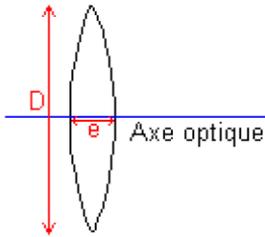


Chapitre 3 : Lentilles

3.1 Définitions



Une lentille est un milieu transparent limité par deux surfaces dont l'une au moins n'est pas plane.

- D: Diamètre d'ouverture.
- e: Epaisseur.

Une lentille est dite **mince** si son épaisseur e est faible devant son diamètre D .

Classification des lentilles minces:

Lentilles à bords minces:



biconvexe



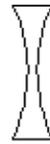
plan convexe



ménisque convergent



Lentilles à bords épais:



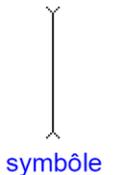
biconcave



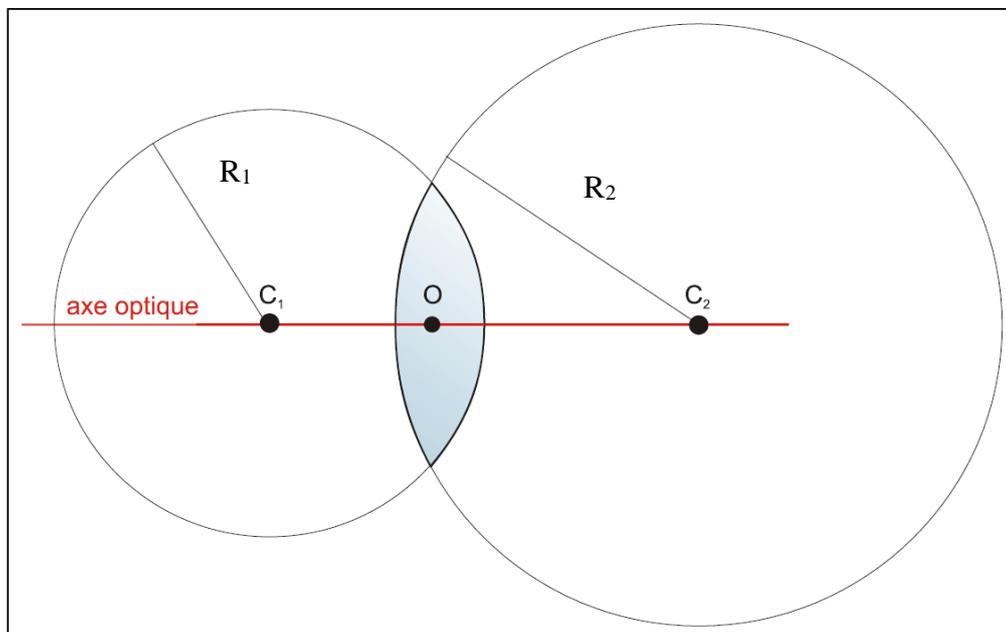
plan concave



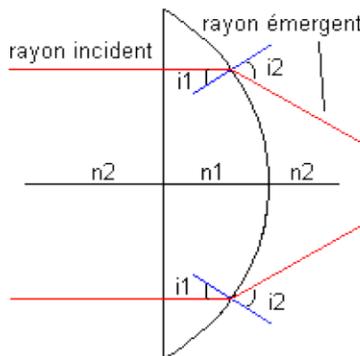
ménisque divergent



Les surfaces des lentilles sont sphériques. La droite joignant les centres C_1 et C_2 des deux calottes donne l'axe optique de la lentille. Plus le rayon de courbure est faible, plus les surfaces sont bombées.

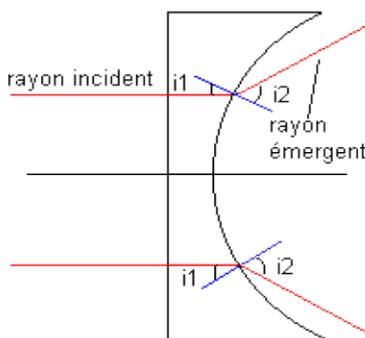


3.2. Lentille convergente – lentille divergente



L'indice de réfraction du milieu transparent (n_1) étant supérieur à celui de l'air ($n_2=1$), l'angle i_2 est supérieur à l'angle i_1 (à cause de la relation: $n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2)$).
Les rayons lumineux issus de la lentille vont donc converger en un point.

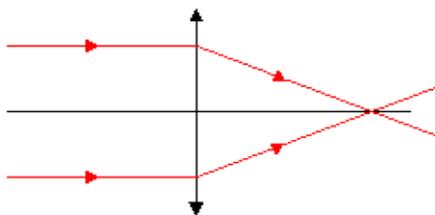
Une lentille mince à bords minces est convergente.



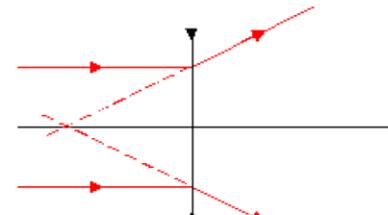
L'indice de réfraction du milieu transparent (n_1) étant supérieur à celui de l'air ($n_2=1$), l'angle i_2 est ici encore supérieur à l'angle i_1 . (à cause de la relation: $n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2)$).
Les rayons lumineux issus de la lentille vont donc sembler diverger d'un point.

Une lentille mince à bords épais est divergente.

Dans la suite, les lentilles minces seront représentées de la façon suivante:



Lentille convergente

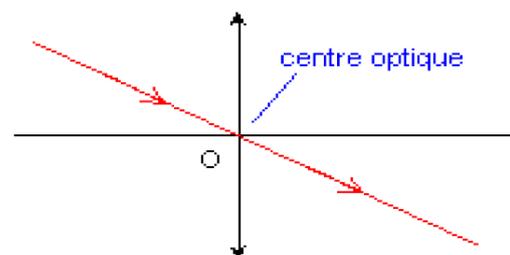


Lentille divergente

3.3 Points et rayons particuliers pour une lentille convergente

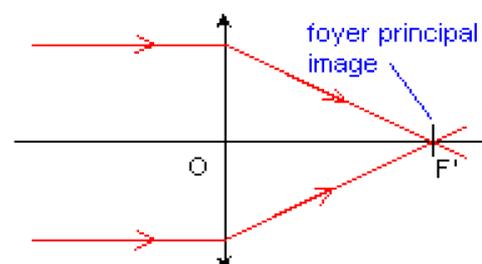
a) Centre optique

Un rayon passant par le centre optique n'est pas dévié.



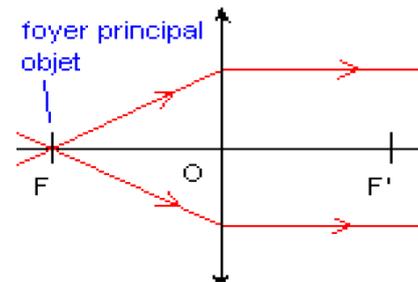
b) Foyer principal image F'

Tout rayon incident **parallèle à l'axe principal** d'une lentille convergente **émerge en passant par le foyer principal image F'**.



c) Foyer principal objet F

Tout rayon incident **passant par le foyer** principal objet F d'une lentille convergente **émerge parallèlement** à l'axe de la lentille.



d) Distance focale et vergence

Les propriétés d'une lentille sont déterminées par la valeur de sa distance focale $f = OF'$ en m.

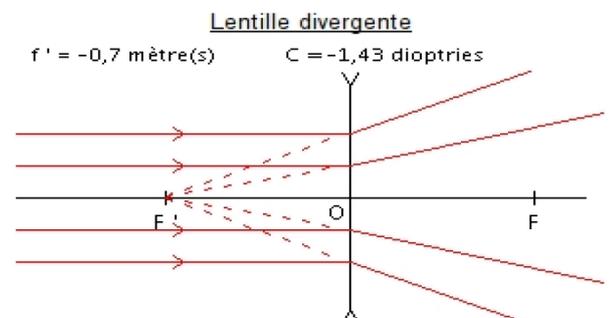
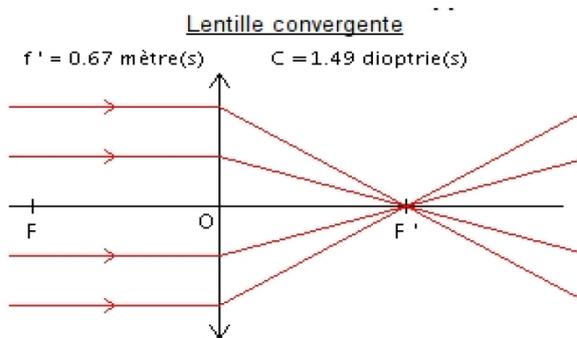
Les opticiens préfèrent utiliser la **vergence C** définie comme l'inverse de f.

$$C = \frac{1}{f} \text{ unité } \mathbf{dioptrie} \quad \mathbf{dpt} = \frac{1}{m}$$

La distance focale f et la vergence C d'une lentille convergente est positive.

Pour une lentille divergente f et C sont négatifs.

Exemple :



Rem : La distance focale dépend des rayons de courbure et de l'indice de réfraction. On comptant positivement le rayon d'une surface convexe et négativement le rayon d'une surface concave, on a

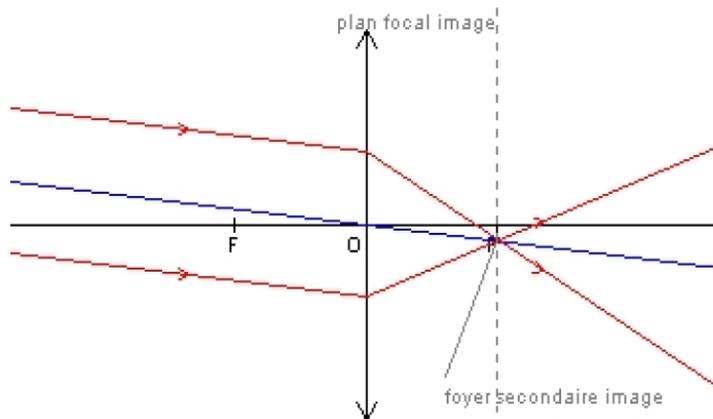
la « lens makers formula » pour calculer la vergence
$$C = \frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Expériences :

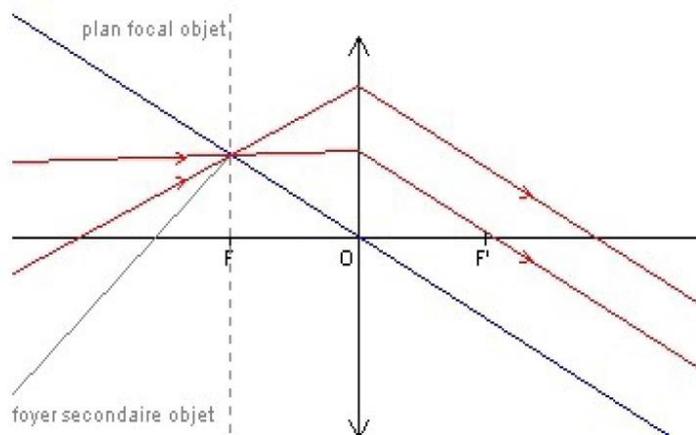
- Estimer la distance focale (>0 et <0) de verres de lunette.
- Mesurer la distance focale f pour lentilles du tableau optique.
- Mesurer R pour lentilles du tableau magnétique et calculer $C_{\text{théo}}$ et $f_{\text{théo}}$.



e) Plans focaux



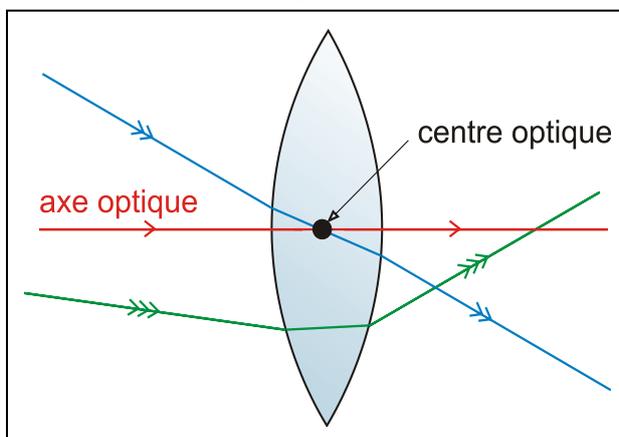
Des rayons incidents parallèles obliques émergent en passant par un **foyer image secondaire** qui se situe dans le plan focal image normal à l'axe optique et contenant F' .



Inversément des rayons qui partent d'un point du plan focal objet émergent de manière parallèle.

La position du foyer secondaire est donné par l'intersection du rayon passant par le centre optique O avec le plan focal.

f) Cas d'une lentille épaisse



Un rayon entrant (rouge) et sortant avec un angle d'incidence nul traverse la lentille, suivant l'axe optique, sans être dévié.

Un rayon oblique (bleu) par rapport à l'axe optique mais passant par O est légèrement décalé mais sa direction n'est pas modifiée.

Un rayon (vert) qui ne passe pas par O change de direction en étant dévié vers l'axe optique.

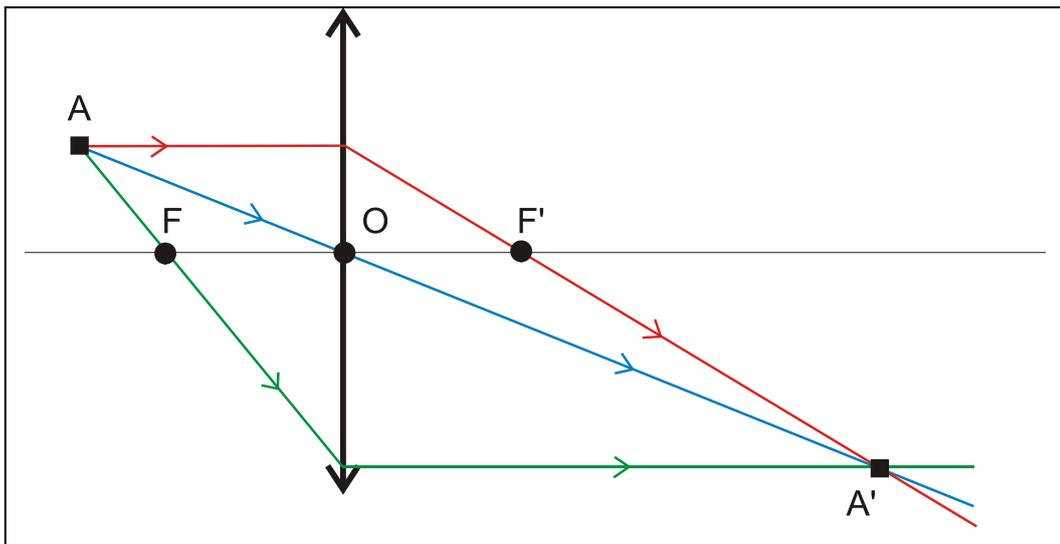
Cas symétrique : Le rayon des deux calottes sont égaux, centre de la lentille = centre optique.

Cas non symétrique : Dessiner au dos de feuille le cas d'une lentille plan convexe. On détermine les foyers principaux F et F' et on fixe **centre optique O = milieu de F et F'** .

3.4. Construction de l'image d'un objet

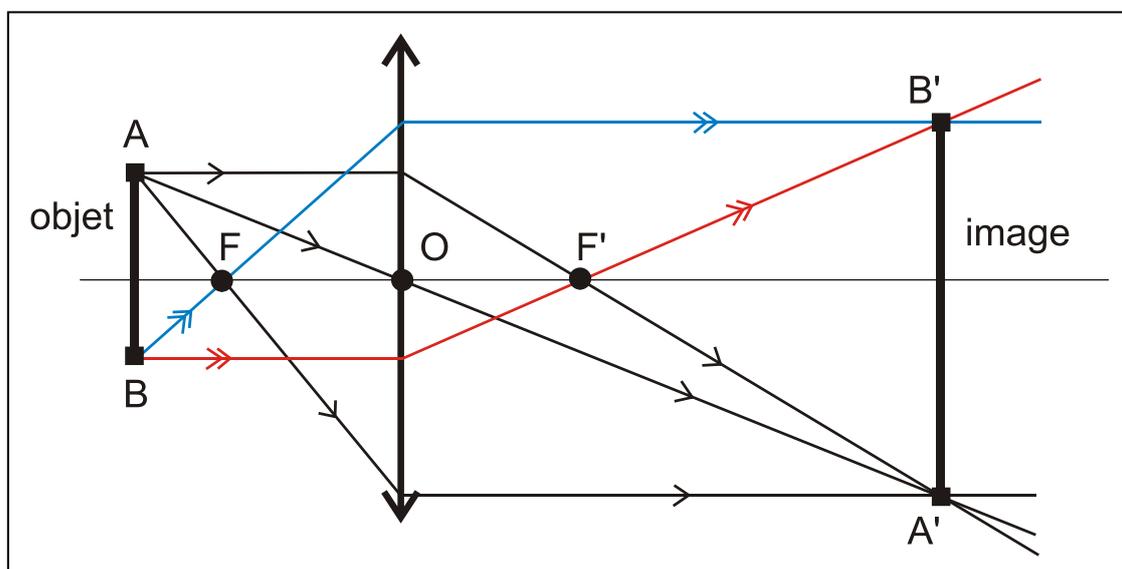
On appelle image A' d'un point objet A , le point par lequel passent (ou semblent passer) tout les rayons issus de A après leur passage par la lentille.

1. Un rayon incident parallèle à l'axe optique ressort en passant par le foyer image F'
2. Un rayon incident sur la lentille en passant par le foyer objet F ressort parallèle à l'axe optique
3. Un rayon passant par le centre O de la lentille n'est pas dévié
4. L'intersection de ces 3 rayons (deux suffisent) détermine la position du point image A' correspondant au point objet A . Tous les autres rayons issus de A passe également par le même point A' .



Tracage: http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/lentilles/construction_lentille.php

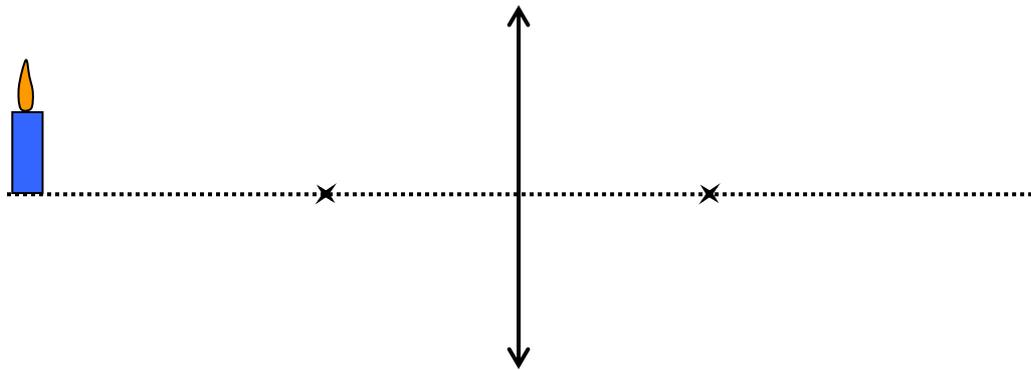
On trouve de même l'image B' d'un autre point B de l'objet !



On voit que l'image A'B' est renversée. On voit aussi qu'elle n'a pas la même taille que l'objet. Cette image est observable sur un écran et est donc une **image réelle**.

Animation : <http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optigeo/lentillemince.html>
http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloeu/optiqueGeo/lentilles/lentille_mince.php

Image réelle : Les rayons issus d'un point S de la source convergent en un point S', après le passage à travers la lentille. Si on place l'écran à la bonne distance chaque point de l'objet donne aussi un point net de l'image. Mettre au point = ajuster la position de la lentille pour avoir une image nette.

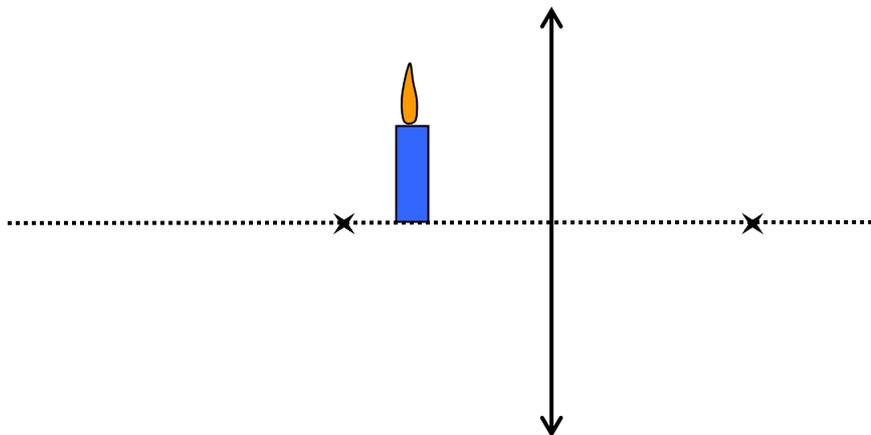


1) Condition pour avoir image réelle renversée réduite : $p > 2f$

2) Condition pour avoir image réelle renversée agrandie : $2f > p > f$

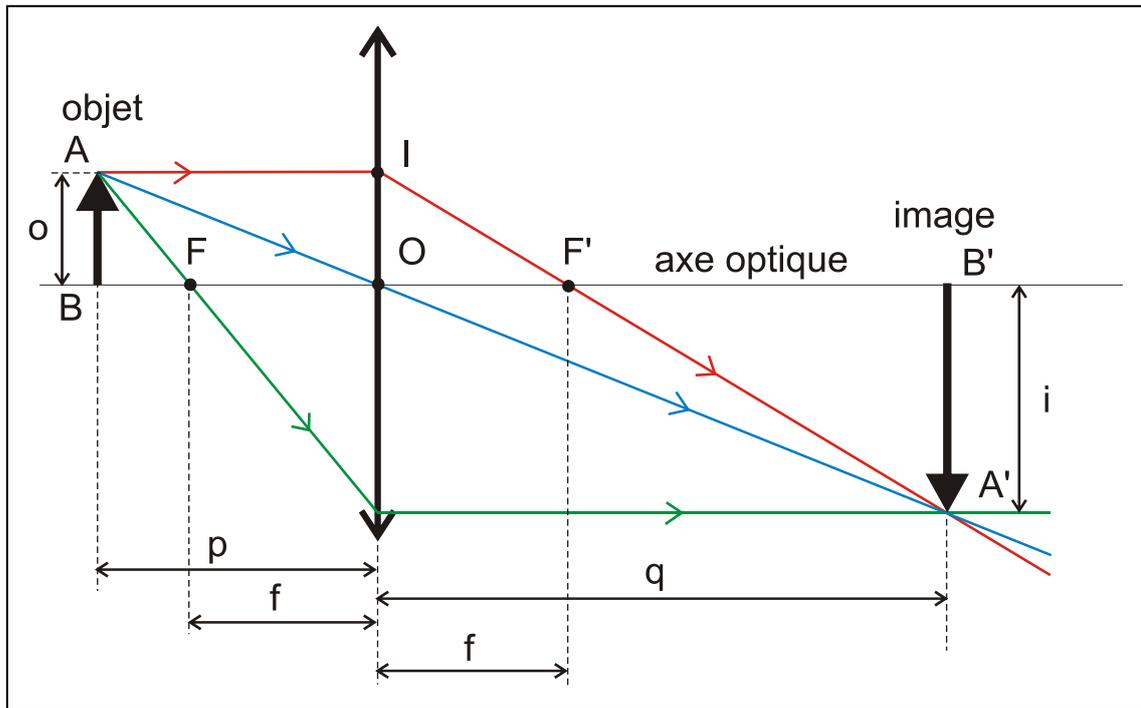
Image virtuelle : si on rapproche l'objet plus près que f, l'image obtenue se trouve du même côté que l'objet. Elle n'est plus observable sur un écran. Mais on l'observe directement avec l'œil qui regarde à travers la lentille (attention objets lumineux !!!).

Construire l'image A'C' pour un objet AC placé entre le foyer F et la lentille.



3) Condition pour avoir image virtuelle debout agrandie : $f > p > 0$

3.5. Relations des lentilles minces



Vue 3 dimensions: <http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/optigeo/lentispher.html>

a) Relation du grandissement

Grandissement: $\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{i}{o}$

$\Delta(OAB)$ et $\Delta(OA'B')$ semblables (homothétiques) $\Rightarrow \frac{A'B'}{AB} = \frac{OB'}{OB}$

Or $OB' = q$ et $OB = p$

Finalement: $\text{Grandissement } \gamma = \frac{q}{p} = \frac{i}{o}$ **(formule à retenir !)**

Le grandissement dépend donc de la position de l'objet.

b) Relation de conjugaison de Descartes

$\Delta(F'OI)$ et $\Delta(F'A'B')$ semblables (homothétiques). Dessiner les triangles.

$$\Rightarrow \frac{A'B'}{OI} = \frac{F'B'}{OF'}$$

Or $OI = AB$

$$F'B' = q - f$$

et d'après a) $\frac{A'B'}{AB} = \frac{OB'}{OB} = \frac{q}{p}$

On obtient: $\frac{A'B'}{AB} = \frac{q-f}{f}$

$$\Leftrightarrow \frac{q}{p} = \frac{q-f}{f}$$

$$\Leftrightarrow \frac{q}{p} = \frac{q}{f} - 1$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{p} = \frac{1}{f} - \frac{1}{q}$$

$$\Leftrightarrow \boxed{\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}} \quad \text{(formule à retenir !)}$$

Remarque : Pour une image virtuelle (se trouvant de l'autre côté de la lentille qu'une image réelle), on trouve $q < 0$!

Faire chaque fois la construction à l'échelle 1 :10 et contrôler par un calcul.

Utiliser evtl. l'animation EXCEL sur le site www.physik.diekirch.org. Attention convention de signe différente !

1) Objet à grande distance $p > 2f$. $p=60$ cm $f=20$ cm Appareil Photo

Simulation de l'effet de la distance focale et de l'ouverture du diaphragme (comparé à la distance focale) : <https://dofsimulator.net/en/>

2) Objet situé à $p=2f$. $p=40$ cm et $f=20$ cm Reproduction 1 :1

3) L'objet est situé entre f et $2f$ $p=30$ cm et $f=20$ cm Projecteur

4) L'objet et situé dans le plan focal : $f=p=20$ cm Oculaire

5) L'objet est situé entre le plan focal et la lentille $p=15$ cm et $q=60$ cm $f=20$ cm Loupe

3.6 Applications

a) La vision correcte.

La vision d'un objet est correcte quand on image se forme sur la tache jaune située sur la rétine. Cette image est obtenue grâce à la lentille naturelle qu'est le cristallin.

La netteté de l'image est rendue possible grâce à l'accommodation qui permet au cristallin de faire varier sa convergence.

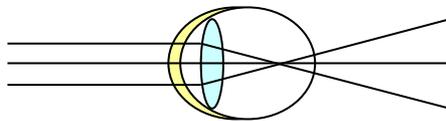
b) Anomalies et corrections de l'œil.

D'origines diverses des anomalies de la vue adviennent et sont corrigées par le port de lentilles sous forme généralement de verres correcteurs.

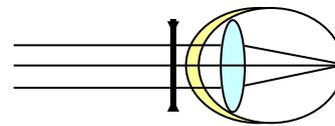
http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/instruments/correction.php

* La myopie

Le mal : Le cristallin de l'œil myope est trop convergent ; sa distance focale est alors courte : l'image se forme avant la rétine. L'œil voit flou.

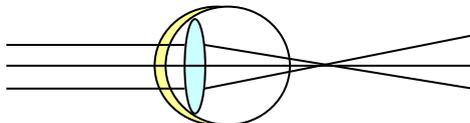


La correction : La correction d'une telle anomalie, la myopie, nécessite le port de lentilles divergentes.

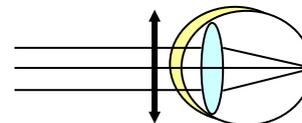


* L'hypermétropie

Le mal : L'œil hypermétrope n'est pas assez convergent ; son cristallin a une distance focale longue : l'image se forme derrière la rétine, elle est floue.



La correction : L'hypermétropie se corrige par le port de lentilles convergentes



* La presbytie

En vieillissant, le cristallin de l'œil presbyte perd de son élasticité ; son pouvoir d'accommodation diminue : l'image est floue.

Le presbyte comme l'hypermétrope voient nettement les objets éloignés. La presbytie se corrige avec des lentilles convergentes.

c) L'appareil photographique.

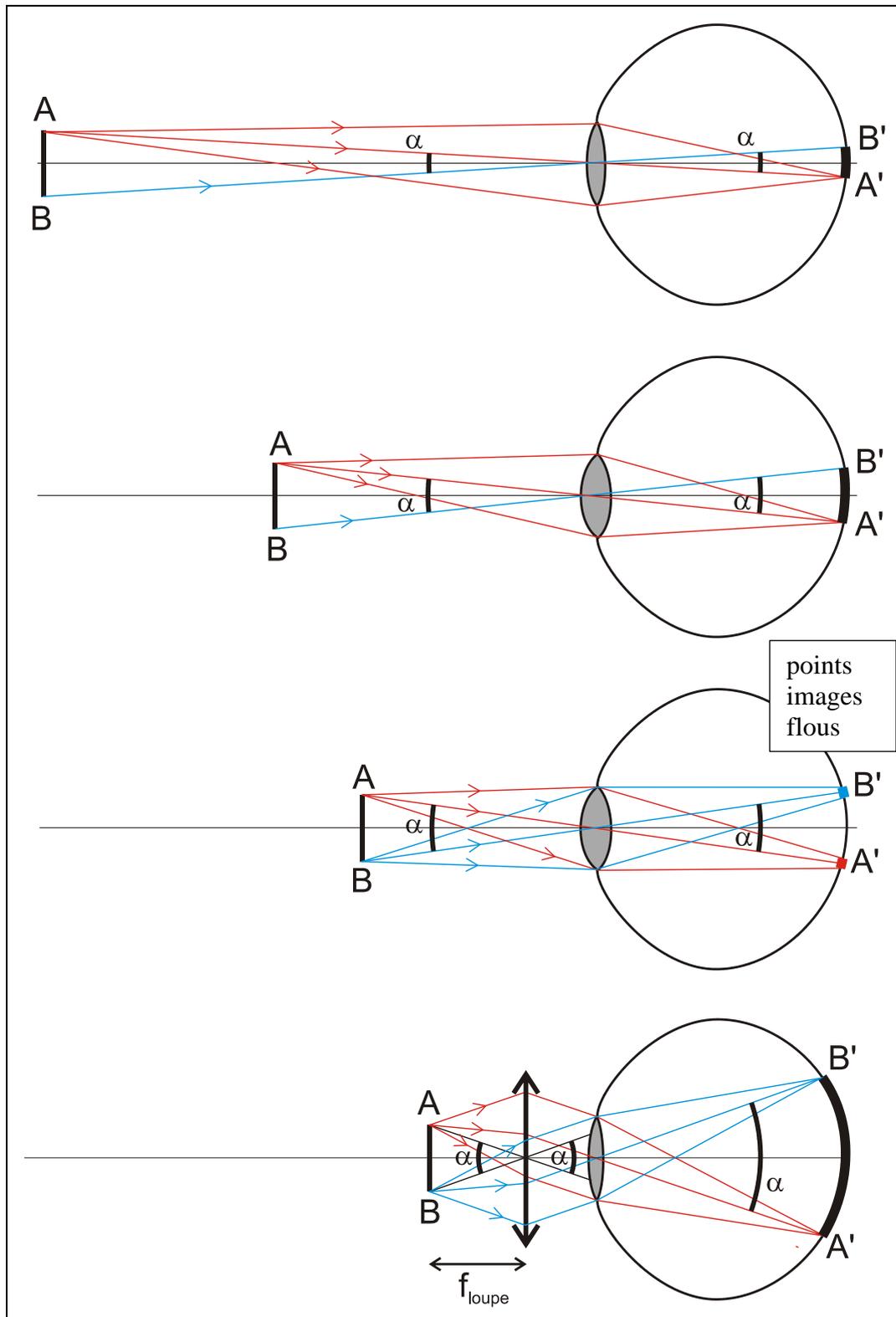
L'appareil photographique est une chambre noire ayant une pellicule photographique ou film comme écran et un objectif formé de lentilles mobiles à son ouverture réglable.

La netteté de l'image, plus petite que l'objet, sur la pellicule, est obtenue grâce à la translation des lentilles mobiles : c'est la mise au point.

d) L'appareil de projection.

Un projecteur est un appareil qui, grâce aux lentilles logées dans son objectif, donne d'un objet petit (la diapositive ou le chip à LED ou miroirs comme source lumineuse), une image grande sur un écran.

e) La loupe



Les figures montrent que la taille de l'image A'B' d'un objet AB qui se forme sur la rétine, est déterminée par l'angle α que les rayons issus de A et de B font entre eux (**angle de vue**, *Sehwinkel*).

Cet angle augmente si l'objet se rapproche de l'œil. C'est pourquoi on voit un objet d'autant plus grand qu'il est plus rapproché! La distance minimum vaut pour un adulte environ $d_0=25$ cm (Accommodation maximale, vergence du cristallin maximale qui est déformé). Au-delà l'image devient floue (3^e schéma).

En utilisant une lentille convergente de faible distance focale placée devant l'œil, et en regardant à travers celle-ci **sans accommodation** (rayons entrant parallèlement dans l'œil), on arrive à augmenter notablement l'angle α . L'image qui se forme sur la rétine est devenue plus grande: la loupe grossit.

Le grossissement commercial G d'une loupe (figurant sur les catalogues) est donné par la relation $G = \frac{d_0}{f} = C \cdot d_0$, où C désigne la vergence de la loupe en 1/m et où $d_0 = 0,25$ m correspond à la distance normale de vision nette. Le grossissements'exprime sans unité.

(Construction géométrique: On trace d'abord le rayon noir issu du point A traversant sans déviation le centre optique de la loupe et on a la direction pour des rayons parallèles entrant dans l'œil; puis on trace le rayon passant sans déviation à travers le centre optique de l'œil et on a le point de convergence de la lumière sur la rétine.)

Applications :

1) Loupe

- Quelle distance focale et vergence doit on choisir pour la lentille d'une loupe pour obtenir un grossissement commercial $G=4$.
- Quelle est le grandissement si on place un objet à 5cm devant cette loupe ?

2) Oeil

Un oeil normal est assimilable à une lentille mince convergente. La rétine correspond à un plan perpendiculaire à l'axe optique et situé à une distance invariable de 17 mm.

- L'oeil n'accommode pas. Quelle doit être la distance focale f_1 pour que l'image d'un objet situé à l'infini se forme sur la rétine ?
- L'oeil accommode maintenant au maximum. Un observateur jeune voit nettement des objets situés à une distance minimale de 15 cm de l'oeil. Calculer la nouvelle distance focale f_2 .
- On définit l'amplitude d'accommodation par la relation : $\Delta = C_2 - C_1 = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{f_1}$. Calculer l'amplitude d'accommodation. Donner son unité.
- Avec l'âge, l'oeil devient presbyte, le cristallin devenant moins souple. La faculté d'accommodation diminue. La personne continue à voir nettement à l'infini sans accommoder mais voit floue pour la lecture. Calculer la nouvelle distance minimale de vision distincte si l'amplitude d'accommodation se réduit p.ex à 30%. $\Delta' = 0,30 \cdot \Delta$.