

Optique géométrique et ondulatoire



Tut' rentrée été 2014

Introduction

Vos tuteurs d'UE 3a

Plan

Introduction

- I - La lumière : Un phénomène de propagation d'ondes
- II- Le spectre électromagnétique
- III- Indice optique d'un milieu

Optique géométrique

- I – Fondements de l'optique géométrique
- II – Dioptries et lentilles
- III – L'œil et la vision
- IV – Systèmes optiques simples

Optique ondulatoire

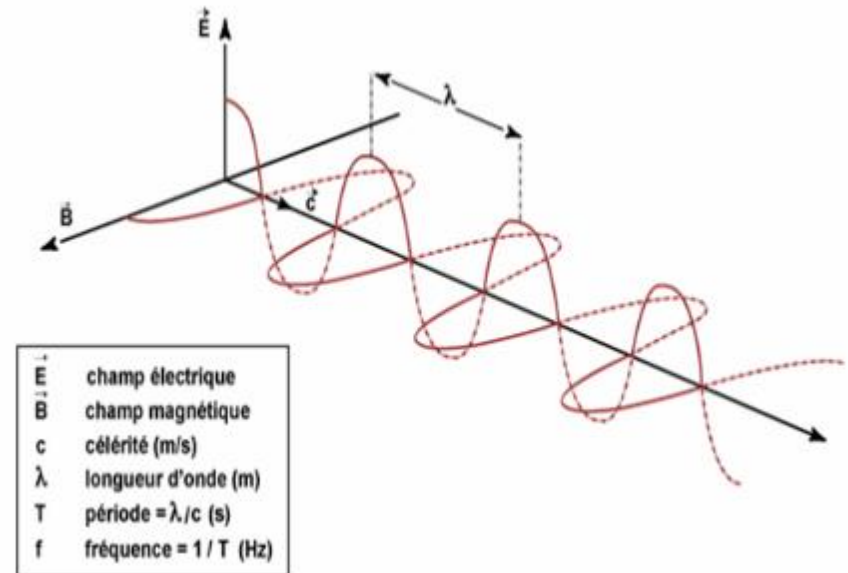
- I – Interférences
- II – Diffraction
- III – Pouvoir de résolution optique

Introduction

I – La lumière: Un phénomène de propagation d'ondes

Le faisceau lumineux est caractérisé par une onde électromagnétique qui comporte deux composantes :

- Une force électrique
- Un champ magnétique



Introduction

I – La lumière: Un phénomène de propagation d'ondes

La théorie de la relativité : la vitesse de la lumière dans le vide est invariable.

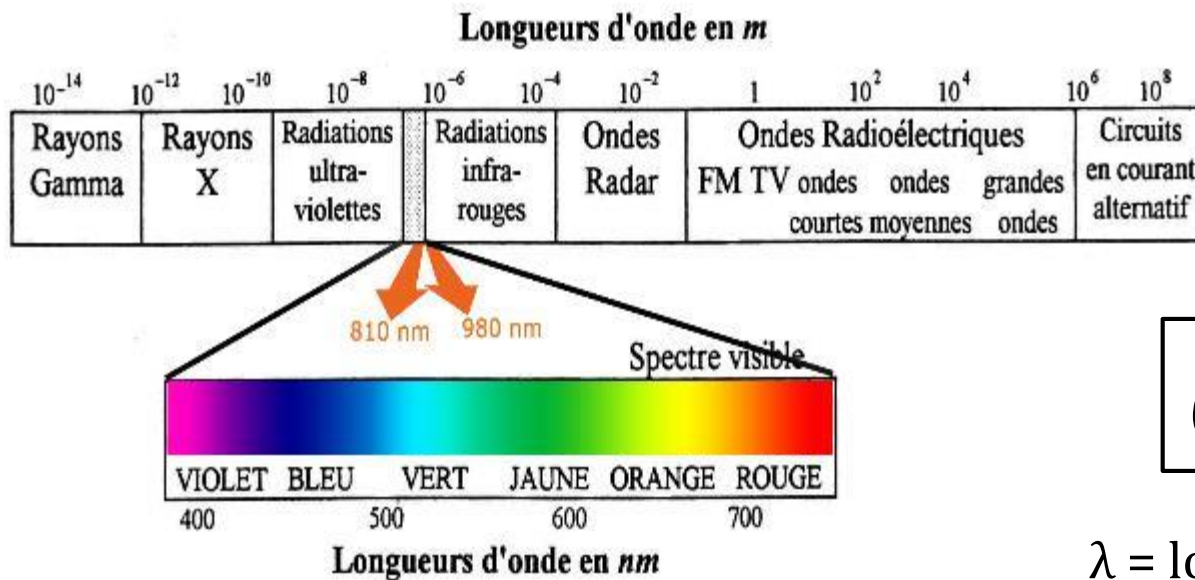
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \gg 3.10^8 \text{ m s}^{-1}$$

$$\epsilon_0 = 8,84.10^{-12} \text{ S}$$

$$\mu_0 = 1,26.10^{-6} \text{ S}$$

Introduction

II – Le spectre électromagnétique



$$c = \lambda \nu$$

λ = longueur d'onde (m)
 ν = fréquence (Hz)

Introduction

III – Indice optique d'un milieu

La matière est caractérisée par:

- La permittivité ϵ
- La perméabilité magnétique μ

$$V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\epsilon_r\mu_0\mu_r}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r\mu_r}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r\mu_r}}$$

ϵ_0 : Permittivité du vide

ϵ_r : Permittivité relative

μ_0 : perméabilité magnétique du vide

μ_r : perméabilité magnétique relative

Introduction

III – Indice optique d'un milieu

Dans un milieu non magnétique ($\mu=1$) on définit l'indice optique n :

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{c}{n} = \frac{1}{n}c$$

Introduction

III – Indice optique d'un milieu

La loi de Cauchy nous dit que l'indice optique est une fonction décroissante de la longueur d'onde :

$$n(\lambda) = a + \frac{b}{\lambda^2}$$

Optique géométrique

L'optique géométrique est basée sur l'hypothèse de l'existence et de ***l'indépendance des rayons lumineux***.

Cette hypothèse est satisfaite lorsque :



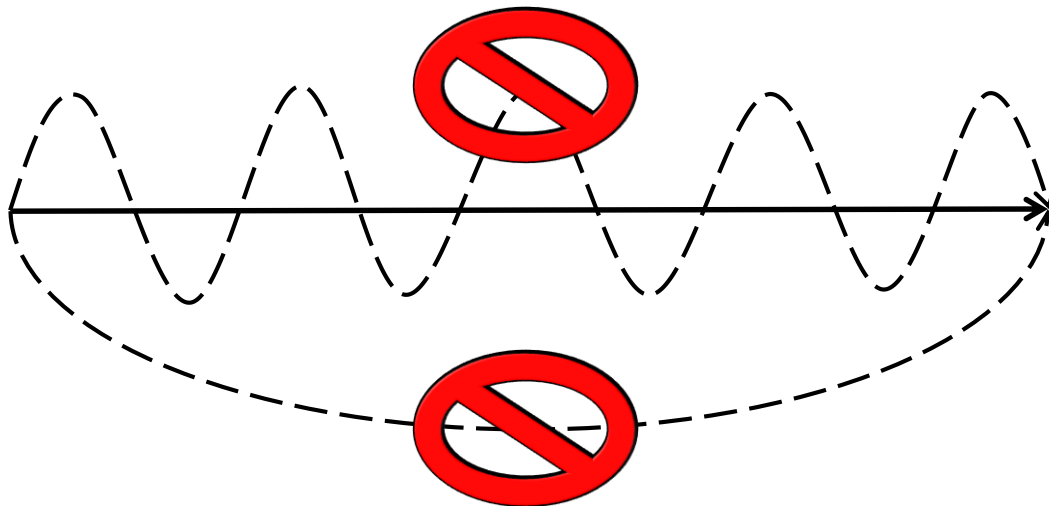
Les longueurs caractéristiques des systèmes optiques étudiés sont grandes devant les longueurs d'onde de la lumière

Optique géométrique

I – Fondements de l'optique géométrique

1) Principe de Fermat

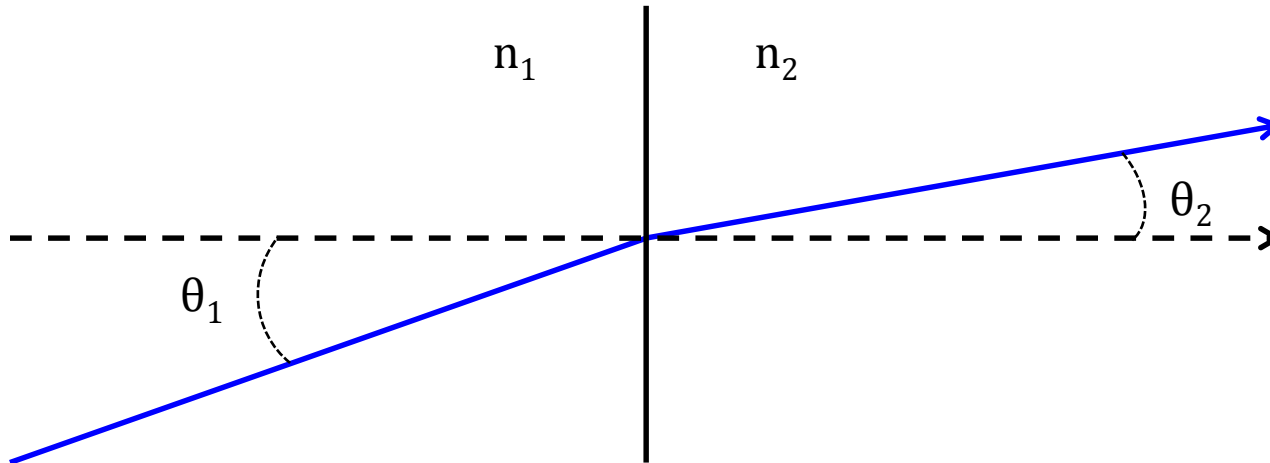
La lumière se propage d'un point à l'autre sur des trajectoires tel que le **chemin optique** soit **extrémal**.



Optique géométrique

I – Fondements de l'optique géométrique

Loi de réfraction (Snell Desartes) :

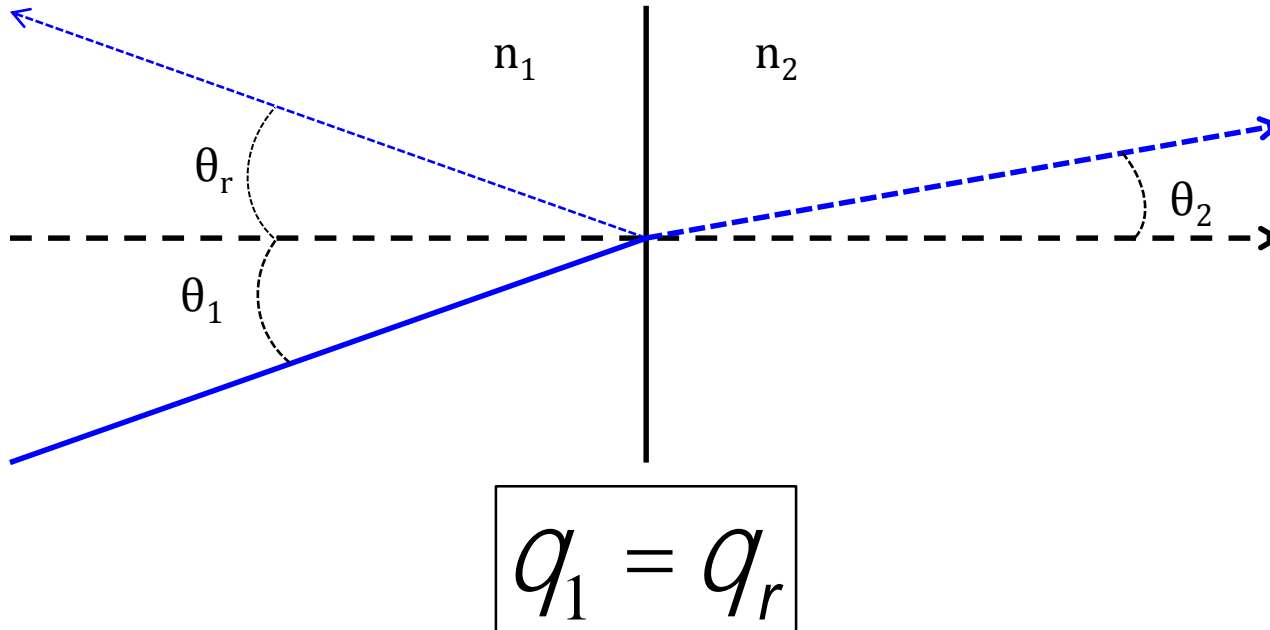


$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Optique géométrique

I – Fondements de l'optique géométrique

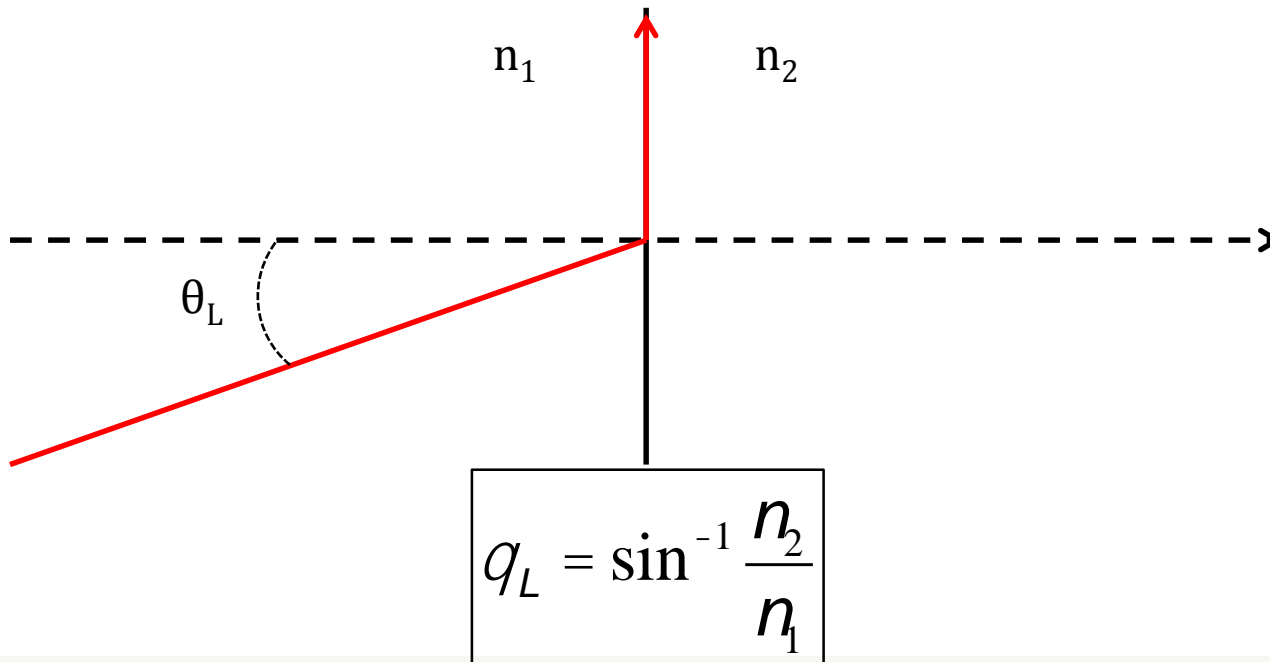
Loi de réflexion :



Optique géométrique

I – Fondements de l'optique géométrique

Cas de l'angle limite : Lorsque $n_1 > n_2$

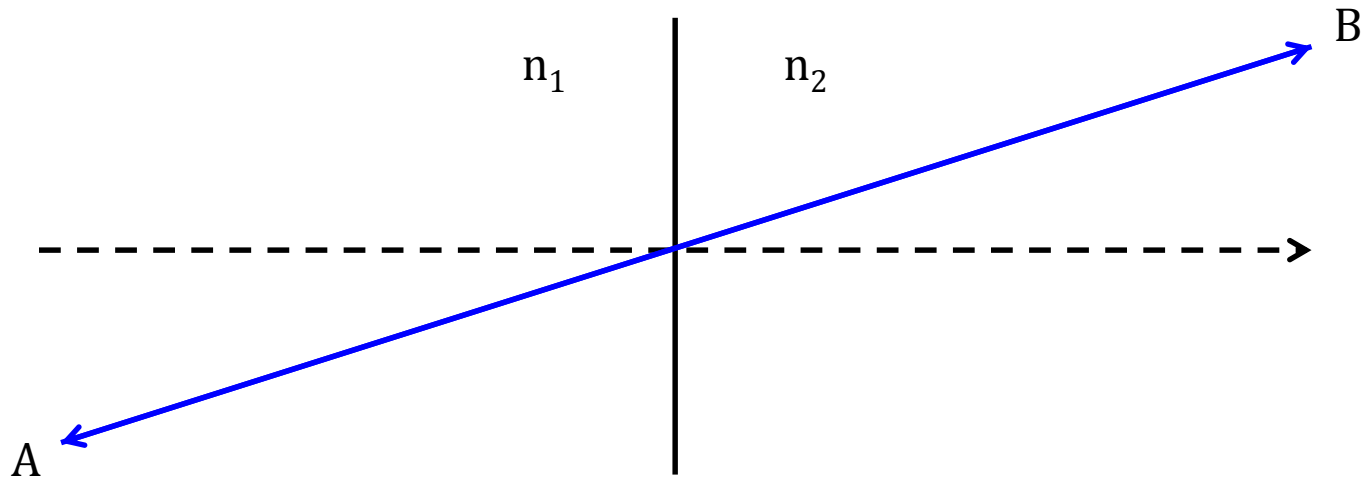


Optique géométrique

I – Fondements de l'optique géométrique

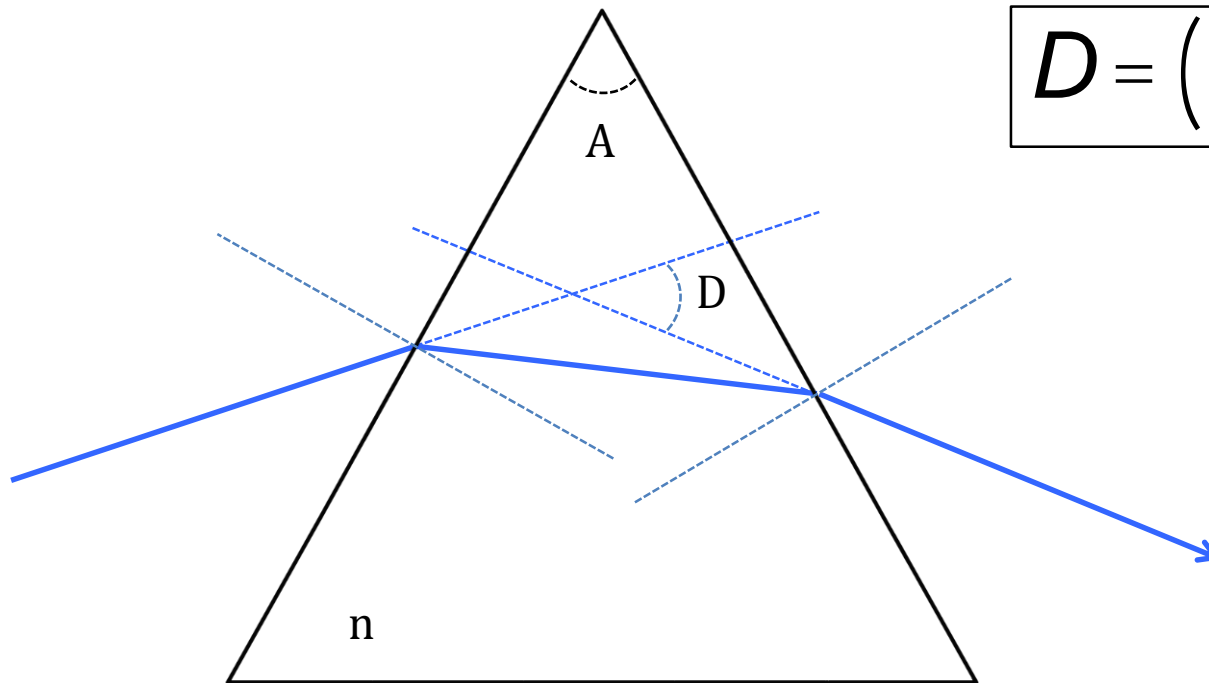
Propagation rectiligne : milieu homogène, $n_1 = n_2$

Principe du retour inverse de la lumière :



Optique géométrique

2) Dispersion de la lumière : le prisme



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

Optique géométrique

2) Dispersion de la lumière : le prisme

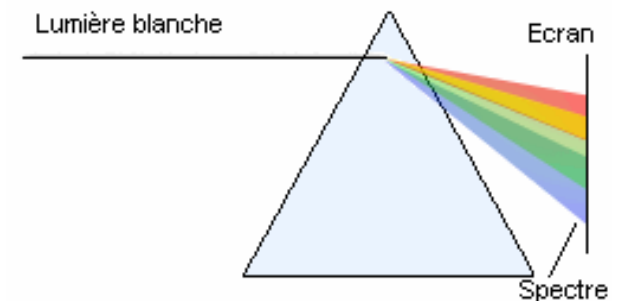
Loi de Cauchy:

$$n(\lambda) = a + \frac{b}{\lambda^2}$$

L'indice optique est une fonction décroissante de la longueur d'onde.

Donc $n_{\text{bleu}} > n_{\text{rouge}}$, \rightarrow le bleu est plus dévié que le rouge.

Le prisme agit donc comme un spectroscope :



Optique géométrique

II – Dioptries et lentilles

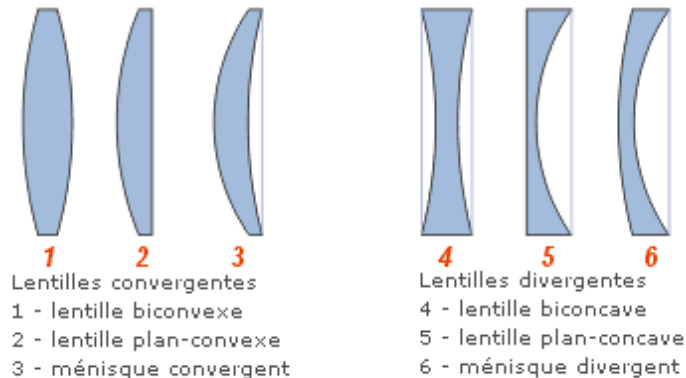
1) Notions de bases

Dioptrie : interface lisse entre deux milieux transparents d'indices optiques différents.

Lentille : Une lentille est formée de 2 dioptries (souvent sphériques).

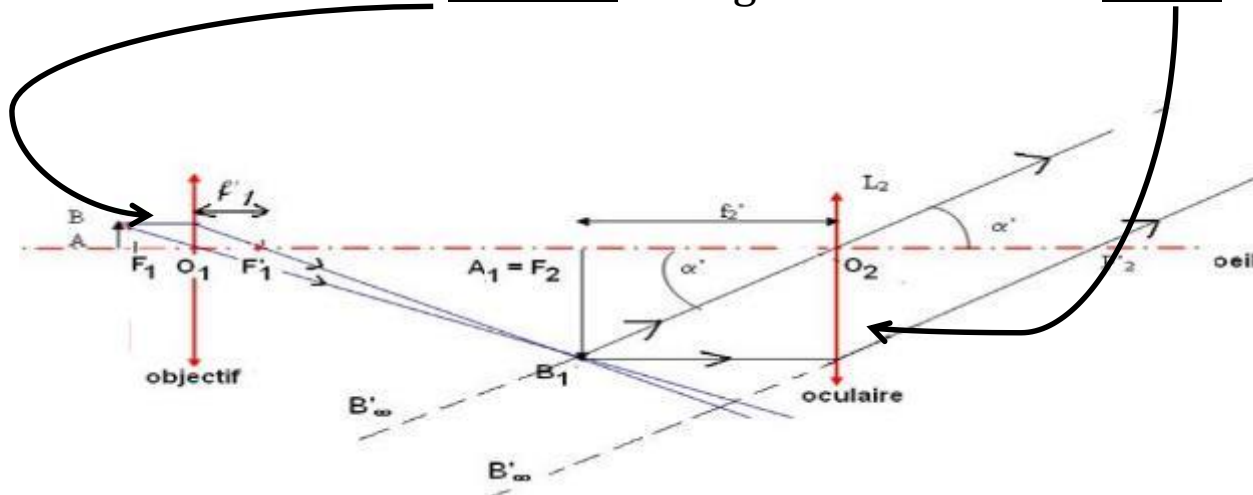
Il existe deux grands cas de lentilles :

- à bords minces : elles sont **convergentes**
- à bords épais : elles sont **divergentes**



Optique géométrique

Systèmes optiques : assemblages de miroirs et de lentilles reliant objets et images. Par convention la face d'entrée est à gauche et celle de sortie est à droite.



Un tel système est dit centré s'il possède un axe de symétrie et de révolution.

Optique géométrique

Objet : source de rayons « entrant » dans le système optique. Il est dit réel s'il se situe devant (à gauche de) la face d'entrée et virtuel s'il se situe devant la face de sortie (à droite).

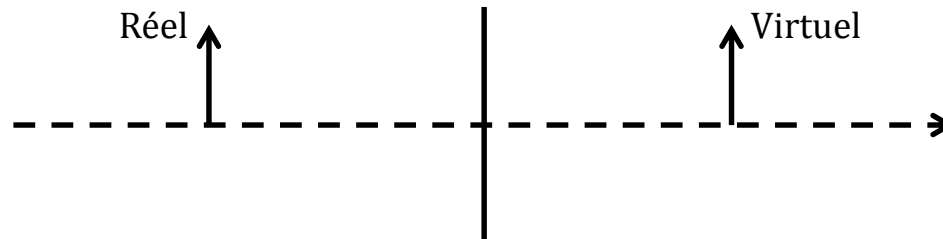
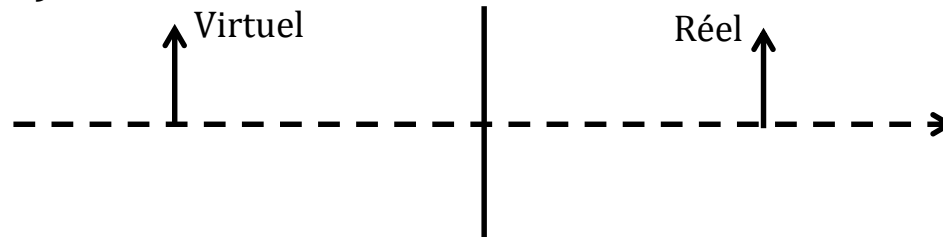


Image : source de rayon « sortant » du système optique. Elle est dite réel s'il se situe devant (à droite de) la face de sortie et virtuel s'il se situe devant la face d'entrée (à gauche).



Optique géométrique

Stigmatisme : Il y a stigmatisme rigoureux lorsque tout rayon passant par un point objet A passe, après avoir traversé le système optique, par un point A' . A' est l'image de A par le système optique. On dit que A et A' sont conjugués.

Aplanétisme : Il s'agit d'une propriété de système optique centré où tout petit objet AB plan et perpendiculaire à l'axe optique a une image $A'B'$ plane en perpendiculaire au même axe.

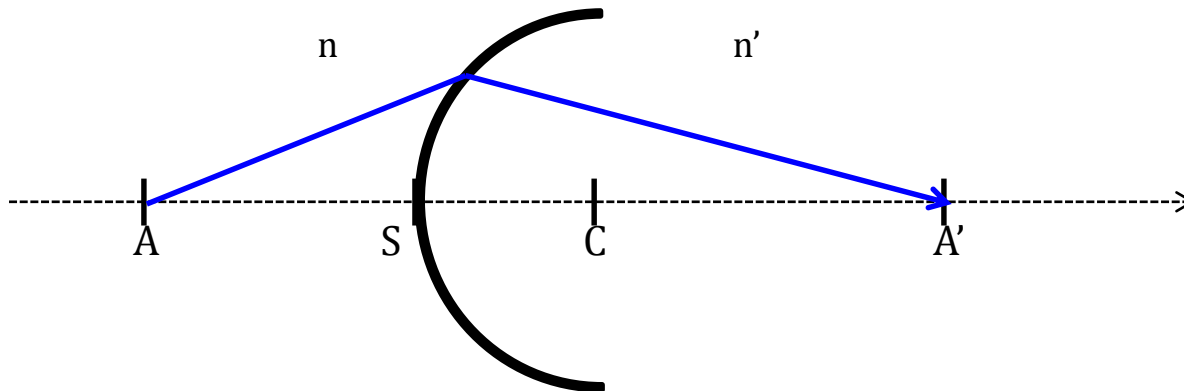
Condition de Gauss : supposer que le système optique ne comporte que des rayons paraxiaux. Dans ce cas on peut montrer que l'on obtient en bonne approximation le stigmatisme et l'aplanétisme.

Rayons paraxiaux : ce sont des rayons qui ne forment que des petits angles par rapports à l'axe optique (dans un système optique centré).

Optique géométrique

2) Dioptre sphérique

Arc de cercle séparant 2 milieux d'indices optiques différents .

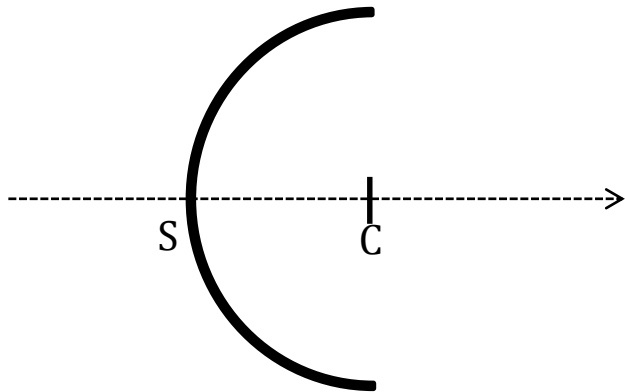


Remarque : $n' > n$

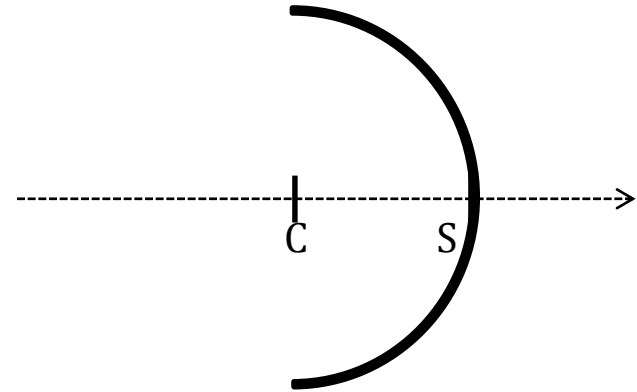
Optique géométrique

2) Dioptre sphérique

Les formes des dioptres sphériques sont caractérisées par les termes :



Convexe : $SC > 0$



Concave : $SC < 0$

Optique géométrique

2) Dioptre sphérique

On pose $p = SA$ et $p' = SA'$ et on obtient :

$$\boxed{\frac{n'}{p'} - \frac{n}{p} = \frac{n' - n}{\overline{SC}} = D}$$

D est appelé la vergence du dioptre et son unité est la dioptrie : $1d = 1m^{-1}$

Si $D > 0$ le dioptre est **convergent**

Si $D < 0$ le dioptre est **divergent**

Optique géométrique

2) Dioptré sphérique

$$\frac{n'}{p'} - \frac{n}{p} = \frac{n' - n}{SC} = D$$

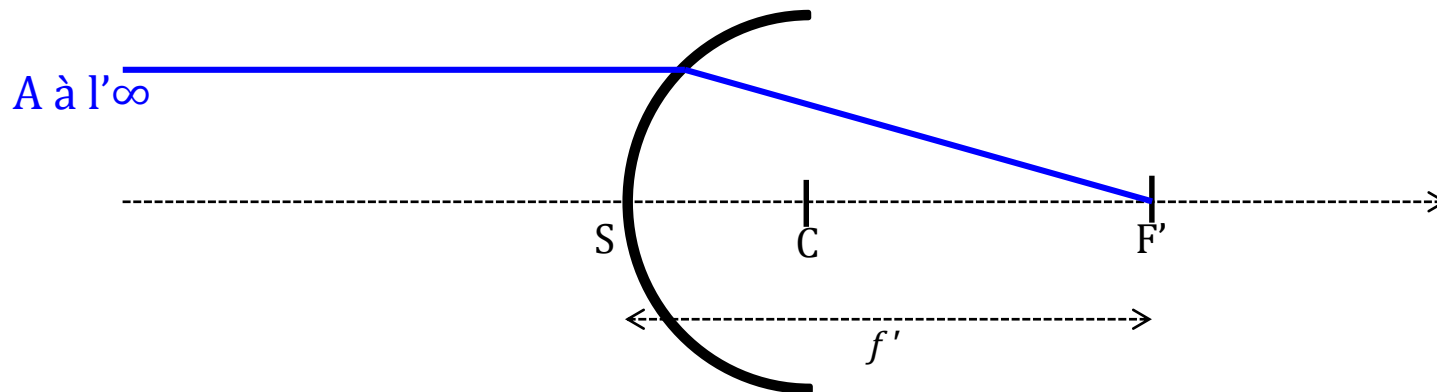
Dans le cas d'un dioptré plan, $SC = \infty$:

$$\boxed{\frac{n'}{p'} = \frac{n}{p}}$$

Optique géométrique

3) Foyers et distances focales

Par définition l'image A' est sur le foyer image F' si l'objet est à l'infini, du coup $SA' = SF' = f'$ est appelée distance focale image.

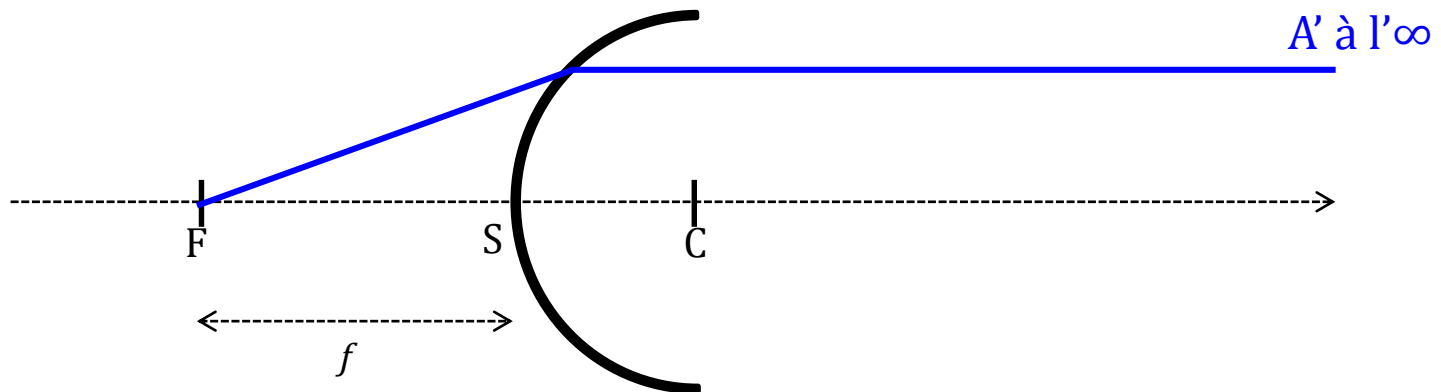


Le plan perpendiculaire à l'axe optique et passant par F' est appelé plan focal image.

Optique géométrique

3) Foyers et distances focales

L'image A' est à l'infini si l'objet est le foyer objet F , $SA = f$ est appelée distance focale objet.



Le plan perpendiculaire à l'axe optique et passant par F est appelé plan focal objet.

Optique géométrique

3) Foyers et distances focales

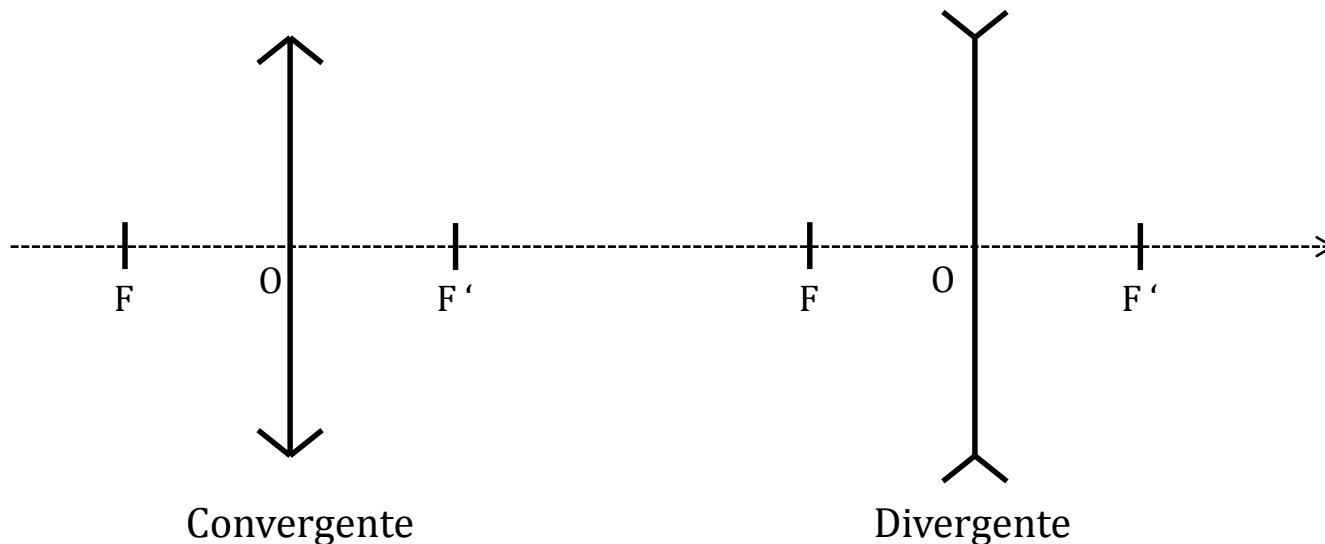
On peut ainsi réécrire l'équation du dioptre avec les distances focales :

$$\frac{n'}{p'} - \frac{n}{p} = \frac{n'}{f'} = -\frac{n}{f} = D$$

Optique géométrique

4) Lentilles minces

Elles sont formées de 2 dioptries sphériques très proches l'un de l'autre, de sorte que leurs sommets sont pratiquement confondus en un point qu'on appelle le **centre optique**.



Optique géométrique

4) Lentilles minces

Avec les conventions de l'image précédente on retrouve la formule :

$$\boxed{\frac{n'}{p'} - \frac{n}{p} = \frac{n'}{f'} = -\frac{n}{f} = D}$$

Si $n = n'$ alors $f' = -f$, souvent on choisit $n = n' = 1$.

Optique géométrique

4) Lentilles minces

Quelques propriétés des lentilles minces :

Les vergences de 2 lentilles minces accolées s'additionnent.

Un rayon incident parallèle à l'axe optique est dévié par la lentille de sorte que le rayon sortant passe par le foyer image F' .

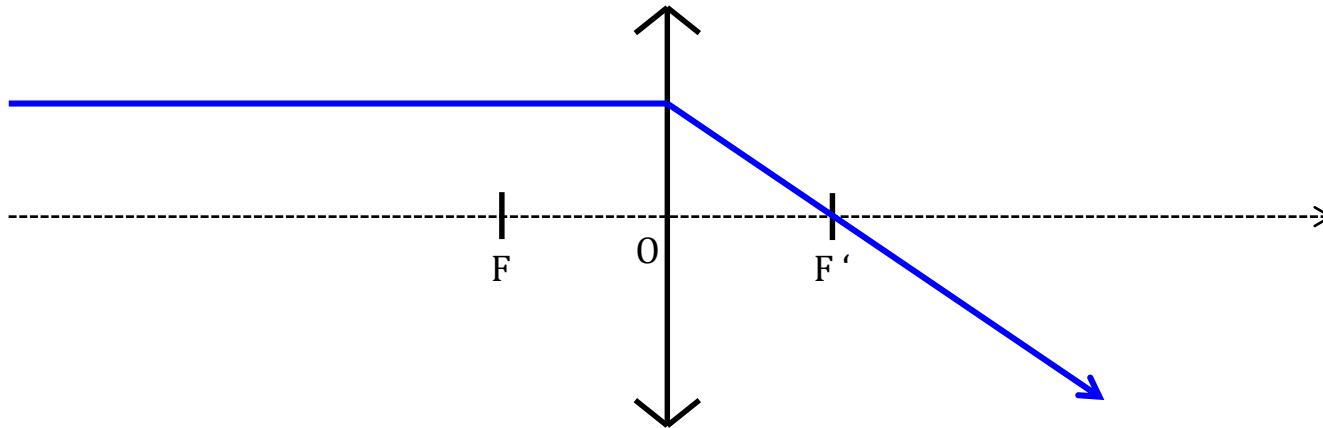
Un rayon incident passant par le foyer objet F est dévié par la lentille de sorte que le rayon sortant est parallèle à l'axe optique.

Les rayons qui passent par le centre optique ne sont pas déviés.

Optique géométrique

4) Lentilles minces

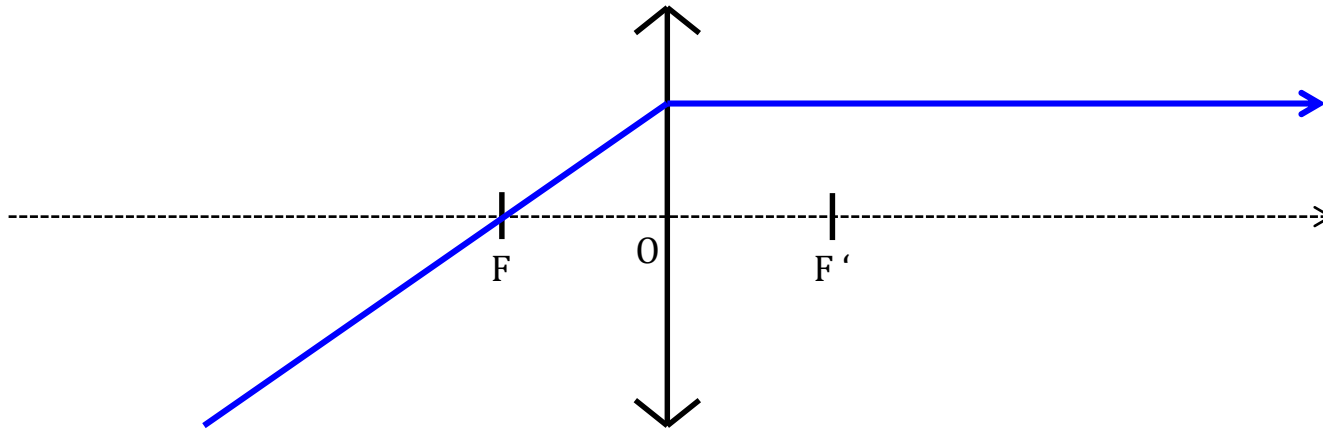
Un rayon incident parallèle à l'axe optique est dévié par la lentille de sorte que le rayon sortant passe par le foyer image F' .



Optique géométrique

4) Lentilles minces

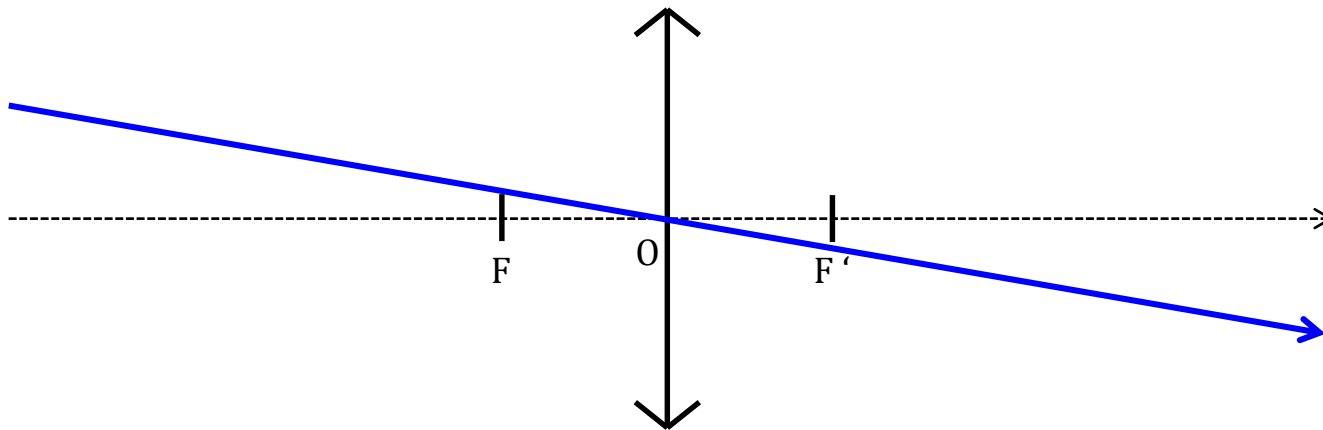
Un rayon incident passant par le foyer objet F est dévié par la lentille de sorte que le rayon sortant est parallèle à l'axe optique.



Optique géométrique

4) Lentilles minces

Les rayons qui passent par le centre optique ne sont pas déviés.



Optique géométrique

4) Lentilles minces

Le grandissement transverse de l'image est défini par :

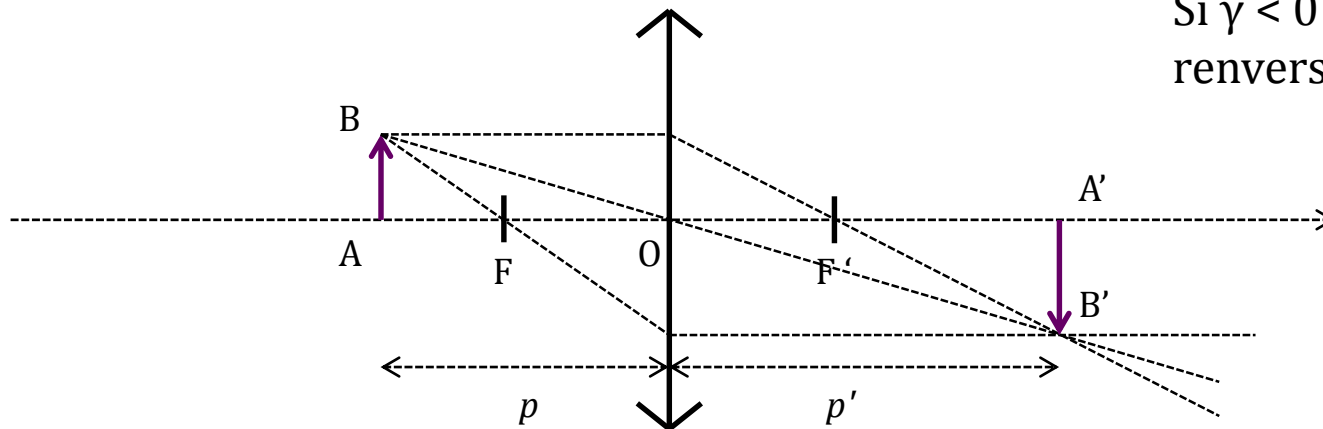
$$g = \frac{A'B'}{AB}$$

Et d'après Thalès :

$$g = \frac{p'}{p}$$

Si $g > 0$: l'image est droite

Si $g < 0$: l'image est renversée.



Optique géométrique

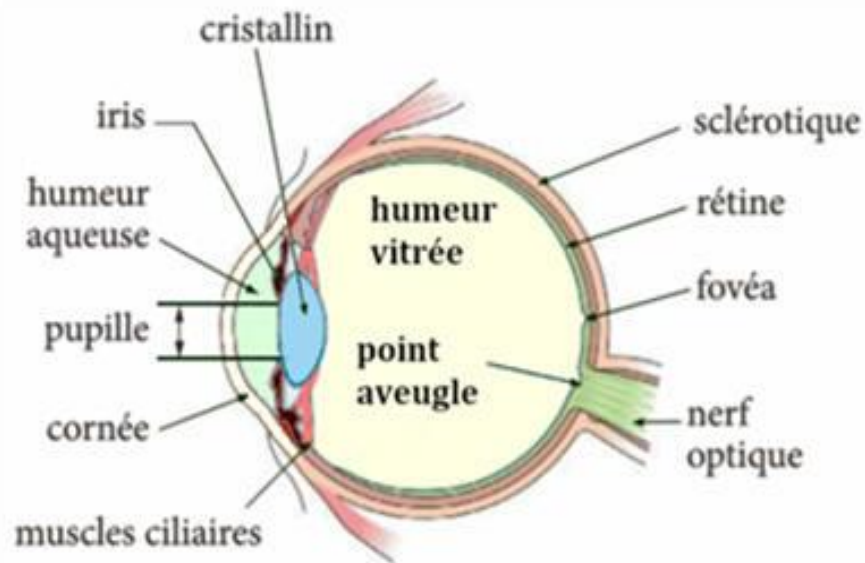
5) Tableau récapitulatif des lentilles minces

Lentilles	Image	Objet		
Convergente	Réal, avant F	Réelle	Renversée	Agrandie si $f' < -OA' < 2f'$
				Réduite si $-OA' > 2f'$
	Réal, entre F et O	Virtuelle	Droite	Agrandie
	Virtuel	Réelle	Droite	Réduite
Divergente	Réal	Virtuelle	Droite	Réduite
	Virtuel, entre O et F	Réelle	Droite	Agrandie
	Virtuel, au-delà de F	Virtuelle	Renversée	Agrandie si $f < OA < 2f$
				Réduite si $OA > 2f$

Optique géométrique

III – L'œil et la vision

1) Anatomie simplifiée de l'œil



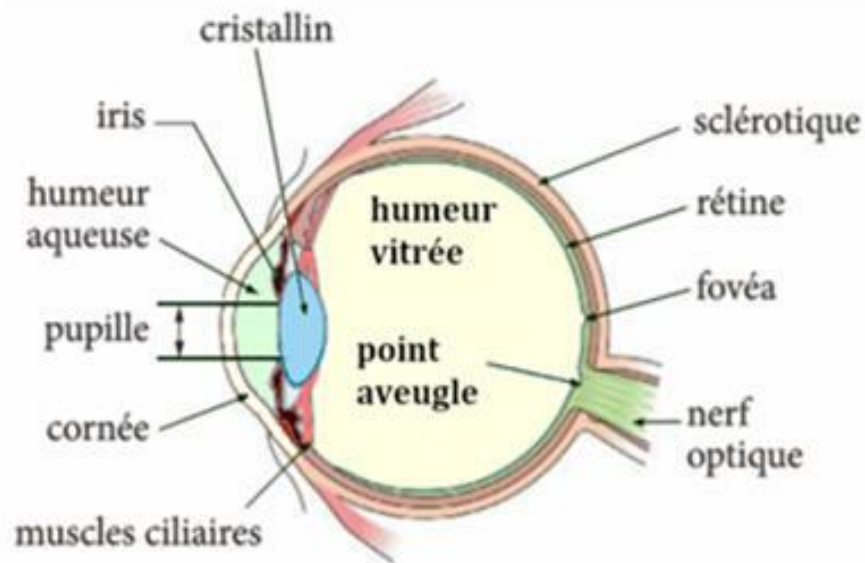
Milieu	Indice n
Aire	1
Cornée	1,38
Humeur aqueuse	1,34
Cristallin	1,41

L'essentiel de la réfraction se fait à l'interface air-cornée.

Optique géométrique

III – L'œil et la vision

1) Anatomie simplifiée de l'œil



L'ouverture de l'iris et de la pupille contrôle la quantité de lumière entrant dans l'œil.

Le cristallin est une lentille convergente. Sa compression peut être ajustée par les muscles ciliaires afin d'en adapter la distance focale.

C'est le mécanisme de **l'accommodation**.

Optique géométrique

III – L'œil et la vision

1) Anatomie simplifiée de l'œil

Un œil donné peut voir nettement les objets situés entre 2 points :

Punctum Proximum (P_p) : Point de l'axe optique qui donne une image nette sur la rétine d'un œil qui **accommode au maximum**.

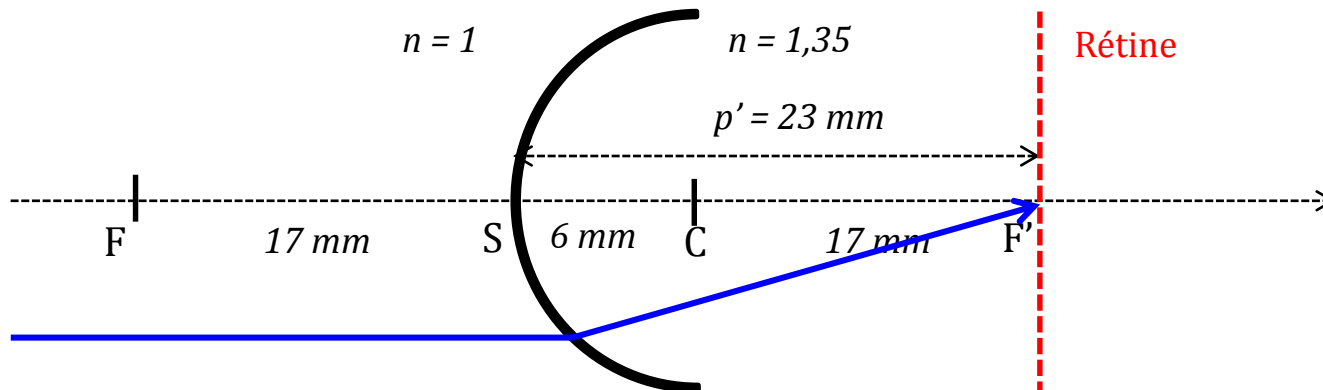
Pour un œil adulte normal le P_p est en moyenne à 25 cm de l'œil (Rq : $P_p = -0,25\text{m}$, on est à gauche de la lentille).

Punctum Remotum (P_R) : Point le plus éloigné de l'axe optique qui donne une image nette sur la rétine d'un **œil au repos**, c'est-à-dire sans accommodation. ($P_R = -\infty$)

Optique géométrique

2) Modèle de l'œil réduit de Listing

L'œil est modélisé par un unique dioptre sphérique :



Optique géométrique

2) Modèle de l'œil réduit de Listing

L'équation de la vergence de l'œil est utilisée pour décrire 2 situations :

Au repos (P_R) :

$$D_{\text{repos}} = \frac{n'}{f'_R} = \frac{n'}{p'} - \frac{1}{P_R}$$

A l'accommodation max (P_P) :

$$D_{\text{max}} = \frac{n'}{p'} - \frac{1}{P_P}$$

Optique géométrique

2) Modèle de l'œil réduit de Listing

L'accommodation maximale est donc associée à une variation de vergence, le potentiel d'accommodation :

$$D_{\max} - D_{\text{repos}} = \Delta D_{\text{cristallin}} = \frac{1}{P_R} - \frac{1}{P_P}$$

Chez un sujet adulte $-p_R = \infty$ et $-p_P = 0.25 \text{ m}$.

On a donc $\Delta D_{\text{cristallin}} = 4\delta$.

Le potentiel d'accommodation diminue avec l'âge.

Optique géométrique

3) Les défauts visuels

Emmétropie : absence de défaut visuel.

Amétropie : le point focal image n'est pas sur la rétine.

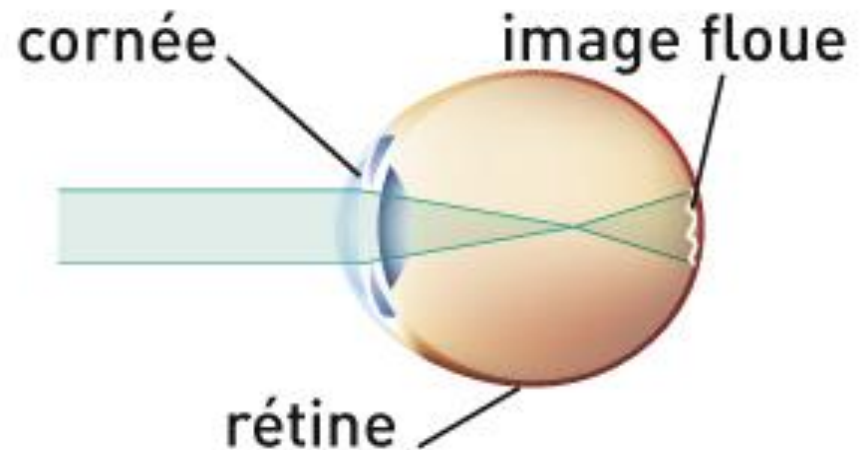
MYOPIE : L'œil est trop convergent.

Le défaut de vergence δ_v est **positif** :

$$0 < d_v = \frac{n'}{f'_R} - \frac{n'}{p'} = -\frac{1}{P_R}$$

Le P_R est alors situé à une distance finie devant l'œil :

$$P_R = -\frac{1}{d_v}$$



Optique géométrique

3) Les défauts visuels

La myopie peut être corrigée à l'aide de lentilles minces **divergentes**, de vergences - δ_v (lentilles à bords épais) :

Comme la vergence des lentilles minces s'additionnent, la distance focale de l'œil est telle que :

$$\frac{n'}{f'_{\text{corrigé}}} = -d_v + \frac{n'}{f'_R} = \frac{n'}{p'}$$

Optique géométrique

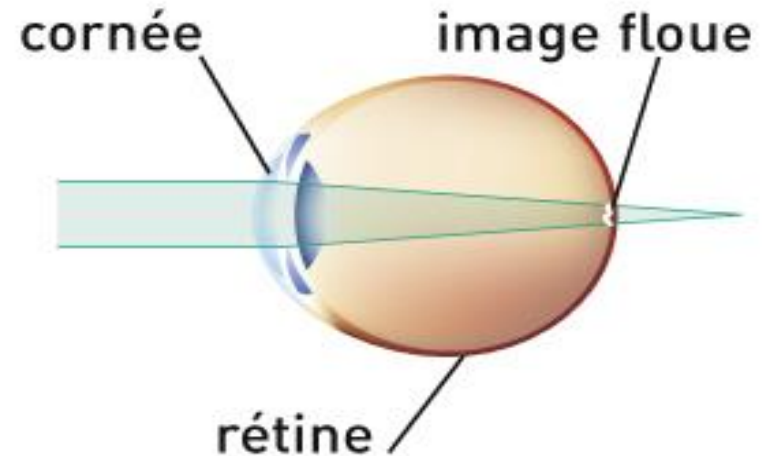
3) Les défauts visuels

HYPERMETROPIE : L'œil est trop court par rapport à sa focale.

Dans ce cas le défaut de vergence est négatif :

$$0 > d_v = \frac{n'}{f'_R} - \frac{n'}{p'} = -\frac{1}{P_R}$$

L'hypermétropie peut être corrigée à l'aide de verres **converge**nts (lentilles à bords minces).



Optique géométrique

3) Les défauts visuels

PRESBYTIE : Elle est due à une fatigue des muscles ciliaire ou un manque de souplesse du cristallin.

Le P_p s'éloigne de l'œil.

Le potentiel d'accommodation diminue avec l'âge et on estime que le port de lunette devient nécessaire lorsque $\Delta D_{\text{cristallin}} < 3\delta$.

$$\Delta D_{\text{cristallin}} = \frac{1}{P_R} - \frac{1}{P_P} \rightarrow \boxed{\Delta D_{\text{cristallin}} + \delta_v = -\frac{1}{P_P}}$$

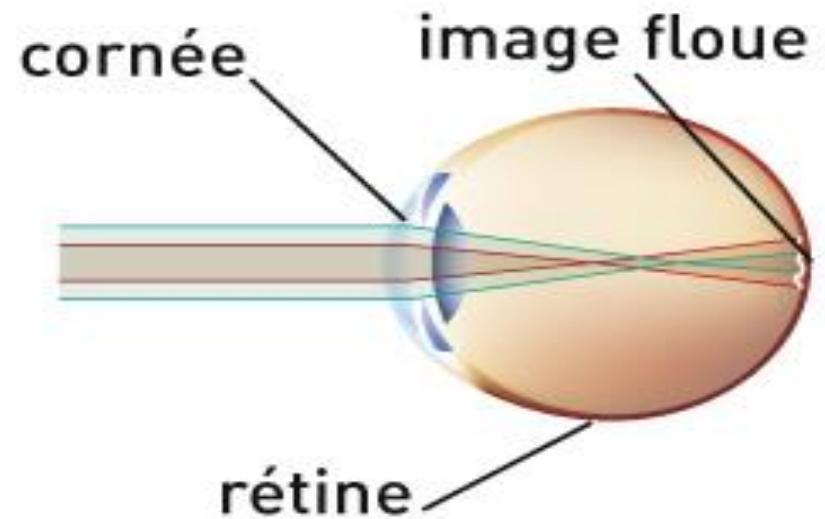
Optique géométrique

3) Les défauts visuels

ASTIGMATISME : Anomalie due à un défaut de sphéricité de l'œil ou de symétrie de la cornée.

L'image d'un point apparaît comme un cercle plus ou moins déformé et flou.

Ce défaut se corrige avec des lentilles **sphéro-cylindriques** ou **toriques**, pour compenser l'asymétrie de convergence.



Optique géométrique

IV – Systèmes optiques simples

1) La loupe

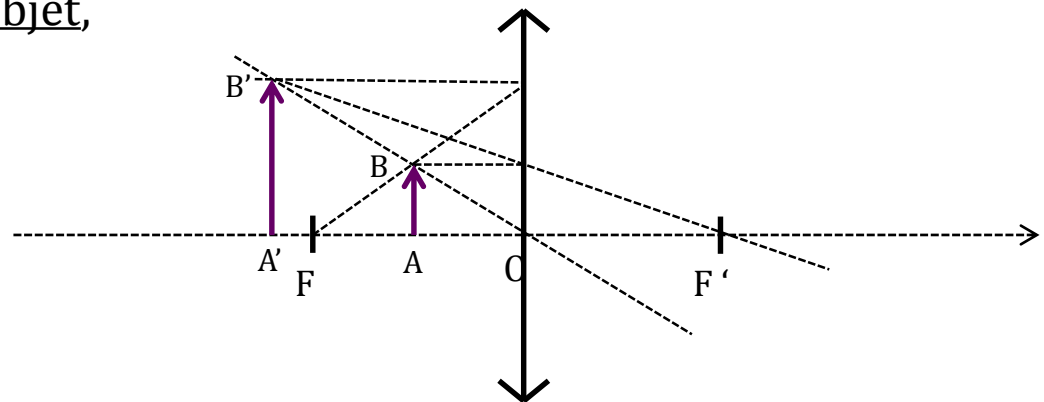
C'est le plus simple des instruments qui permet d'augmenter le pouvoir séparateur de l'œil.

Elle est formée d'une seule lentille convergente.

Le principe est de placer l'objet entre le centre optique et le point focal objet,

on obtient une image :

- virtuelle
- agrandie
- droite

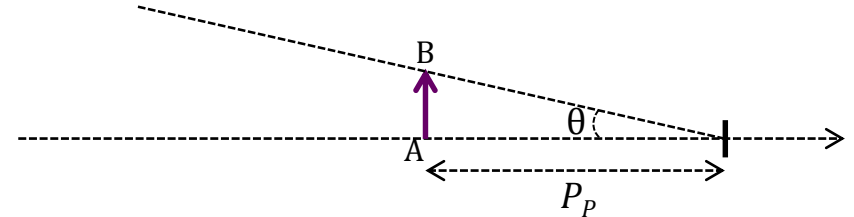


Optique géométrique

1) La loupe

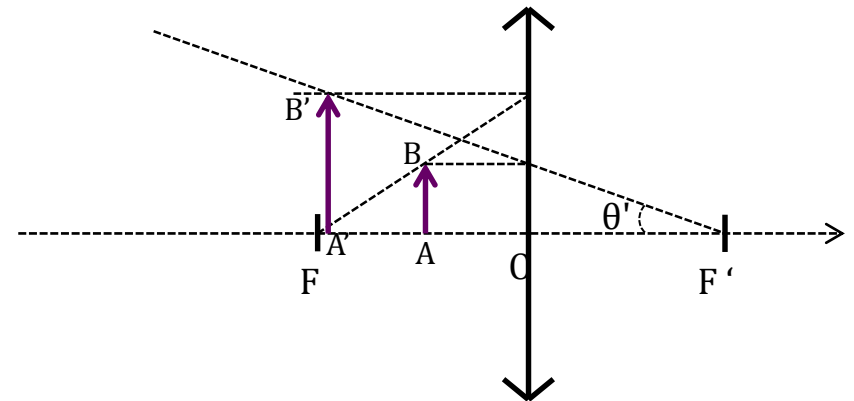
Au P_p , l'œil nu voit AB sous l'angle θ , qui est tel que :

$$\tan \theta = \frac{AB}{P_p}$$



Avec la loupe, l'objet est vu sous l'angle $\theta' > \theta$ qui est tel que :

$$\tan \theta' = \frac{AB}{f'}$$



Optique géométrique

1) La loupe

Le grossissement G est défini par :

$$G = \frac{q'}{q} \gg \frac{\tan q'}{\tan q} = \frac{|P_P|}{f'}$$

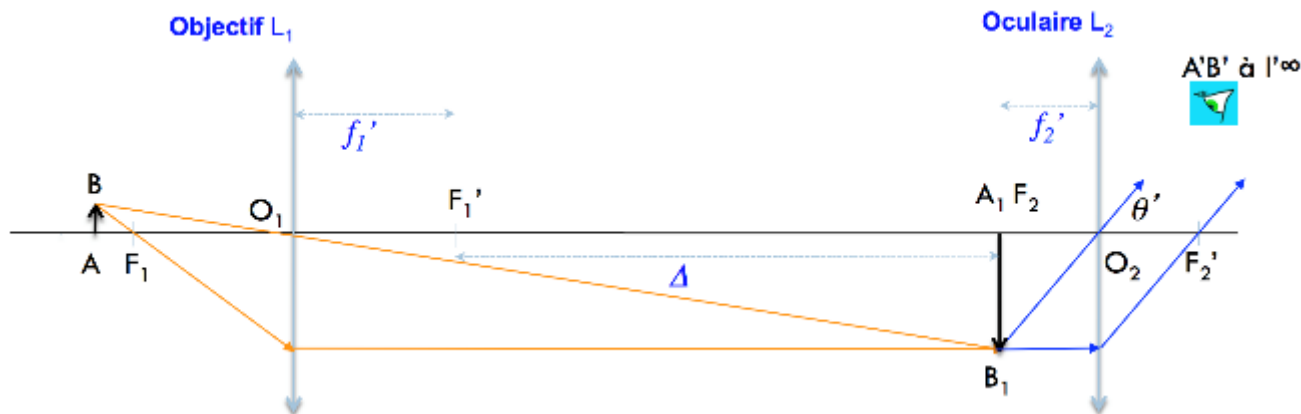
La puissance de la loupe P (en dioptrie δ) est :

$$P = \frac{1}{f'} = \frac{G}{|P_P|}$$

Optique géométrique

2) Le microscope

Il permet un pouvoir séparateur plus grand que celui de la loupe grâce à un système de doublet de lentilles convergentes, comportant objectif et oculaire.



Le microscope est caractérisé par les distances focales de ses lentilles, f_1', f_2' , et par l'intervalle optique $\Delta = F_1'F_2 \gg f_1'$

Optique géométrique

2) Le microscope

L'oculaire détermine l'angle θ' sous lequel l'image intermédiaire A_1B_1 est vue lorsqu'elle se situe dans le plan focal de L_2 .

On définit alors le **grossissement G** :

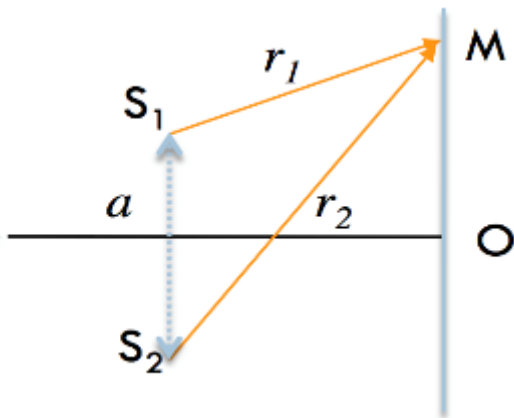
$$G = \frac{\tan q'}{\tan q} \approx \frac{|P_P|D}{f'_1 f'_2}$$

Optique ondulatoire

I – Interférences

Elles proviennent de l'addition de 2 signaux sinusoïdaux qui présentent entre eux des différences de chemins optiques.

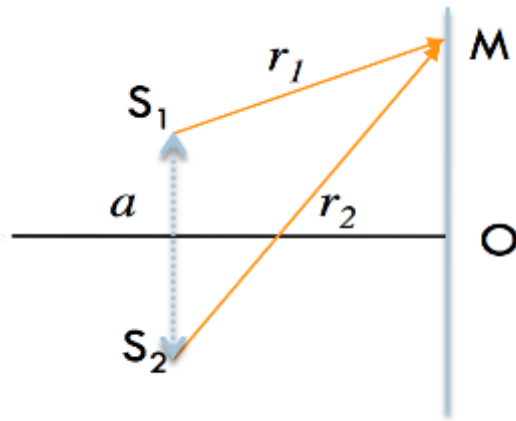
1) Principe d'interférence à 2 sources d'ondes (monochromatiques et synchrones)



La différence de chemin optique entre les 2 ondes est $\delta = r_1 - r_2$.

Optique ondulatoire

1) Principe d'interférence à 2 sources d'ondes (monochromatiques et synchrones)



L'amplitude de l'onde résultante au point M est : $\psi = \psi_1 + \psi_2$

$$y = A \cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} r_1 \right) + A \cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} r_2 \right)$$

$$= 2A \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{\lambda} (r_1 + r_2) \right) \cos \left(\frac{\pi}{\lambda} (r_2 - r_1) \right)$$

L'intensité résultante en M est donc :

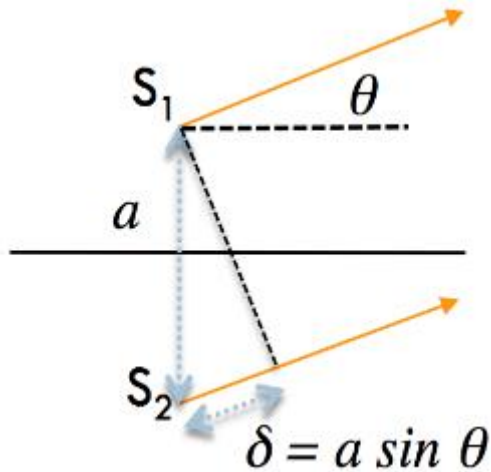
$$I = \langle y^2 \rangle = 4I_0 \cos^2 \left(\frac{\pi}{\lambda} (r_2 - r_1) \right)$$

avec $I_0 = \frac{A^2}{2}$

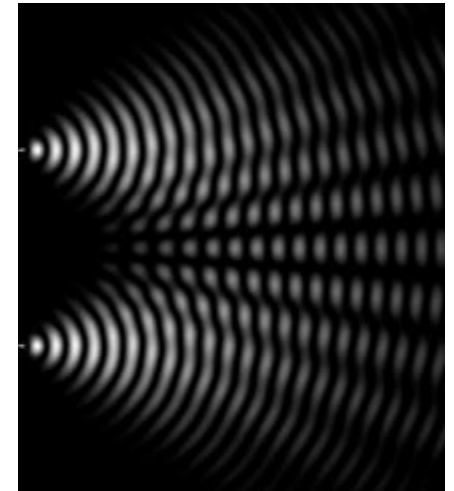
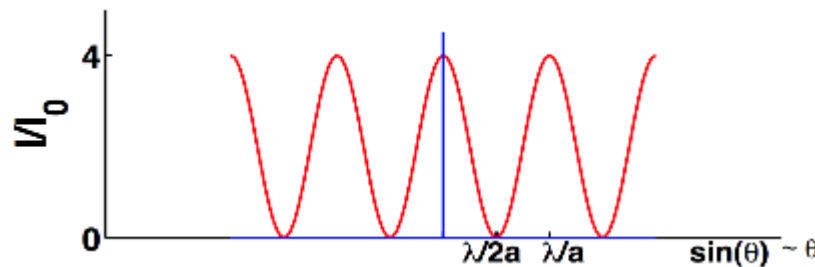
Optique ondulatoire

1) Principe d'interférence à 2 sources d'ondes (monochromatiques et synchrones)

On se place dans le cas où le point M est très éloigné, de sorte que les rayons issus des sources sont parallèles.

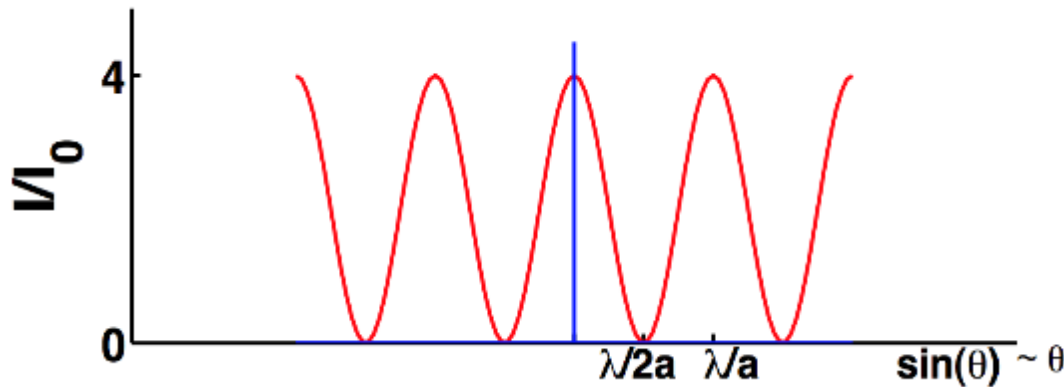


$$I = 4I_0 \cos^2 \left(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda} \right)$$



Optique ondulatoire

1) Principe d'interférence à 2 sources d'ondes (monochromatiques et synchrones)



$$I = 4I_0 \cos^2 \left(\frac{\pi a \sin \theta}{\lambda} \right)$$

Maxima = franges claires

Minima = franges sombres

$$\sin \theta = k \frac{\lambda}{a}$$

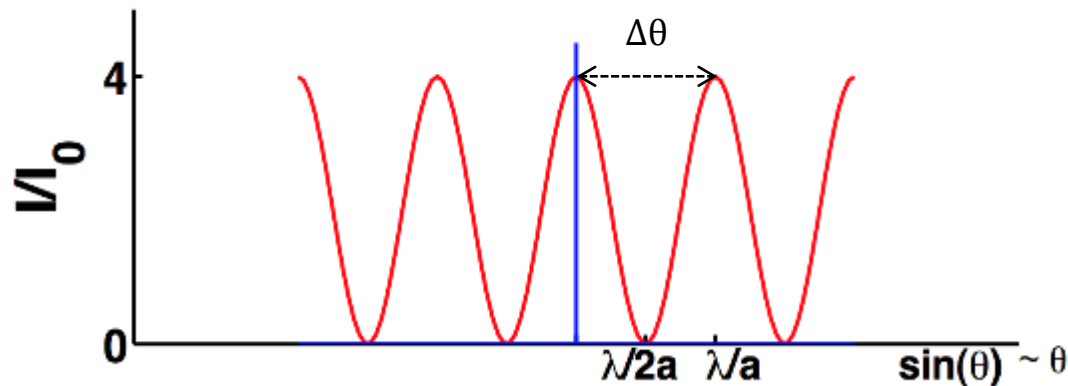
$$\sin \theta = \left(k + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{a}$$

Optique ondulatoire

1) Principe d'interférence à 2 sources d'ondes (monochromatiques et synchrones)

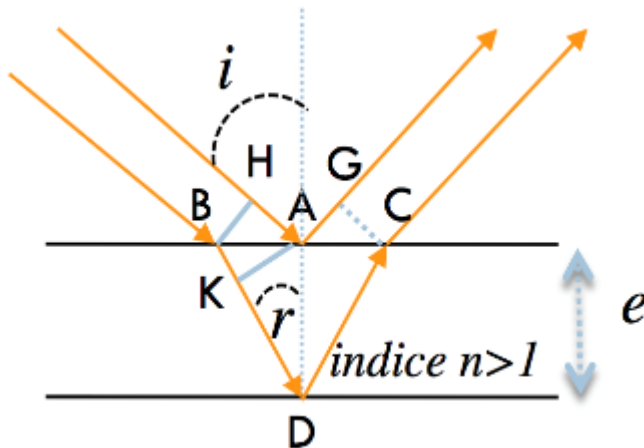
Si λ/a est assez petit, on peut approcher $\sin \theta$ par θ , et l'intervalle angulaire entre 2 franges claires (ou sombres) est :

$$Dq = \frac{\lambda}{a}$$



Optique ondulatoire

2) Interférences dans des lames minces



On suppose en B et en H que les ondes incidentes sont en phases. La différence de chemin optique entre les 2 rayons donne une différence de phase des ondes en G et C, créant ainsi une **interférence**.

L'interférence dans la lame mince donne lieu à des franges qui varient telles que :

$$I = 4I_0 \cos^2 \frac{\pi}{\lambda} \left(\frac{d}{\lambda} + \frac{1}{2} \right) \quad \text{avec} \quad d = 2nec \cos r + \frac{\lambda}{2}$$

Optique ondulatoire

2) Interférences dans des lames minces

Application : Les couches anti-reflet.

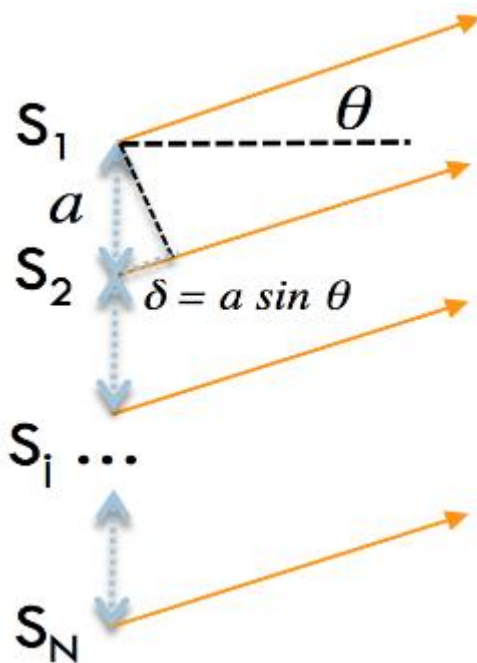
Pour réduire la réflexion on peut déposer sur la lentille une couche mince d'un **matériau moins réfringent que le verre** (d'épaisseur e) et dans ce cas la différence de chemin optique en incidence normale devient $\delta = 2 e.n$ (avec n l'indice de la couche mince)

Si on choisit une épaisseur e tel que $e.n = \lambda/4$, la différence de chemin optique entre les 2 ondes réfléchies devient $\delta = \lambda/2$ (et donc $\cos(\pi.\lambda/\lambda.2) = \cos(\pi/2) = 0$) → dans ce cas les 2 ondes s'annihilent par **interférence destructive**.

$$\text{Rappel : } I = 4I_0 \cos^2 \frac{\pi}{\lambda} \frac{a}{l} \sin^2 \frac{\pi}{\lambda} \frac{b}{l}$$

Optique ondulatoire

3) Interférences à N sources (réseau optique)



$$y = A \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} r_1 - \omega t\right) + A \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} r_2 - \omega t\right) + \dots + A \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} r_N - \omega t\right)$$

Avec pour phase relative $\phi = \frac{2\pi}{\lambda} r_1 - \omega t$

En effectuant la somme ci-dessus, on obtient :

$$I_N = \frac{A^2}{2} \frac{\sin^2 \frac{N\pi a \sin \theta}{\lambda}}{\sin^2 \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}}$$

Optique ondulatoire

3) Interférences à N sources (réseau optique)

Comme pour les interférences à 2 sources, les **maxima d'intensités** prennent des directions θ_k telles que :

$$\sin \theta_k = k \frac{\lambda}{a} \quad k \in \mathbb{Z}$$

Optique ondulatoire

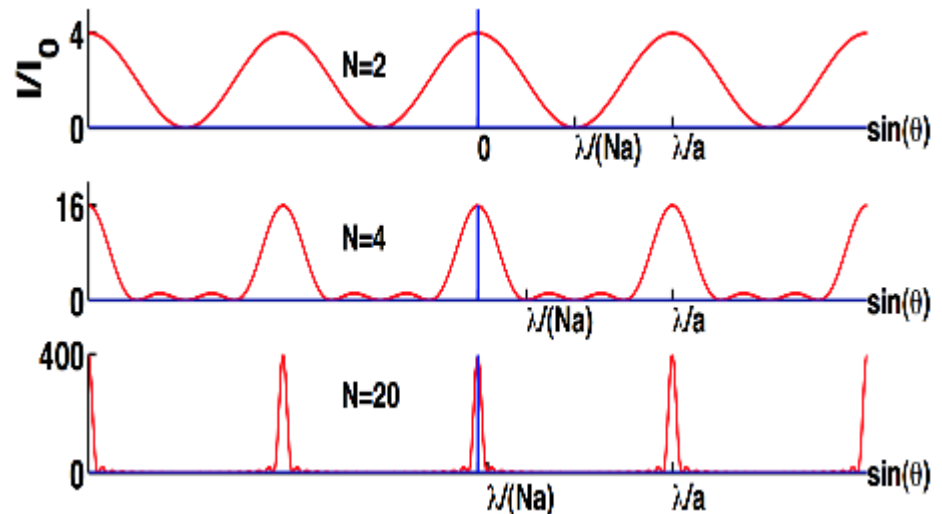
3) Interférences à N sources (réseau optique)

Ces directions sont indépendantes de N, l'ordre du réseau.

Par contre la hauteur des maxima croît avec N comme N^2 et leur largeur diminue telle que :

$$Dq = \frac{\lambda}{Na}$$

Application : comme les directions des maxima d'intensité dépendent de λ , on peut utiliser un réseau optique comme analyseur de lumière.



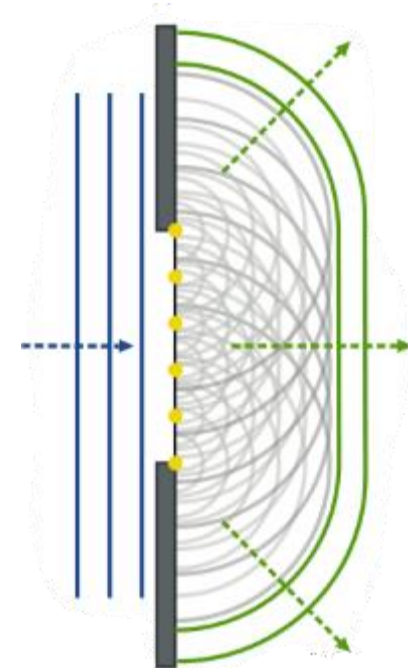
Optique ondulatoire

II – Diffraction

Phénomène d'interférence avec des sources qui sont en distribution continue

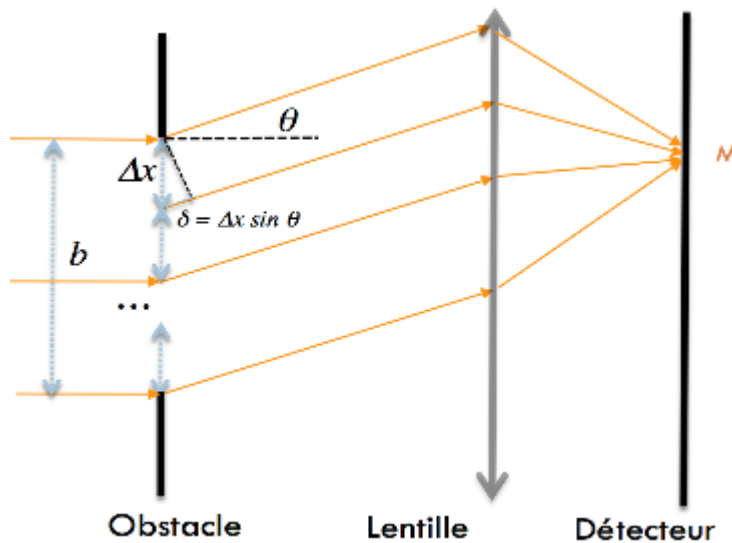
1) Le principe de Huygens-Fresnel

Lorsqu'un front atteint une **ouverture étroite** dans une paroi opaque, les ondes lumineuses détectées au delà de cette paroi se comportent comme si elles étaient émises par un **ensemble continu de sources disposées dans l'ouverture de cette paroi**.



Optique ondulatoire

2) Diffraction par une seule fente



Equivalente à $N = \frac{b}{D\lambda + 1}$ sources rayonnant en phase.

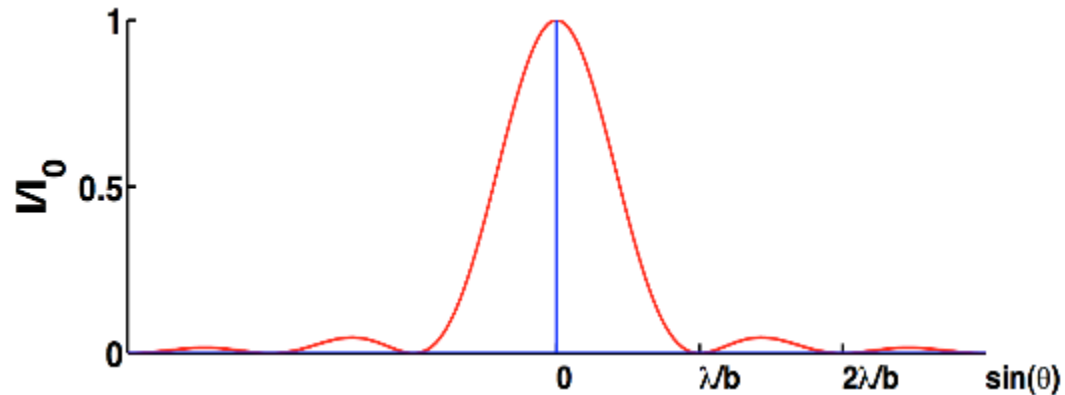
$$d = D\lambda \sin \theta$$

Optique ondulatoire

2) Diffraction par une seule fente

L'intensité lumineuse au point M est :

$$I_b = I_0 \sin^2 \left(\frac{\pi b \sin \theta}{\lambda} \right) \quad \text{avec} \quad \sin C(X) = \frac{\sin X}{X}$$



Optique ondulatoire

2) Diffraction par une seule fente

Les positions des minima de I_b sont données par :

$$\frac{p b \sin q_k}{l} = k p$$

donc

$$\sin q_k = k \frac{l}{b}$$

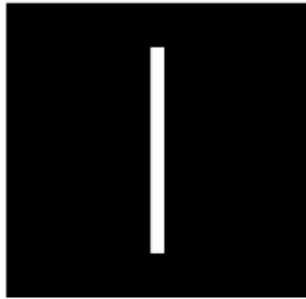
Dans l'approximation des petits angles, sa largeur angulaire vaut :

$$\Delta q = 2 \frac{l}{b}$$

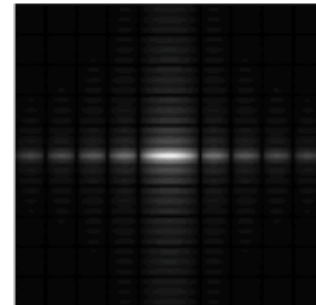
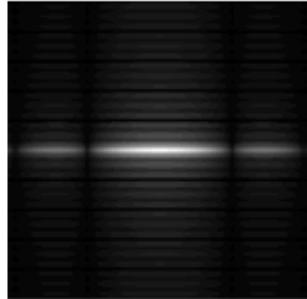
Optique ondulatoire

3) Exemples de manipulations physiques

Obstacle pour une
source lumineuse cohérente



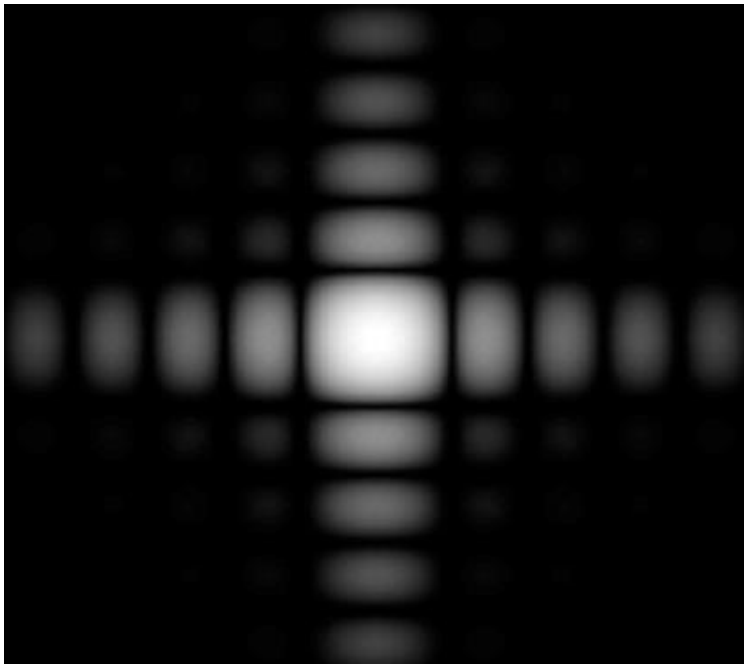
Écran en champ lointain
(diffraction de Fraunhofer)



$$Dq = 2 \frac{l}{b}$$

Optique ondulatoire

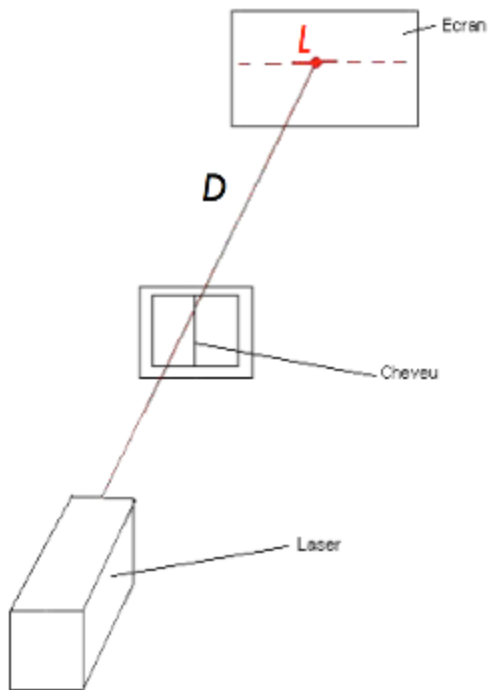
3) Exemples de manipulations physiques



La diffraction par une ouverture carrée de côté b est le produit des intensités diffractées par des fentes verticales et horizontales de même largeur.

Optique ondulatoire

3) Exemples de manipulations physiques



Semblable à une fente.

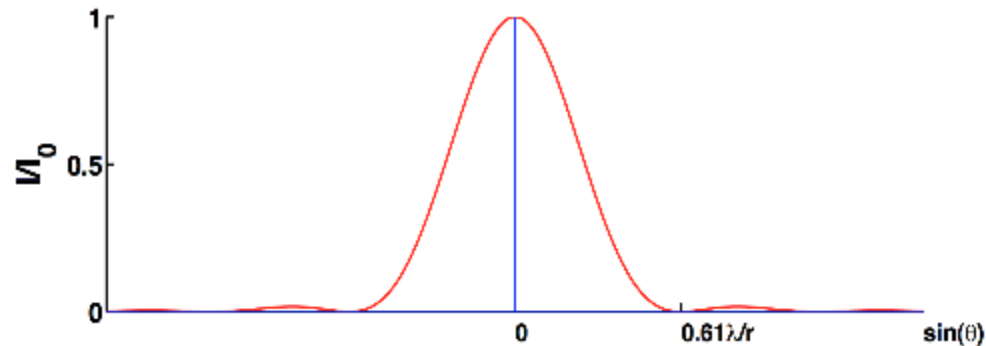
$$\frac{L}{D} \approx Dq = 2 \frac{\lambda}{b}$$

On a ainsi :

$$b = \frac{2 \lambda D}{L}$$

Optique ondulatoire

4) Diffraction par une ouverture circulaire



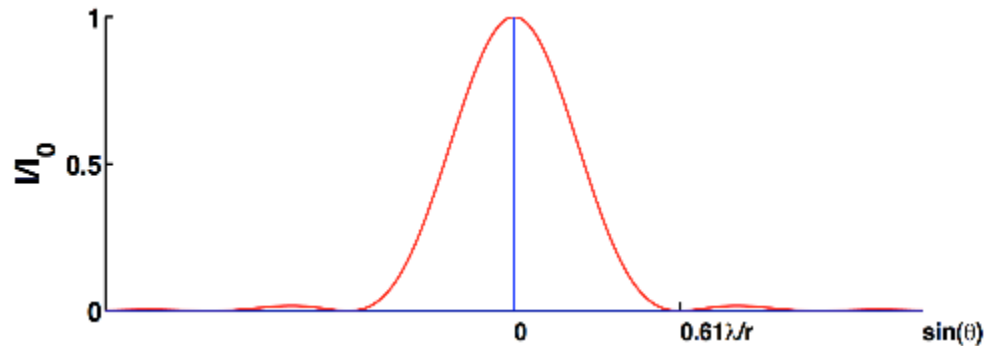
L'intensité diffractée est seulement fonction du rayon r de l'ouverture dans la paroi.

Cette fonction ressemble au sinus cardinal mais est cependant quantitativement différente :

- La hauteur de l'intensité secondaire est très faible
- On n'a pas de lien simple entre la taille de l'ouverture et la taille de la tâche centrale.

Optique ondulatoire

4) Diffraction par une ouverture circulaire



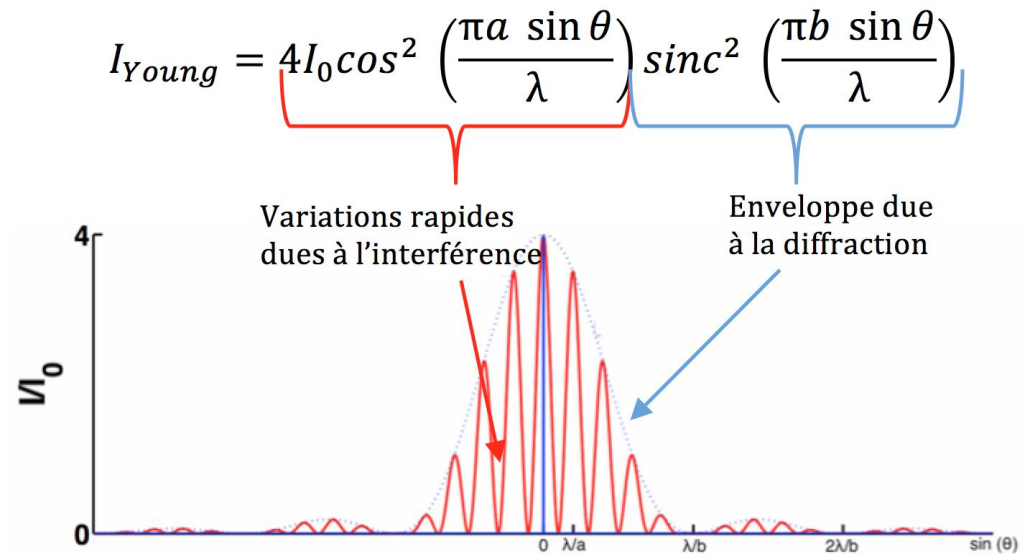
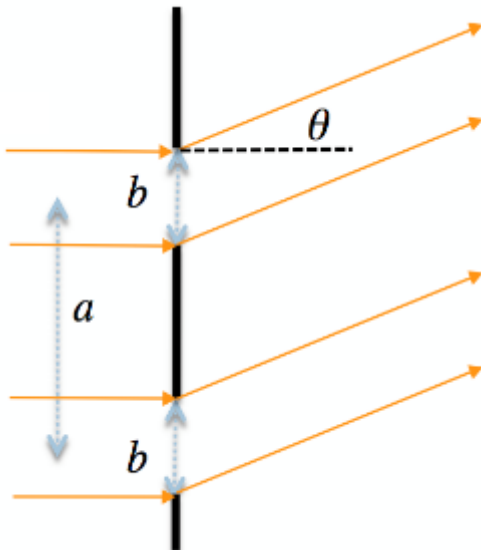
La **demie-largeur angulaire de la tache centrale** est donnée par :

$$\sin \theta_0 = 0.61 \frac{\lambda}{r}$$

La tache centrale de cette diffraction est appelée **tache d'Airy**.

Optique ondulatoire

5) Diffraction par 2 fentes



Optique ondulatoire

III – Pouvoir de résolution optique

1) Pouvoir de résolution des instruments optiques

Le stigmatisme strict est impossible : l'image d'une source ponctuelle extérieure à l'instrument est une tache d'Airy d'extension angulaire $2\theta_0$ telle que :

$$\sin q_0 = 0.61 \frac{\lambda}{n' r}$$

avec n' l'indice de réfraction propre à l'instrument

Optique ondulatoire

1) Pouvoir de résolution des instruments optiques

Critère de Rayleigh : Les objets A et B sont résolus si la position du maximum d'intensité de l'image B' tombe (au plus près) au premier zéro de l'intensité de l'image A'. Donc la distance angulaire entre les centres des images doit valoir au moins l'angle θ_0 (donc la limite est bien $2\theta_0$).

On définit le **pouvoir séparateur** d_{\min} d'un instrument optique comme *l'écart minimum entre 2 objets ponctuels permettent encore de les distinguer*. Si on note la distance objet D, alors le critère de Rayleigh implique que :

$$d_{\min} = 0.61 \frac{\lambda}{n' r}$$

Optique ondulatoire

2) pouvoir de résolution de l'œil

En considérant l'œil comme un instrument optique la résolution angulaire minimale de l'œil vaut environ 15 mr (milliradian).

En pratique la moyenne des individus possèdent un $\theta_0 = 0,3 \text{ à } 0,5 \text{ mr}$.

En réalité, les limites de l'acuité visuelle sont imposées par la structure cellulaire de la rétine et non la diffraction. Cette contrainte correspond à limiter l'acuité visuelle à un angle maximum de résolution de 0,2 mr.

Au final on voit qu'il existe tout de même une bonne adéquation entre la structure interne de l'œil et la limite d'acuité imposée par les lois de diffraction.