

II Optique géométrique

1 sources de lumière

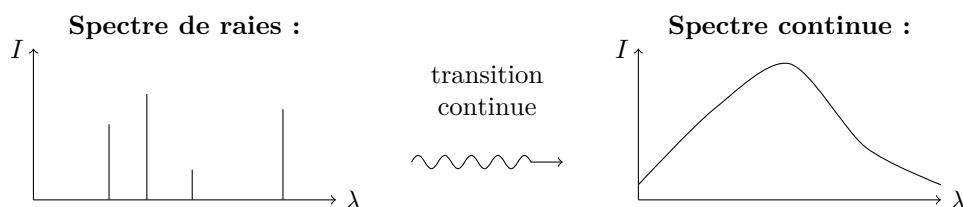
Définitions :

Une **source de lumière** est un objet qui émet de la lumière

Une **source primaire** est une source qui produit la lumière qu'elle émet

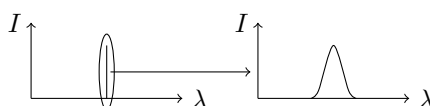
Une **source secondaire** est une source qui diffuse la lumière qu'elle reçoit

Une source lumineuse peut émettre plusieurs longueurs d'onde (couleurs) simultanément. Le **spectre** de la lumière correspond à l'intensité de l'ensemble des longueurs d'onde émises : $I(\lambda)$.



Une **source ponctuelle monochromatique** est une source idéale réduite à un point dont le spectre ne contient qu'une seule longueur d'onde.

Attention! : C'est un modèle, les raies d'une source réelle ont toujours une certaine largeur :



2 Indice d'un milieu

Dans l'ensemble de ce chapitre on étudiera des milieux **transparents**, **homogènes** et **isotropes**.

transparent : La lumière traverse le milieu sans que son intensité ne soit atténuée ;

homogène : les propriétés de propagation de la lumière sont les mêmes en tout point de l'espace ;

isotrope : les propriétés de propagation de la lumière sont les mêmes dans toutes les directions.

Dans le vide, la lumière se propage à la vitesse $c = 299\,792\,458 \text{ m/s} \simeq 3 \times 10^8 \text{ m/s}$. Dans un matériau transparent homogène et isotrope, elle se propage à $v = \frac{c}{n}$

n est l'**indice de réfraction** du milieu.

eau	air	diamant	verre
1.33	1.0003	2.42	1.46

Lorsqu'une onde lumineuse passe du vide à un milieu, sa fréquence reste inchangée mais sa longueur d'onde change :

$$\lambda_m = \frac{v}{f} = \frac{c}{nf} = \frac{\lambda}{n} \quad \text{donc} \quad \boxed{\lambda_m = \frac{\lambda}{n}}$$

— λ_m : longueur d'onde dans le milieu

— λ : longueur d'onde dans le vide

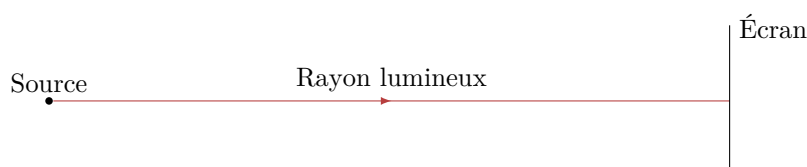
3 Approximation de l'optique géométrique

a Observation

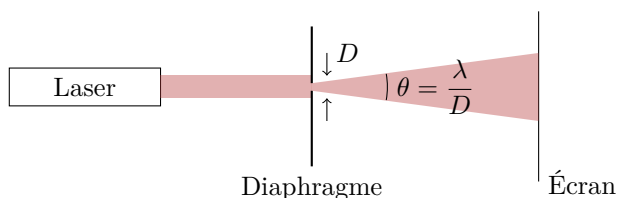
Dans un milieu transparent, homogène, isotrope, la lumière se propage en ligne droite

b Modèle

On symbolise le trajet de la lumière par un **rayon lumineux** d'épaisseur nulle représenté par une droite orientée.

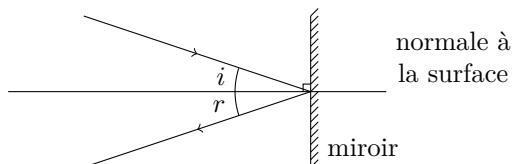


Attention : C'est un modèle, un rayon lumineux n'existe pas, la diffraction interdit d'isoler un rayon lumineux unique.



4 Réflexion - réfraction

a Réflexion

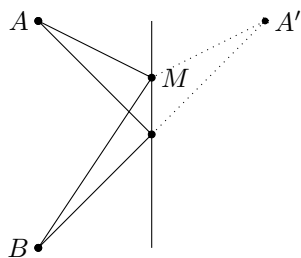


- i : angle d'incidence ;
- r : angle de réflexion ;
- **plan d'incidence** : plan défini par le rayon incident et la normale à la surface

Première loi de Snell-Descartes :

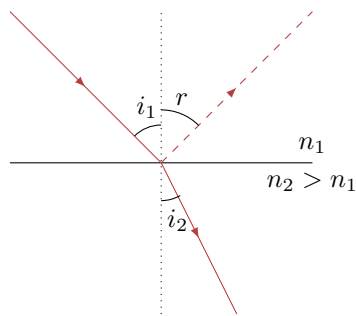
- Le rayon réfléchi appartient au plan d'incidence ;
- $i = r$.

Remarque : Le principe de Fermat (principe de moindre temps) affirme que la lumière emprunte le chemin le plus rapide pour aller d'un point A à un point B .



Le chemin le plus rapide est aussi le plus court, c'est celui pour lequel les points A' , M et B sont alignés (car $AM = A'M$). On en déduit la première loi de Descartes.

b Réfraction



À l'interface entre deux milieux d'indices différents, un rayon lumineux est dévié et une partie de la lumière est réfléchi.

Seconde loi de Descartes :

- Le rayon réfracté appartient au plan d'incidence ;
- $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$.

Remarques :

- Si $n_2 > n_1$: Le rayon réfracté se rapproche de la normale. Il existe un angle de réfraction maximum lorsque $i_1 = \pi/2$: $i_{2max} = \arcsin \frac{n_1}{n_2}$.
- Si $n_2 < n_1$: Le rayon réfracté s'éloigne de la normale. Lorsque $i_2 = \pi/2$, $i_{1l} = \arcsin n_2/n_1$. Si $i_1 > i_{1l}$ il y a **réflexion totale** sur l'interface qui se comporte comme un miroir.

5 Systèmes optiques

a Définitions

Système optique : Ensemble de milieux transparents homogènes, isotropes séparés par des surface réfringentes ou réfléchissantes.

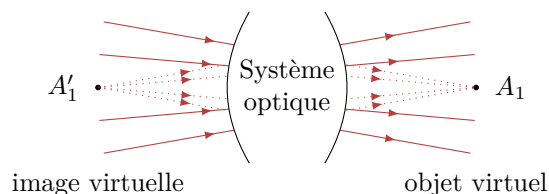
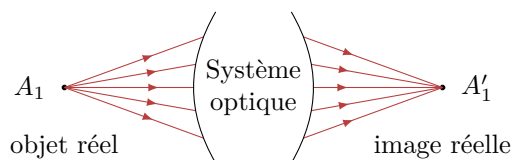
Objet : Source (primaire ou secondaire) qui envoie des rayons lumineux vers le système optique.

Image : Point d'intersection des rayons issus du système optique et provenant d'un objet.

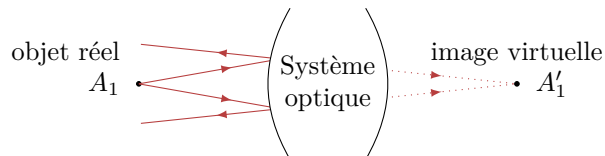
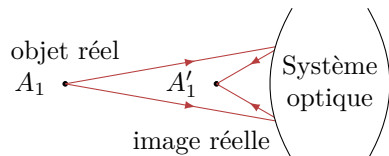
Réel ou virtuel : Un objet (une image) est réel(le) si les rayons qui entrent (sortent) du système optique passent effectivement par lui (elle). S'il faut prolonger les rayons pour trouver leur intersection, l'objet (l'image) est virtuel(le).

Exemples :

— Systèmes optiques en transmission (dioptriques) :



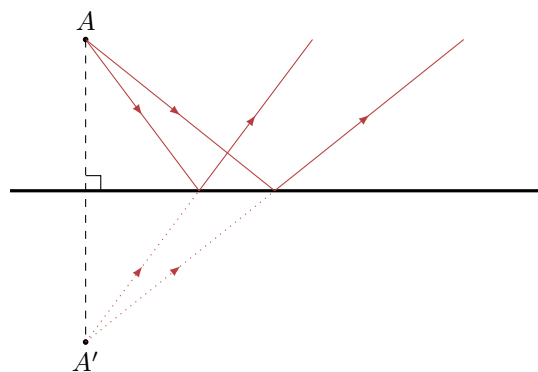
— Systèmes optiques en réflexion (catoptriques) :



Axe optique : Axe de symétrie d'un système optique

Stigmatisme : Un système est rigoureusement stigmatique si tous les rayons issus d'un point A de l'objet passent par un même point A' de l'image. Lorsque les rayons issus de A passent tous *près* de A' , on parle de stigmatisme approché.

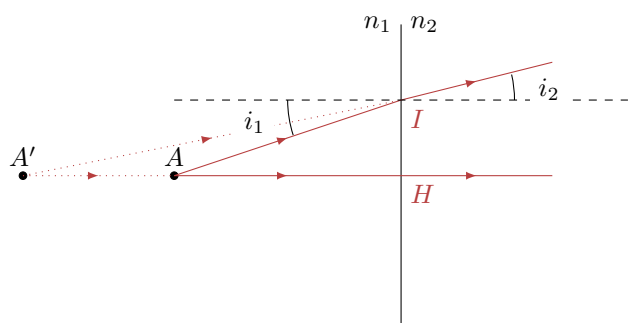
b Le miroir plan



Tous les rayons issus de A passent par un même point A' , le système est rigoureusement stigmatique.

- A est un objet réel.
- A' est une image virtuelle.

c Le dioptre plan



On a $\tan i_1 = \frac{HI}{HA}$ et $\tan i_2 = \frac{HI}{HA'}$

$$\text{donc } \frac{\tan i_1}{\tan i_2} = \frac{HA'}{HA} = \frac{\sin i_1 \cos i_2}{\sin i_2 \cos i_1} \text{ soit } \boxed{\frac{HA'}{HA} = \frac{n_2 \cos i_2}{n_1 \cos i_1}}$$

$= n_2/n_1$

Or $\cos i_2 = \sqrt{1 - \sin^2 i_2} = \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \sin^2 i_1}$

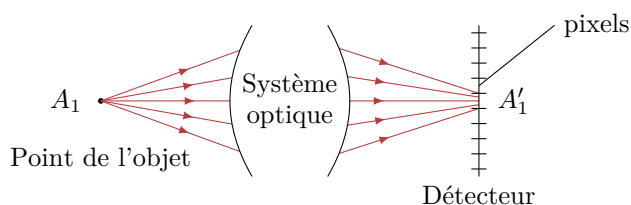
Donc $\frac{HA'}{HA} = f(i_1)$, la position de A' dépend de i_1 il n'y a donc pas stigmatisme rigoureux.

d Stigmatisme approché, conditions de Gauss

Pour des rayons peu inclinés par rapport à l'axe optique et proche de celui-ci (rayons **paraxiaux**) on a toujours stigmatisme approché. Ce sont les **conditions de Gauss**.

Dans el cas du dioptre plan : $i_1 \ll 1$ et $i_2 \ll 1 \Rightarrow \tan i_1 \simeq i_1$ et $\tan i_2 \simeq i_2$ et donc $\boxed{\frac{HA'}{HA} = \frac{n_2}{n_1} = \text{constante}}$, on a donc bien stigmatisme approché.

Critère de stigmatisme approché Généralement un système optique sert à former l'image d'un objet sur un détecteur (capteur CCD, rétine, ...) qui possède une certaine résolution (taille d'un pixel)



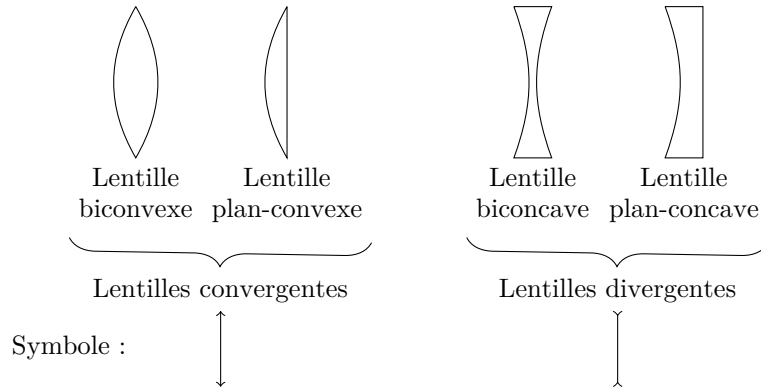
L'image A' de A peut être aussi étendue que la taille d'un *pixel* du détecteur. La condition de stigmatisme approché est fixée par la résolution du détecteur.

6 Lentilles sphériques minces

a Définition

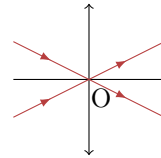
Une lentille sphérique est un milieu transparent, homogène, isotrope limité par deux dioptries, l'un sphérique et le second plan ou sphérique. On dit que la lentille est *mince* si son épaisseur est faible par rapport au rayon de courbure des faces.

exemples :

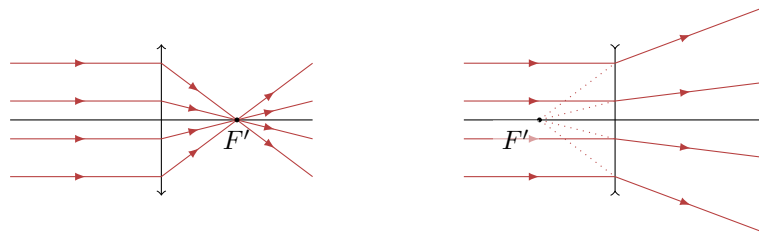


b Propriétés des lentilles minces

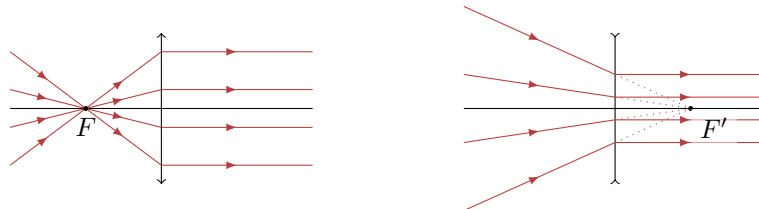
— Les rayons passant par le **centre optique** O de la lentille ne sont pas déviés.



— Les rayons parallèles à l'axe optique sortent de la lentille en passant par un même point F' appelé **foyer principal image**.



— Inversement, tous les rayons passant par le **foyer principal objet** F ressortent parallèlement à l'axe optique.



— Le plan P (P') perpendiculaire à l'axe optique et passant par F (F') est le **plan focal objet (image)**.

— Un point de P (P') est un **foyer secondaire objet (image)** ;

— La longueur algébrique $f = \overline{OF}$ est la **distance focale objet** ;

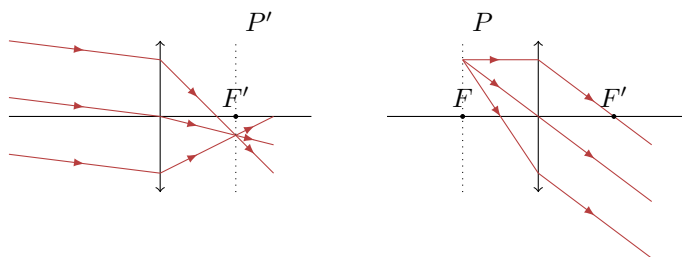
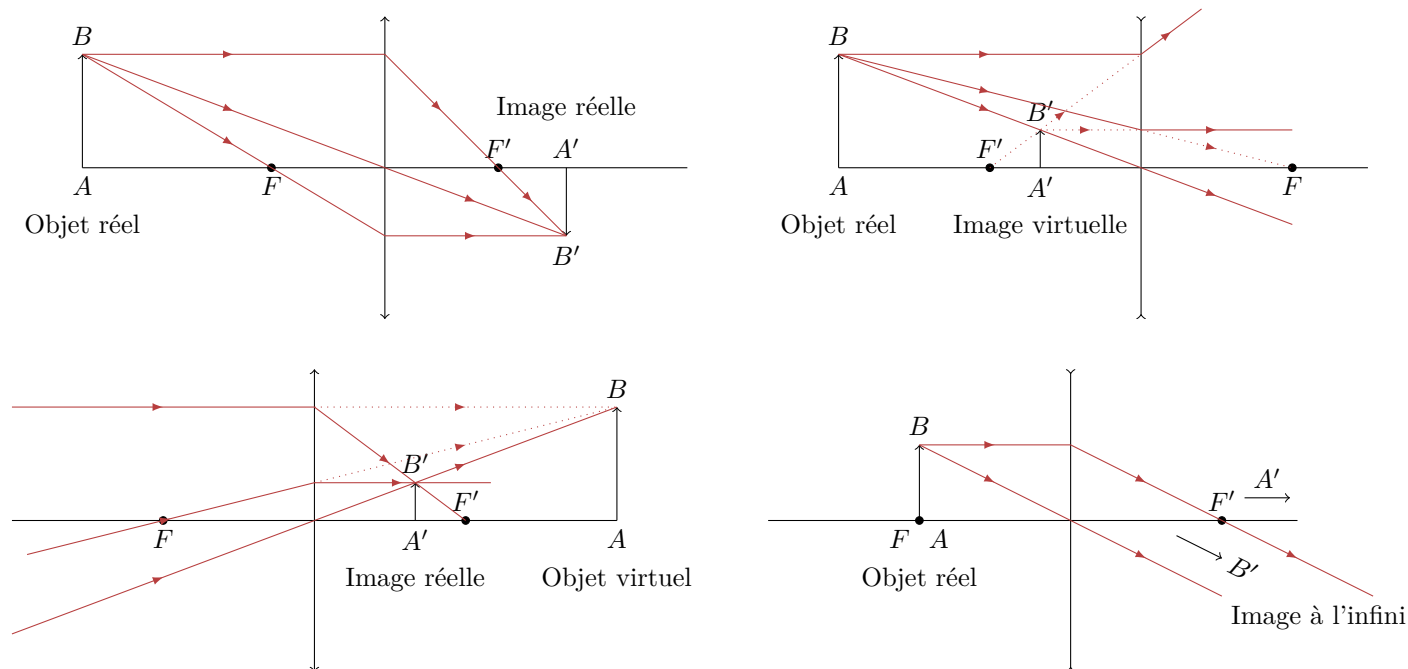
— La longueur algébrique $f' = \overline{OF'}$ est la **distance focale image** ; $f' = -f$

— La **vergence** C d'une lentille est $C = \frac{1}{f'}$, on la mesure en **dioptries** ($\delta \Leftrightarrow \text{m}^{-1}$)

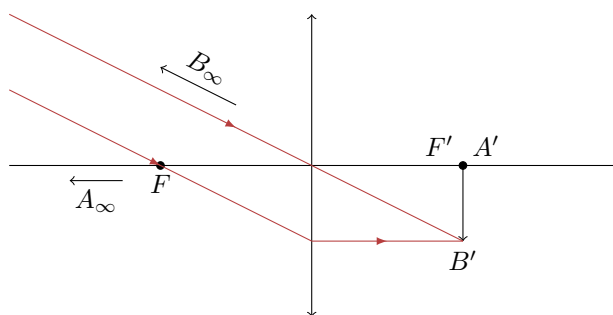
Pour une lentille convergente, $f' > 0$ donc $C > 0$. Pour une lentille divergente, $f' < 0$ donc $C < 0$.

remarques :

- Une lentille mince est approximativement stigmatique dans les conditions de Gauss.
- Tous les rayons qui passent pas un foyer secondaire objet ressortent parallèles entre eux.
- Un faisceau de rayons parallèles resortent en passant par un foyer secondaire image.

**c construction des images****Objet à distance finie**

objet à l'infini : Les rayons provenant d'un point situé à l'infini sont tous parallèles entre eux

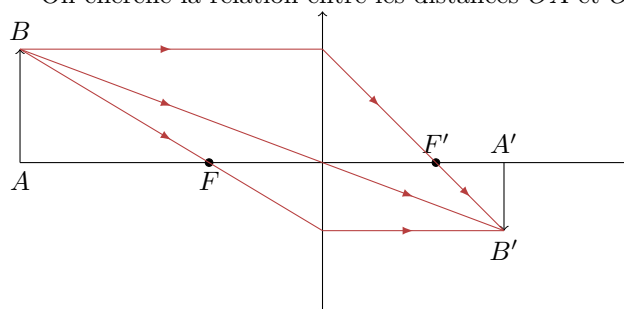


L'image d'un objet situé à l'infini est dans le plan focal image de la lentille.

Dans tous les cas, pour construire l'image, on utilise les propriétés particulières des rayons passant par O , F et F' .

d Formule de conjugaison

On cherche la relation entre les distances \overline{OA} et $\overline{OA'}$, A' étant sur l'axe optique.



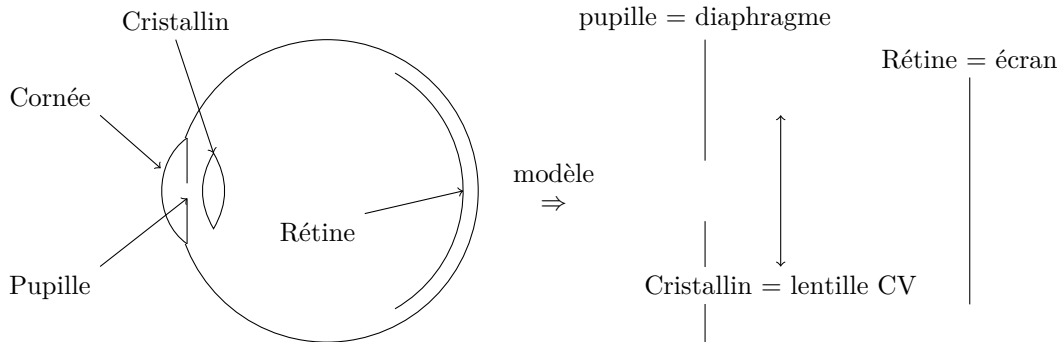
On applique le théorème de Thalès : $\frac{\overline{AB}}{\overline{A'B'}} = \frac{\overline{OA}}{\overline{OA'}} = \frac{\overline{FA}}{\overline{FO}}$
avec $\overline{FA} = \overline{FO} + \overline{OA}$, on obtient : $\frac{\overline{OA}}{\overline{OA'}} = 1 + \frac{\overline{OA}}{\overline{FO}}$. D'où la formule de conjugaison :

$$\boxed{\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}}$$

Le grandissement transversal est : $G_t = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$.

7 L'œil

a Description



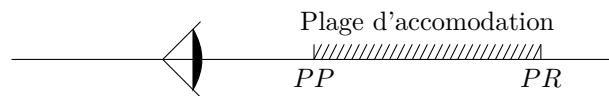
Le cristallin forme l'image des objets sur la rétine.

b Accomodation

Le cristallin est une lentille convergente de vergence variable qui se déforme pour former l'image de l'objet observé sur la rétine.

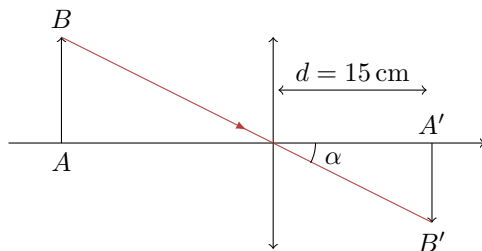
- Au repos le cristallin n'accomode pas, les objets dont l'image est nette sont au **punctum remotum** (PR). Pour un œil normal, $PR = \infty$.
- Quand il accomode au maximum, le cristallin forme sur la rétine l'image des objets situés au **punctum proximum** (PP). Pour un œil normal, $PP \simeq 25$ cm.

L'accomodation permet de voir nets les objets situés entre (PP) et (PR).



c Pouvoir de résolution

Quel est le plus petit objet que l'on puisse voir à l'œil ?



Pour être distingués, les points A et B doivent être séparés d'au moins une cellule soit $\simeq 5 \mu\text{m}$

$$\alpha = \frac{A'B'}{d} = \frac{5 \mu\text{m}}{15 \times 10^{-3} \text{ m}} \simeq 3 \times 10^{-4} \text{ rad.}$$

L'œil ne peut distinguer des objets séparés angulairement de moins de 3×10^{-4} rad. Cela correspond à une distance de :

- $3 \times 10^{-4} \times 25 \text{ cm} = 75 \mu\text{m}$ au (PP) ;
- $3 \times 10^{-4} \times 300\,000 \text{ km} = 90 \text{ km}$ au sur la Lune ;