = \frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha} = \frac{g'/d_{\text{œil}}}{g/d_{\text{œil}}} = \frac{g'}{g}$$

Cours 02

Optique géométrique

- Indice de réfraction
- Loi de la réfraction
- Réflexion totale
- Réfraction à une interface plane
- Réfraction à une interface sphérique
- Lentilles minces
- Construction graphique des images
- Grandissement
- Aberrations
- L'œil humain
- Grossissement d'un instrument d'optique