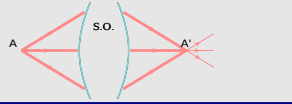


Optique géométrique

Plan schématique du cours

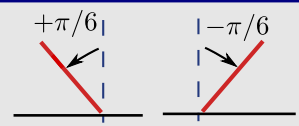
I Généralités sur les systèmes optiques

1 - Objet, image



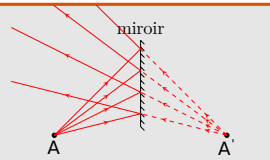
2 - Repérage

- distances algébriques
- angles orientés



II Le miroir plan

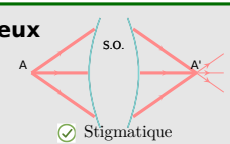
- construction :
A' symétrique de A
- image réelle ou virtuelle



III Stigmatisme et conditions de Gauss

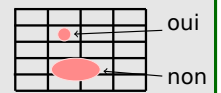
1 - Stigmatisme rigoureux

point A $\xrightarrow{\mathcal{L}}$ point A'



2 - Stigmatisme approché

- ok si conditions de Gauss :
- rayons peu inclinés et proches axe optique



IV Lentilles minces utilisées dans les conditions de Gauss

1 - Lentille réelle et modèle de la lentille mince

2 - Méthodes de construction

- A à distance finie
- B comme foyer objet secondaire
- Faisceau parallèle incident $\rightarrow$ foyer image secondaire

3 - Relations de conjugaison et grandissement

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

et

$$\frac{FA'F}{FA} = -f'^2$$

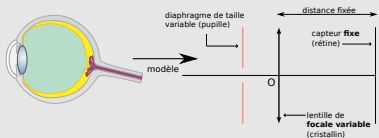
4 - Condition pour avoir l'image réelle d'un objet réel

$$D \geq 4f'$$

V Exemple de systèmes optiques

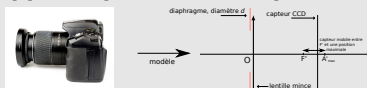
1 - L'œil

- PP=25cm
- résolution $= (1/60)^\circ$



2 - La lunette ou le microscope (TD et TP)

3 - L'appareil photo numérique (DM)



Ce qu'il faut connaître

_____ (cours : III)

- 1 Quelle est la définition du stigmatisme rigoureux ? Et du stigmatisme approché ?
- 2 Comment sont définies les conditions de Gauss, que permettent-elles ?

_____ (cours : IV)

- 3 Faire un schéma d'une lentille mince convergente et y placer les points O , F , F' . Comment se nomment ces points ? Placer également le plan focal objet et le plan focal image. Comment est définie la distance focale image f' ? Et la vergence V ?
Faire de même avec une lentille divergente.
- 4 Pour une lentille mince, que devient un rayon passant par son centre optique O ? Et un rayon arrivant parallèle à l'axe optique ? Et un rayon incident passant par F ? On fera une construction sur un exemple pour illustrer ces trois cas, au choix pour une lentille convergente ou divergente.

_____ (cours : V)

- 5 Proposer un modèle simple de l'œil.
- 6 Quelle est l'ordre de grandeur de la limite de résolution angulaire de l'œil ? Et de la plage d'accommodation de l'œil ?

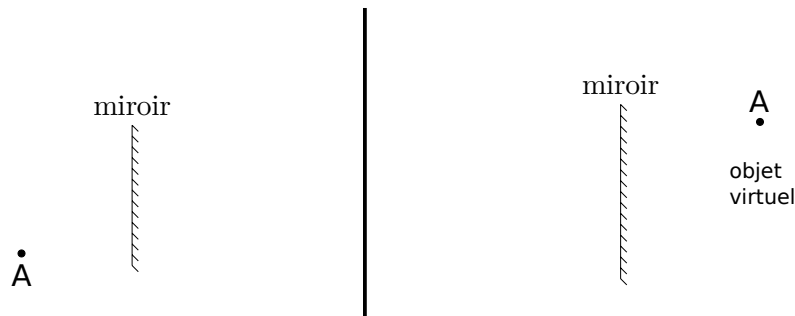
Ce qu'il faut savoir faire

- _____ (cours : II)
- ₇ Construire l'image d'un objet par un miroir plan. Identifier sa nature réelle ou virtuelle. → **EC1**
- _____ (cours : IV)
- ₈ Lentille mince : construire l'image d'un objet (à distance finie ou infinie) à l'aide de rayons lumineux. → **EC2**
- ₉ Exploiter les formules de conjugaison et de grandissement. → **EC3**
- ₁₀ Établir et utiliser la condition $D \geq 4f'$ pour former l'image réelle d'un objet réel par une lentille convergente. → **EC4**

Exercices de cours

Exercice C1 – Image d'un objet par un miroir plan

Dans chacun des deux cas, construire l'image de l'objet A . On n'utilisera pas les lois de Snell-Descartes. Tracer quelques rayons lumineux passant par A ou semblant passer par A .



Exercice C2 – Lentille : construire l'image d'un objet

Reprendre les exemples de la feuille annexe fournie pour le cours : tracer à chaque fois l'image de l'objet AB par la lentille. (En colle, l'examineur pourra choisir un seul ou plusieurs cas.)

Exercice C3 – Exploiter les formules de conjugaisons et de grandissement : ex. du montage $4f$

Un objet AB est situé en amont d'une lentille convergente, à une distance $\overline{AO} = 2f'$.

- 1 - En utilisant la relation de conjugaison, donner l'expression de la distance $\overline{OA'}$ permettant de placer l'image A' .
- 2 - Que vaut alors le grandissement transversal ?
- 3 - On fait l'image d'un objet AB de taille 2 cm. Quelle est la taille de l'image ?

On donne la relation de conjugaison de Descartes : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$, et la formule pour le grandissement transversal :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}.$$

Correction

- 1 - On utilise $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$, avec $\overline{OA} = -\overline{AO} = -2f'$, donc :

$$\begin{aligned}\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{-2f'} &= \frac{1}{f'} \\ \frac{1}{\overline{OA'}} &= \frac{1}{f'} - \frac{1}{2f'} = \frac{1}{2f'} \\ \boxed{\overline{OA'} = 2f'}\end{aligned}$$

- 2 - Le grandissement transversal est alors $\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{2f'}{-2f'} = -1$.

- 3 - On a $\overline{AB} = 2$ cm, donc l'image a une taille $\overline{A'B'} = \gamma \times \overline{AB} = -1 \times \overline{AB} = -2$ cm, donc 2 cm et renversé par rapport à l'objet.

Exercice C4 – Établir la condition $D \geq 4f'$

On considère un objet, une lentille convergente et un écran. On forme une image nette de l'objet sur l'écran. On note D la distance entre l'objet et l'écran. On note $x > 0$ la distance entre l'objet et la lentille. Montrer qu'on doit avoir $D \geq 4f'$.

On donne la relation de conjugaison de Descartes : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$.

Correction

Il faut faire un schéma clair.

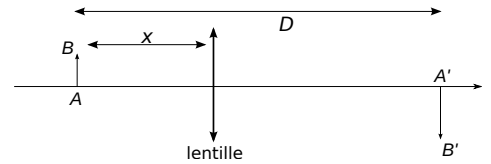
On utilise $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$, avec ici $\overline{OA} = -x$ et $\overline{OA'} = D - x$. Donc :

$$\frac{1}{D - x} - \frac{1}{-x} = \frac{1}{f'}$$

Puis on cherche à voir s'il y a une solution pour x .

$$\begin{aligned} \frac{1}{D - x} + \frac{1}{x} &= \frac{1}{f'} \\ \Leftrightarrow \frac{x + D - x}{(D - x)x} &= \frac{1}{f'} \\ \Leftrightarrow \frac{(D - x)x}{D} &= f' \\ \Leftrightarrow Dx - x^2 &= f'D \\ \Leftrightarrow x^2 - Dx + f'D &= 0. \end{aligned}$$

C'est un trinôme. Le discriminant est $\Delta = D^2 - 4f'D = D(D - 4f')$. Il y a une solution réelle pour x seulement si $\Delta \geq 0$, donc seulement si $D \geq 4f'$.

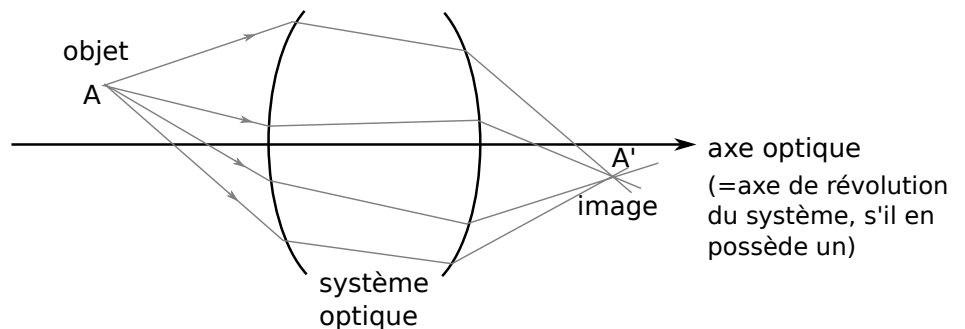


Le cours

I – Généralités sur les systèmes optiques

1 – Objet et image

Un système optique est un ensemble de dioptries, lentilles, miroirs.



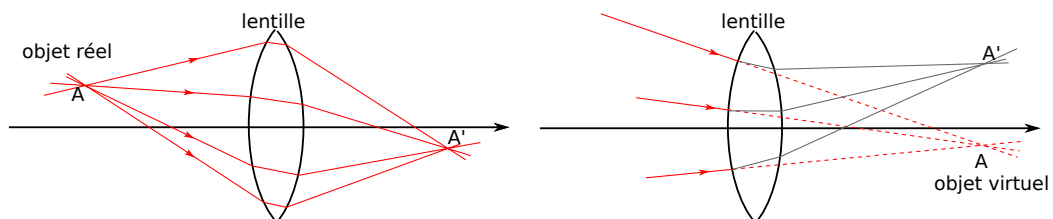
► **Objet ponctuel A** : c'est le point d'intersection des rayons entrants dans un S.O.

(rayons entrants : aussi appelés **rayons incidents**)

Exemples : source ponctuelle, ou point d'un objet éclairé par une source, ou point créé par un autre S.O.

Vocabulaire :

- Si les rayons partent effectivement du point A → **objet réel**.
- Si l'intersection des rayons n'existe pas réellement → **objet virtuel**.

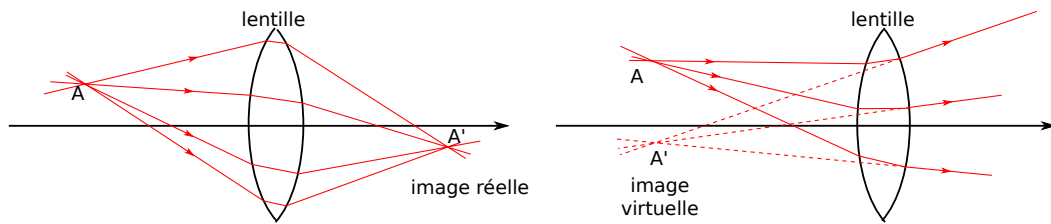


► **Image ponctuelle A'** : c'est le point d'intersection des rayons sortant d'un S.O.

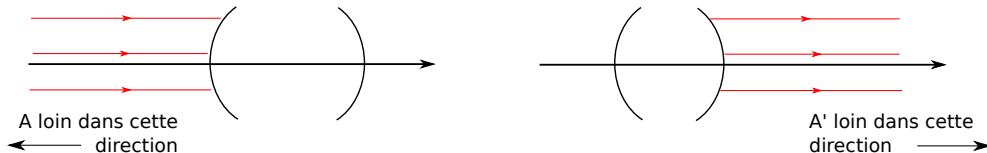
(rayons sortants : aussi appelés **rayons émergents**)

Vocabulaire :

- Si les rayons arrivent effectivement au point A' → **image réelle**.
On peut placer un écran en A' et voir l'image.
- Si les rayons n'arrivent pas réellement en A' → **image virtuelle**.
On ne peut pas l'observer sur un écran placé en A' . Pour voir A' , il faut en faire l'image par un autre S.O.



► **Cas de rayons parallèles : on parle d'objet ou d'image à l'infini.**

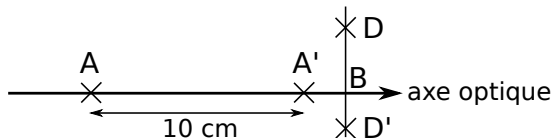


Conjugaison

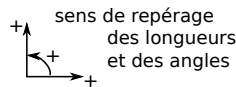
En résumé, on a objet $A \xrightarrow{\text{syst. opt.}} \text{image } A'$.
 A et A' sont dits **conjugués**, ou **points conjugués**, par le système optique.

2 – Repérage

► Les longueurs sont **algébriques** : elles peuvent être positives ou négatives.

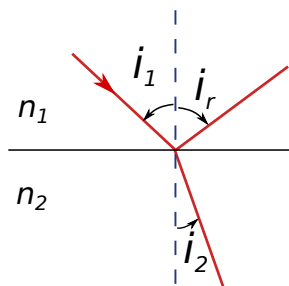
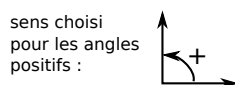
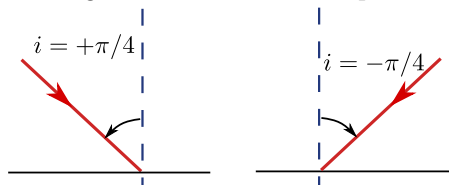


$\overline{AA'} = 10 \text{ cm}$, $\overline{A'A} = -10 \text{ cm}$, $\overline{D'D} > 0$ et $\overline{DD'} < 0$



~>1 Par exemple ci-contre :

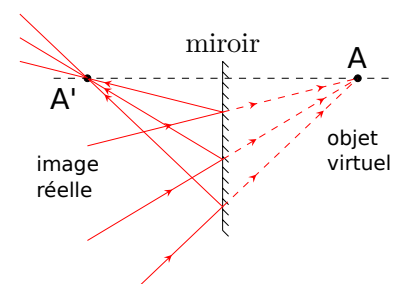
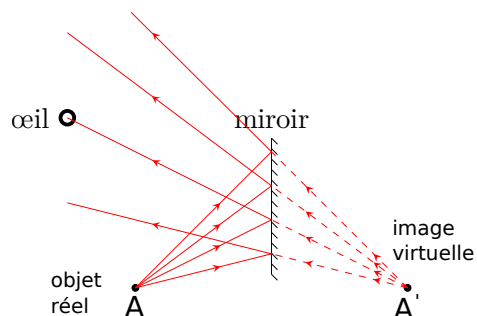
► Les angles sont **orientés** : ils peuvent être positifs ou négatifs.



~>2 Par exemple ci-contre, les lois de Descartes s'écrivent :
 $i_1 = -i_r$ et
 $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$,
car $i_1 > 0$, $i_r < 0$,
 $i_2 > 0$.

II – Le miroir plan

Exemples de constructions :



Propriété

Pour un miroir plan, l'image A' est le symétrique de A par rapport au miroir.

Tous les rayons sortants semblent provenir de A' ou vont vers A' .

Conséquence : pour tracer rapidement des rayons partant de A ,

- 1/ on trace son symétrique A' ,
- 2/ on sait que tout rayon semblera provenir de A' .

→ Faire l'EC1.

Remarque : Que voit-on quand on regarde dans un miroir ? Le cerveau interprète comme si la lumière venait du point d'intersection A' , c'est pourquoi on a l'impression que l'image est derrière le miroir.

III – Stigmatisme et conditions de Gauss

1 – Stigmatisme rigoureux

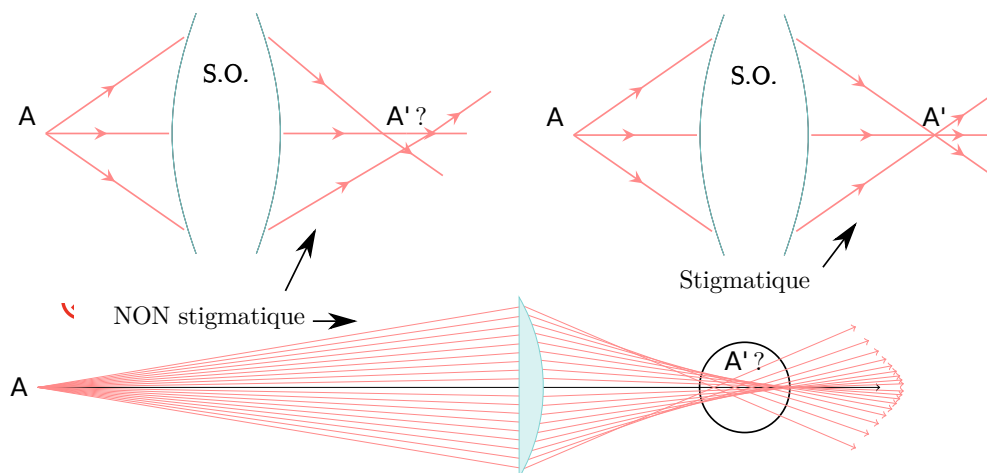
En général, on a dans la réalité : objet ponctuel $A \xrightarrow{\text{S.O.}}$ tache image (et non pas image ponctuelle).

Définition : stigmatisme rigoureux

Un système optique est **rigoureusement stigmatique** si l'image d'un point est un point.

On a alors :

- Point $A \xrightarrow{\text{S.O.}}$ point A' . On peut dire que A et A' sont conjugués.
- Tout rayon incident passant par A émerge en passant par A' .



Exemple : Le miroir plan est un système rigoureusement stigmatique pour tout point. C'est le seul système qui vérifie ceci !

Remarque (pas à retenir) : Quelles sont les causes de non stigmatisme ? On les regroupe en deux catégories principales :

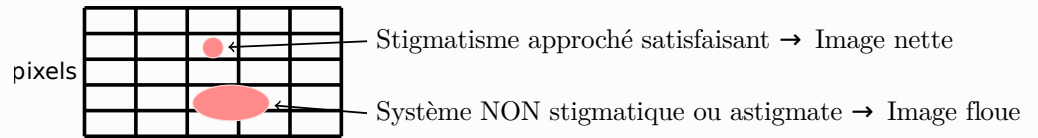
- Les aberrations géométriques : on considère une lumière monochromatique. L'image d'un point n'est alors pas exactement un point, comme sur le schéma ci-dessus.
- Les aberrations chromatiques : la lumière blanche est composée de plusieurs longueurs d'onde λ . Or l'indice optique n du verre de la lentille dépend de λ (phénomène de dispersion), donc les différentes couleurs monochromatiques ne vont pas converger exactement au même point. Il en résulte des taches colorées.

2 – Stigmatisme approché

Définition : stigmatisme approché

On a **stigmatisme approché** lorsque l'image d'un point est une tache dont la taille n'excède pas la résolution du capteur utilisé.

Exemple : lorsque la tache image $<$ pixel du capteur.



Quand a-t-on, avec des lentilles, stigmatisme approché ?

Conditions de Gauss

On est dans les conditions de Gauss lorsque :

- les rayons sont proches de l'axe optique,
- et peu inclinés par rapport à l'axe optique

(on parle de rayon "paraxiaux")

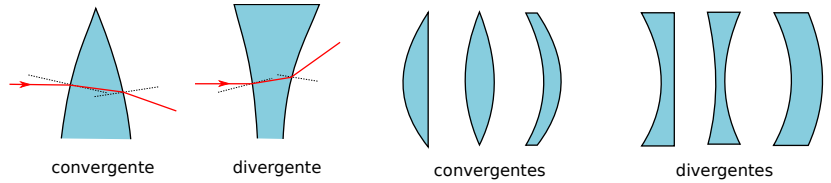
Lorsqu'elles sont satisfaites, ces conditions impliquent

- le stigmatisme approché ($A \xrightarrow{\text{S.O.}} A'$)
- l'aplanétisme ($AB \perp \text{axe optique} \xrightarrow{\text{S.O.}} A'B' \perp \text{axe optique}$)

IV – Lentilles minces utilisées dans les conditions de Gauss

1 – Lentille réelle et modèle de la lentille mince

On utilise des lentilles sphériques, de différents types :



On parle de **lentille mince** si épaisseur $\ll$ diamètre. Lorsque c'est le cas, et dans les **conditions de Gauss**, on peut démontrer (avec les lois de Descartes) qu'il existe des points O , F et F' avec les propriétés suivantes :

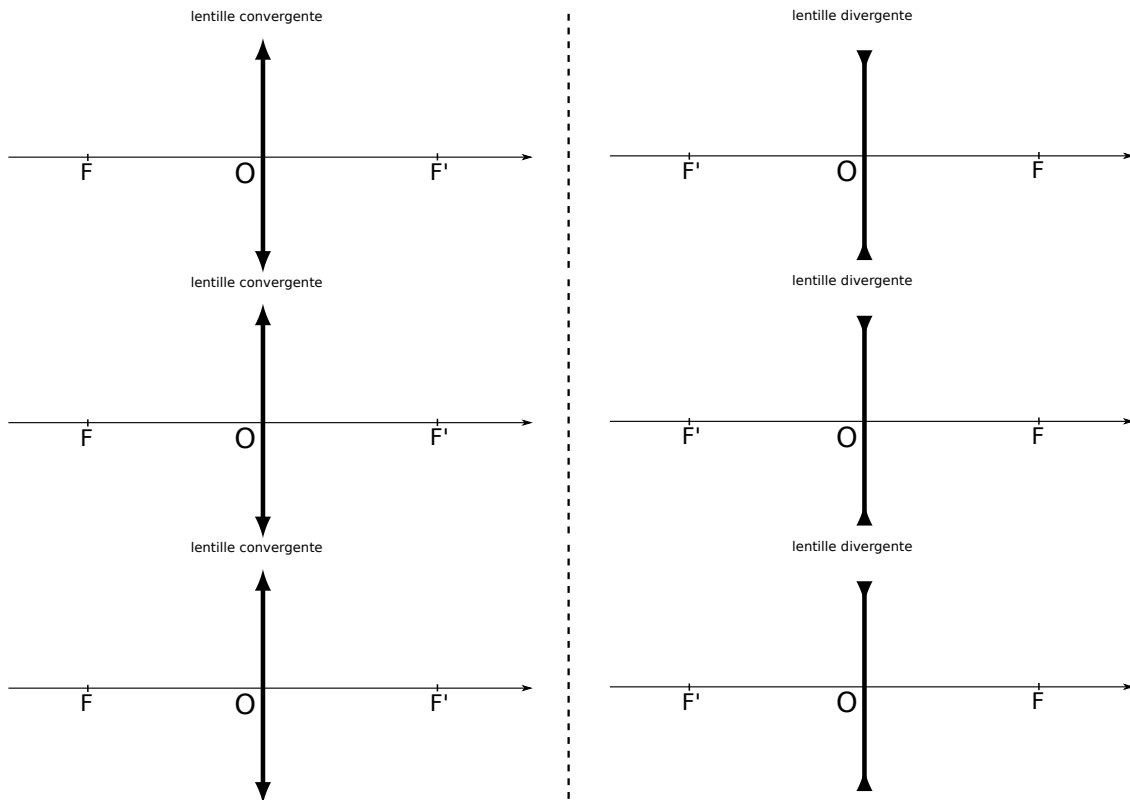
Modèle de la lentille mince

- O est le **centre optique**.
Tout rayon passant par O n'est pas dévié.
- F' est le **foyer image**.
Tout rayon entrant parallèle à l'axe optique émerge en passant par F' .
- F est le **foyer objet**.
Tout rayon entrant passant par F émerge parallèle à l'axe optique.

F et F' sont sur l'axe optique et symétriques par rapport à O .

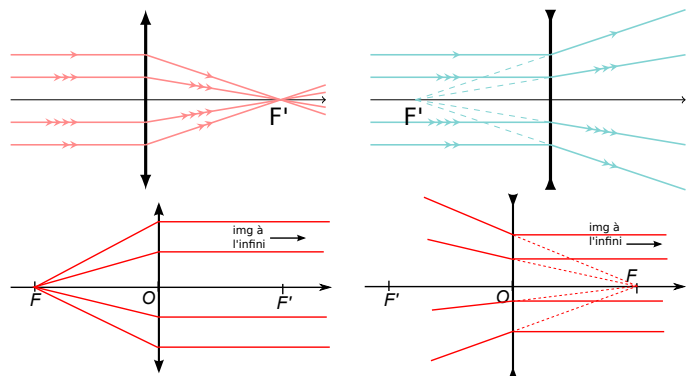
On utilise les symboles ci-dessous pour des lentilles modélisées comme des lentilles minces.

Illustration des propriétés sur des schémas :

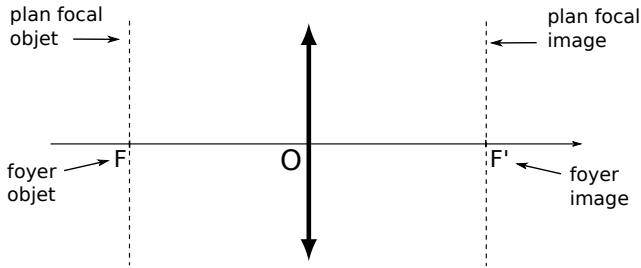


En terme de points conjugués, on a donc (cf ci-contre) :

- objet à l'infini sur l'axe optique $\xrightarrow{\text{lentille}}$ F'
- $F \xrightarrow{\text{lentille}}$ image à l'infini sur l'axe optique



D'autres définitions :



— Distance focale image : $f' = \overline{OF'}$.

— Distance focale objet : $f = \overline{OF}$.

↪₄ Quelle est la relation entre f et f' ? Quel est le signe de f' pour une lentille convergente? Divergente?

On a toujours $f' = -f$. On a $f' > 0$ si convergente, et $f' < 0$ si divergente.

On définit la **vergence** d'une lentille : $V = \frac{1}{f'}$, unité : m^{-1} ou dioptrie (noté δ).

↪₅ **Exemple** : $f' = 10 \text{ cm}$, que vaut la vergence?

$V = 1/f' = 1/0,1 = 10 \text{ m}^{-1}$, soit $V = 10 \delta$ (10 dioptries).

2 – Méthodes de construction

– **2.a/ Objet à distance finie** : on trace deux rayons particuliers.

– **2.b/ Objet à l'infini** :

On a alors un faisceau de rayons incidents parallèles. Il converge en un point situé dans le plan focal image. Ce point de convergence est appelé “foyer image secondaire”.

On l'obtient en traçant le rayon passant par O (pas dévié), et en trouvant son intersection avec le plan de F' .

– **2.c/ Objet dans le plan focal objet** :

Un point dans ce plan est appelé “foyer objet secondaire”.

Il produit, en sortie, un faisceau parallèle, dont on obtient la direction en traçant le rayon non dévié passant par O .

↪₆ Pour s'entraîner, reprendre toutes les constructions précédentes (cf l'**EC2**, cf fiche corrigée sur site classe).

3 – Relations de conjugaison, grandissement

Relations de conjugaison (à connaître)

Soit $A \xrightarrow{\mathcal{L}} A'$ deux points conjugués par une lentille $\mathcal{L}$ de focale f' . On a les :

- ▶ Relation de conjugaison de Descartes : $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$.
- ▶ Relation de conjugaison de Newton : $\overline{FA} \overline{F'A'} = -f'^2$.

↪₇ **EC3** pour voir comment les utiliser.

Remarque : On peut démontrer ces relations avec un peu de géométrie.

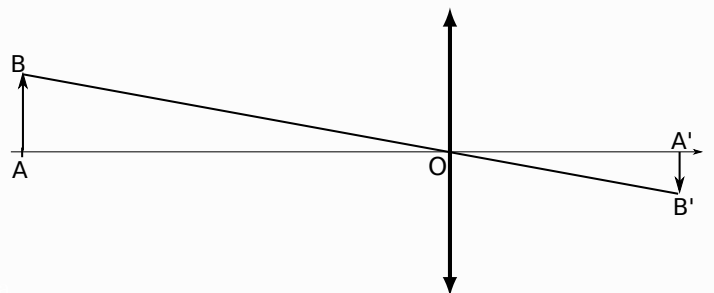
Grandissement transversal (à connaître)

On définit le grandissement

$$\gamma = \frac{\text{taille image}}{\text{taille objet}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}.$$

On a aussi (th. de Thalès ci-contre)

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}.$$

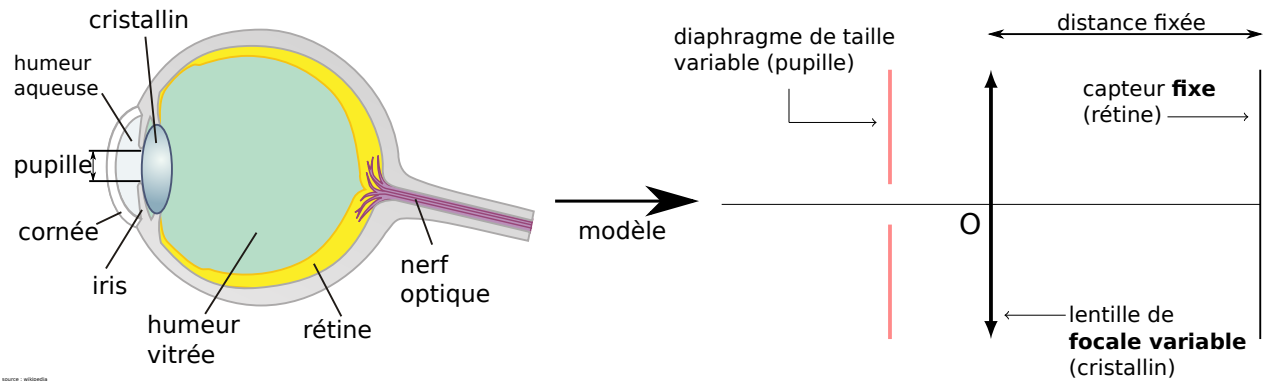


4 – Condition pour avoir l'image réelle d'un objet réel

↪₈ Faire l'**EC4**.

V – Exemples de systèmes optiques

1 – L'œil



Du point de vue optique, les éléments importants sont :

- La pupille, qui agit comme un diaphragme d'ouverture variable et qui permet de gérer la quantité de lumière entrante.
- Le cristallin, qui agit comme une lentille convergente de focale variable.
- La rétine, qui agit comme un capteur de lumière.

Accommodation

Pour accommoder (donc pour former une image nette sur la rétine d'un objet donné), la focale du cristallin varie. La distance entre cristallin et rétine reste quant à elle constante.

Plage d'accommodation

La plage d'accommodation est la distance entre :

- le point le plus proche que l'on peut voir nettement (ponctum proximum, cristallin comprimé au maximum), typiquement situé à 25 cm,
- le point le plus éloigné que l'on peut voir nettement (cristallin détendu, au repos), normalement situé à l'infini.

Pouvoir séparateur

L'œil ne peut distinguer deux objets que si leurs images sur la rétine sont suffisamment éloignées pour se former sur des cellules différentes de la rétine. On parle alors de pouvoir séparateur de l'œil ou limite de résolution angulaire.

Pouvoir séparateur

L'écart angulaire minimal entre deux objets doit être d'environ une minute d'arc (donc $1/60^\circ$), soit environ 3×10^{-4} rad,

2 – La lunette ou le microscope (cf TP)

3 – L'appareil photographique (cf DM et TP)

À retenir :

- On peut modéliser simplement un appareil photographique par une lentille mince, un diaphragme et un capteur.
- Lorsque la mise au point est effectuée sur un objet A , il y a une certaine zone devant et derrière A qui sera nette sur la photographie. On parle de **profondeur de champ** pour qualifier l'étendue de cette zone. Elle est plus grande si l'ouverture du diaphragme est réduite.

