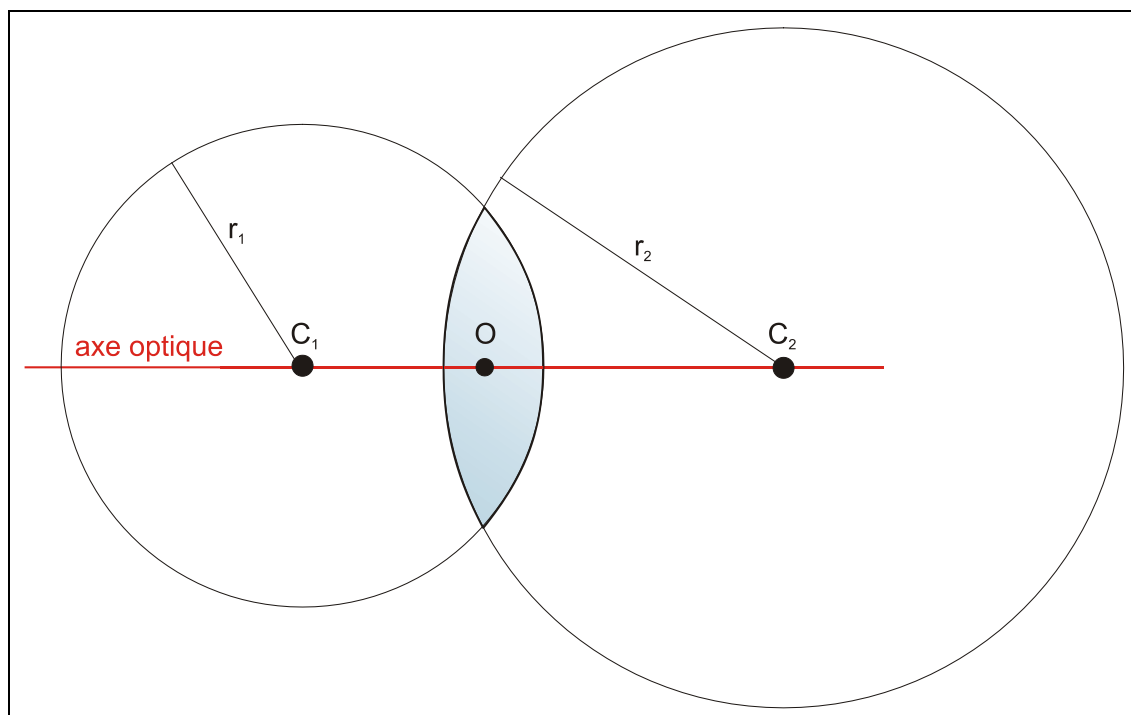
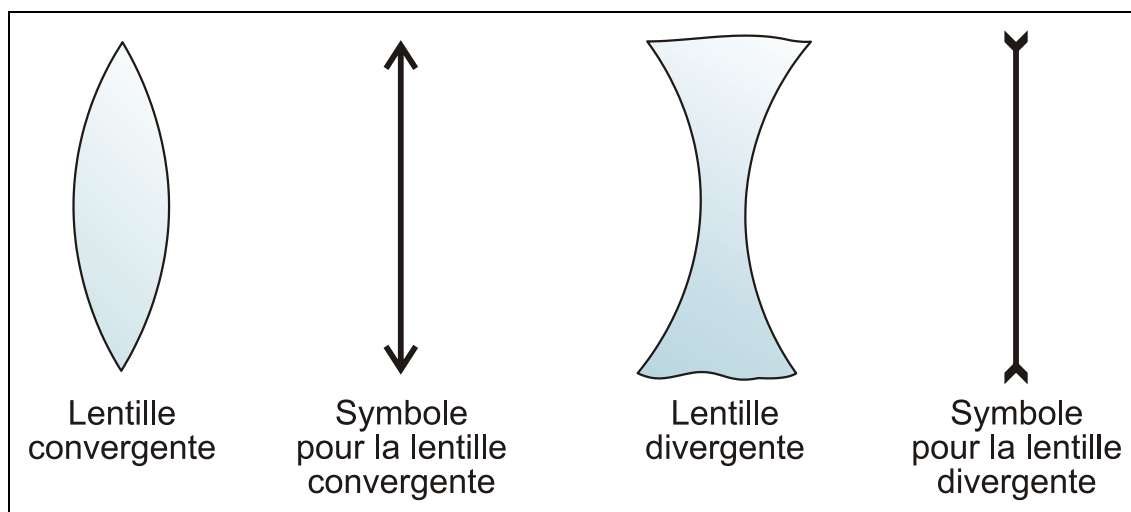


Chapitre 4 : Lentilles convergentes

1. Lentille convergente et divergente. Axe optique. Centre optique

- * Une lentille est constituée par un milieu transparent limité par deux dioptries sphériques de rayons r_1 et r_2 . La droite joignant les centres C_1 et C_2 de ces calottes est l'**axe optique** de la lentille. Si les rayons des deux calottes sont égaux, le centre de la lentille est son **centre optique O**.
- * Si elle est plus mince aux bords qu'au milieu elle est **convergente**, sinon elle est **divergente**.

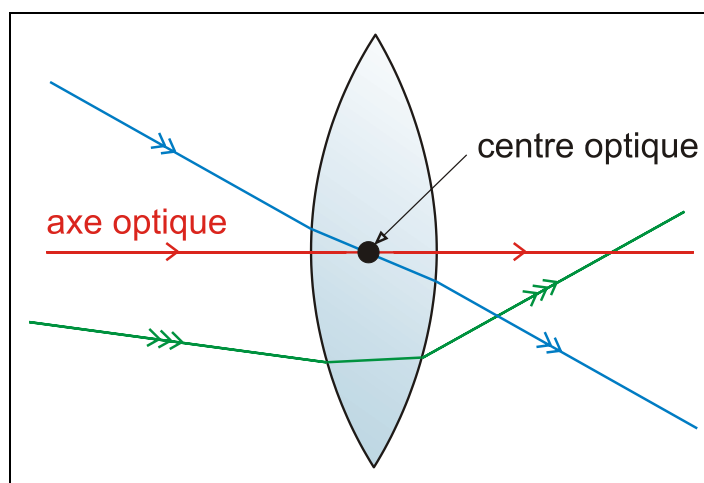


2. Passage de la lumière à travers une lentille convergente épaisse

Puisque le milieu dont est constituée une lentille (verre par exemple) est plus réfringent que le milieu environnant (air) tout rayon traversant la lentille subit deux réfractions :

- * à l'entrée (passage d'un milieu moins réfringent dans un milieu plus réfringent) ;
- * à la sortie (passage d'un milieu plus réfringent dans un milieu moins réfringent).

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



Marquons le centre optique O de la lentille sur l'axe optique. Un rayon oblique par rapport à l'axe optique mais passant par O est légèrement décalé latéralement mais sa direction n'est pas modifiée. (Rayon traversant une vitre !)

3. Passage de la lumière à travers une lentille convergente mince. Distance focale et vergence

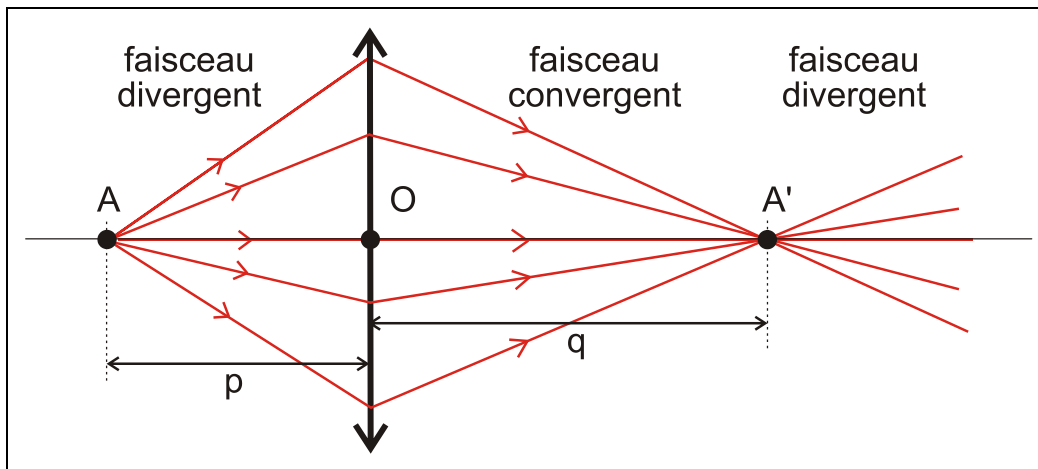
Puisqu'en général une lentille est très mince on ne tient pas compte de son épaisseur. On peut donc négliger le déplacement latéral des rayons obliques par rapport à l'axe optique et passant par le centre optique. (En outre on n'a pas besoin de tracer la marche des rayons à l'intérieur de la lentille.)

a) Passage de la lumière à travers le centre optique

Règle 1 :

Tout rayon incident passant par le centre optique d'une lentille n'est pas dévié par la lentille.

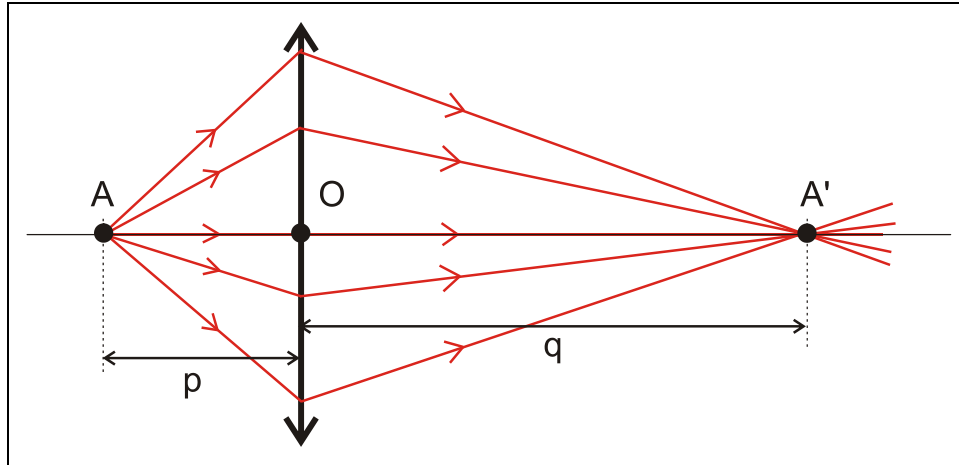
b) Point-image d'un point objet (lentille convergente)



Plaçons un **point objet** A (lumineux) sur l'axe optique à une certaine distance $p = AO$ d'une lentille. Tous les rayons de lumière émis par A et passant par la lentille convergent de l'autre côté en un seul point A' : le **point image** (du point objet). A' se trouve à une distance $q = OA'$ de la lentille.

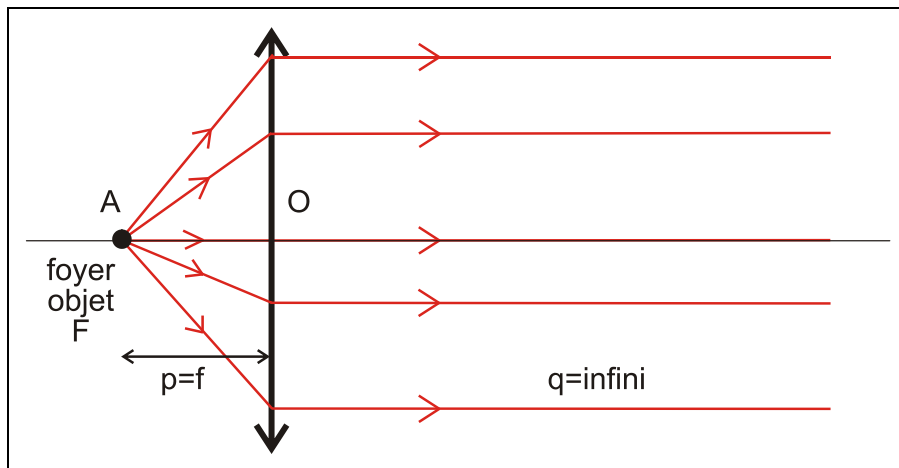
Position de l'image lorsque l'objet se rapproche de la lentille

Plaçons A à une distance p plus petite de la lentille. A' se trouve alors à une distance q plus grande.



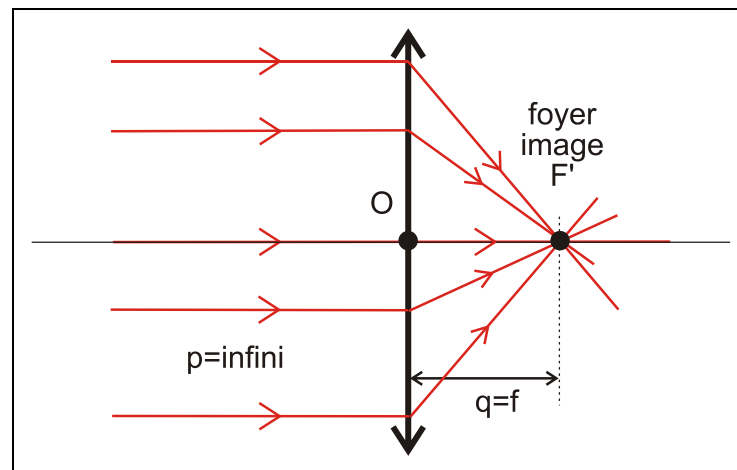
c) Foyer objet. Foyer image. Distance focale d'une lentille convergente

Si p est suffisamment petit, le faisceau sortant devient parallèle : q est infiniment grand. Cette valeur de p est appelée **distance focale f** de la lentille ("Brennweite"). Le point A se trouve maintenant au **foyer objet F** de la lentille. (Si on réduit p davantage le faisceau sortant devient un faisceau divergent.)



Plaçons A à une distance p de plus en plus grande. A' se trouve à une distance q de plus en plus petite.

Si p est très grand (infini) q est minimal : cette valeur de q est aussi égale à la **distance focale f de la lentille**. Le point A' se trouve maintenant au **foyer image F'** de la lentille.



Conclusion

Les observations permettent de formuler une deuxième règle pour la marche des rayons à travers une lentille convergente :

Règle 2 :

Tout rayon passant par l'un des foyers d'une lentille est parallèle à l'axe optique de l'autre côté de la lentille.

d) Vergence d'une lentille convergente

On appelle vergence d'une lentille de distance focale f la grandeur C tel que : $C = \frac{1}{f}$

L'Unité S.I. de la vergence est la **dioptrie** (δ). Puisque f s'exprime en m, on a :

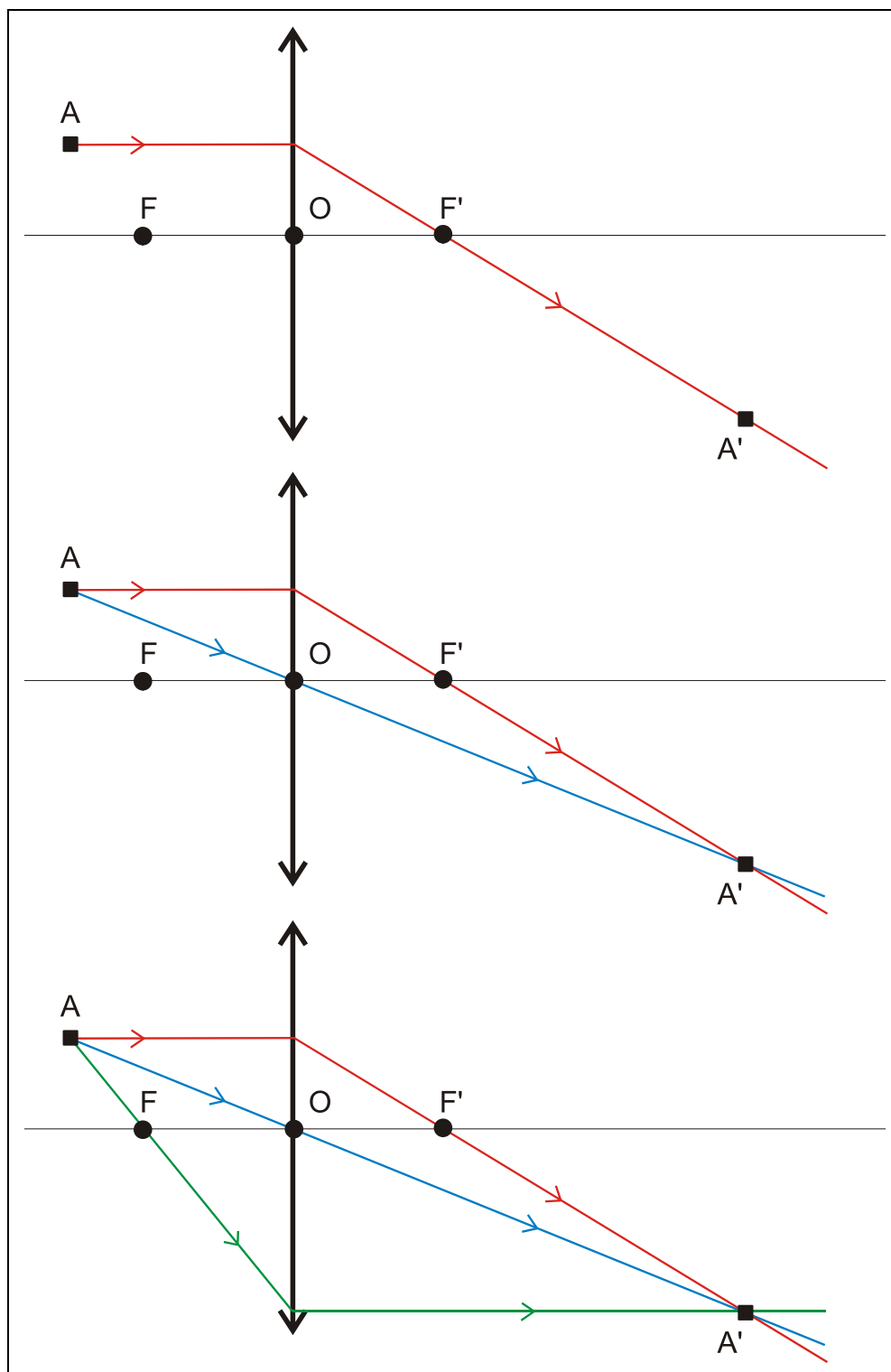
$$1 \text{ dioptrie} = 1 \delta = 1 \text{ 1/m}$$

La vergence d'une lentille convergente est positive. La vergence d'une lentille divergente est négative.

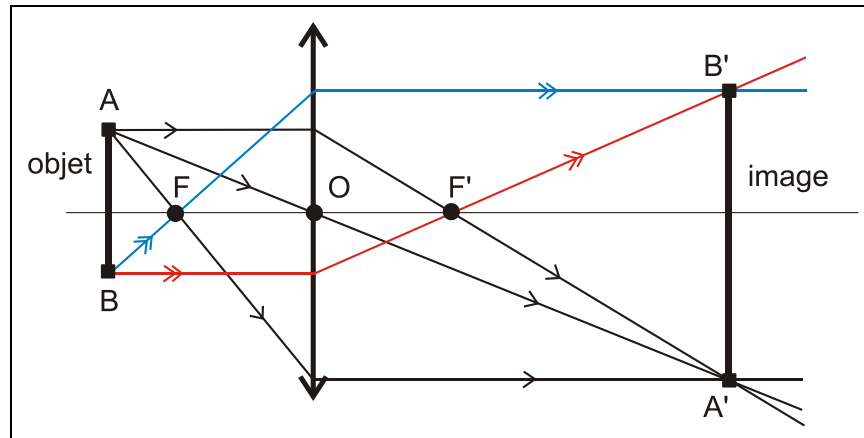
Exemple : Des verres correcteurs ont une vergence de $+4 \delta$. Cela veut dire que la distance focale de ces verres vaut $f = 0,25 \text{ m}$.

4. Construction de l'image d'un objet

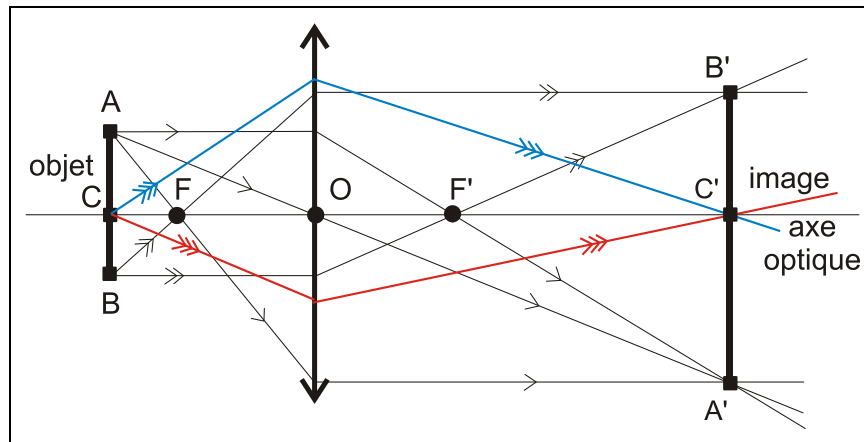
En appliquant les 2 règles on trouve pour un objet A, non situé sur l'axe optique, la position du point image A'. On peut ainsi tracer 3 rayons particuliers. (En fait, 2 rayons suffisent pour déterminer le point de convergence de la lumière issue du point objet A.)



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

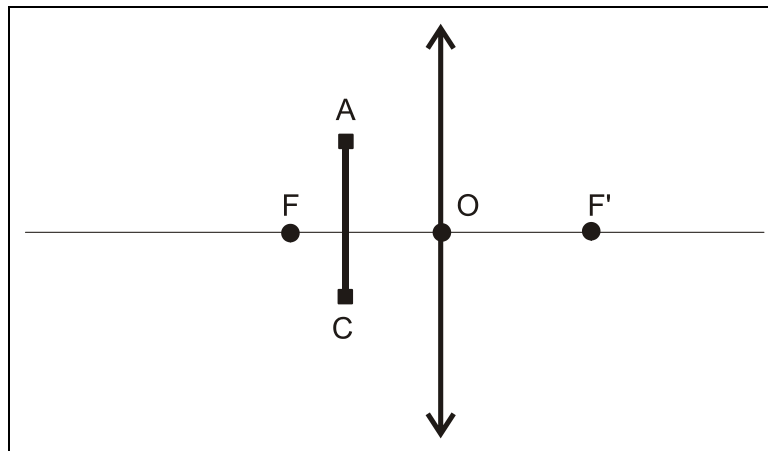


L'image C' d'un point C situé sur l'axe optique est également situé sur l'axe optique !



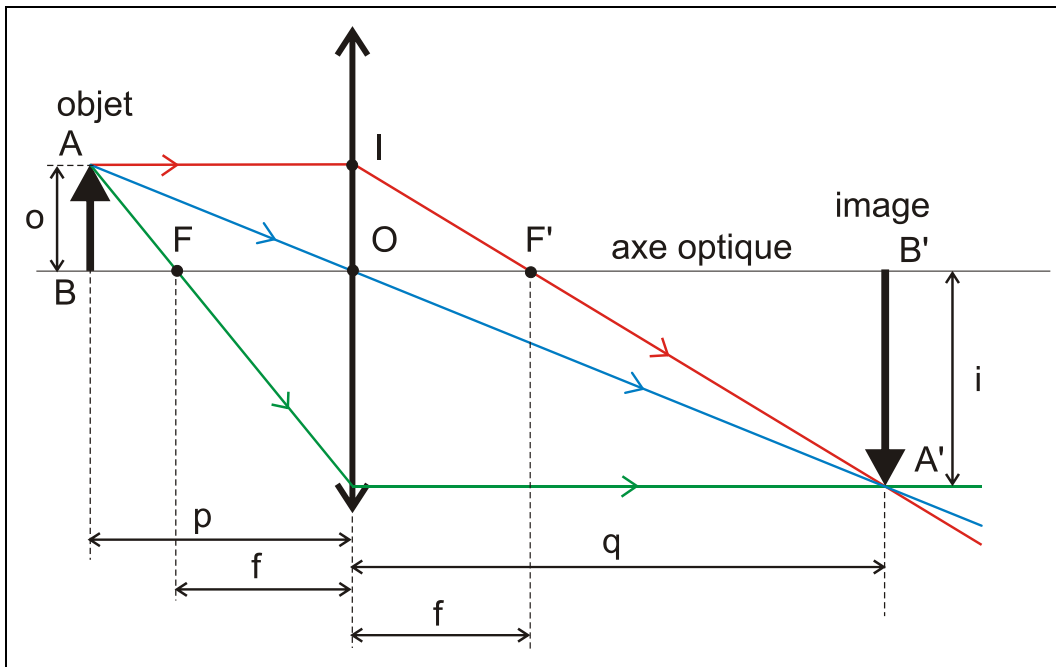
On voit que l'image A'B' est renversée. On voit aussi qu'elle n'a pas la même taille que l'objet. Cette image est observable sur un écran et est donc une **image réelle**.

Exercice : Construire l'image A'B' pour un objet AB placé entre le foyer F et la lentille.



L'image obtenue se trouve du même côté que l'objet. Elle n'est pas observable sur un écran. C'est une **image virtuelle**.

5. Relations des lentilles minces



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.

Exemple : Soit un objet de taille 5 cm placé à 12 cm devant une lentille convergente. L'image se forme à 18 cm derrière la lentille. Calculer le grandissement et la taille de l'image.

Solution : Grandissement :
$$\gamma = \frac{q}{p} = \frac{18}{12} = 1,5$$

Taille de l'image :
$$A'B' = \gamma \cdot AB = 1,5 \cdot 5 \text{ cm} = 7,5 \text{ cm}$$

b) Relation de conjugaison de Descartes

$\Delta(F'OI)$ et $\Delta(F'A'B')$ semblables (homothétiques)

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

Or $OI = AB$

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

On obtient :

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

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

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

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

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

(formule à retenir !)

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

Exemple : Une lentille mince d'une distance focale de 5 cm donne d'un objet AB de hauteur 2 cm, dont A est placé sur l'axe optique à une distance de 8 cm du centre optique O, une image A'B'. Déterminer la position et la taille de l'image.

Solution : $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} \Leftrightarrow \frac{1}{q} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p} = \left(\frac{1}{5} - \frac{1}{8}\right) \frac{1}{\text{cm}}$

On trouve : $q = 13,3 \text{ cm}$

Grandissement : $\gamma = \frac{q}{p} = \frac{13,3}{8} = 1,66$

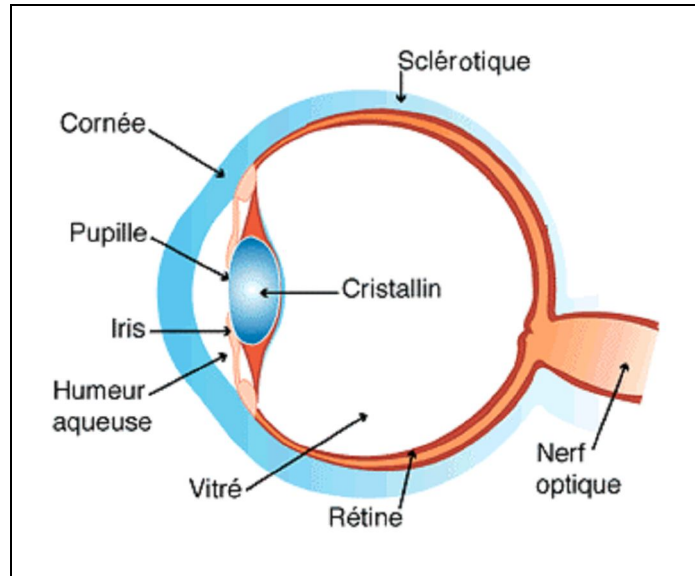
Taille de l'image : $A'B' = \gamma \cdot AB = 1,66 \cdot 2 \text{ cm} = 3,33 \text{ cm}$

Activité L'applet « [banc d'optique](http://hypo.ge.ch/www/physic/simulations/optique/bancopt.html) » présente une simulation d'un banc optique et permet d'explorer les différentes situations et de vérifier les relations des lentilles minces.

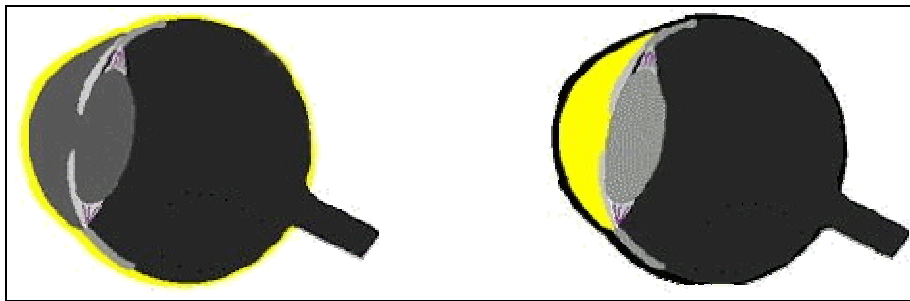
<http://hypo.ge.ch/www/physic/simulations/optique/bancopt.html>

6. L'œil et la vision

Le globe oculaire de l'homme a la forme d'une sphère de 23 mm de diamètre environ.

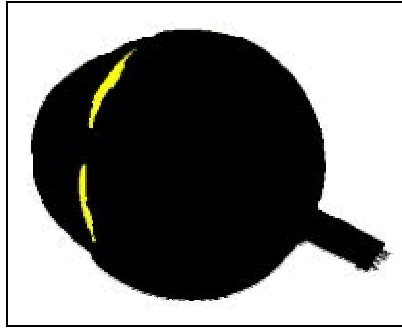


Tout point-objet visible émet des rayons lumineux qui constituent un faisceau lumineux dirigé vers l'œil. Ces faisceaux traversent en premier la **cornée** : il s'agit de la partie extérieure de l'œil. Cette partie du blanc de l'œil - la sclérotique - est transparente afin de laisser passer correctement la lumière. Elle est extrêmement fragile et possède la plus grande sensibilité tactile du corps humain.

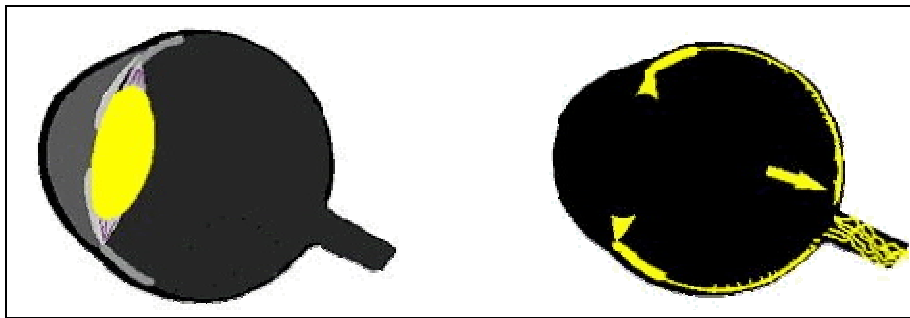


Puis les faisceaux traversent un milieu liquide transparent qui ne dévie pas les rayons de leur trajectoire initiale. Il s'agit de l'**humeur aqueuse**.

Les faisceaux passent ensuite par la **pupille**, dont l'ouverture est réglée par l'**iris** afin d'adapter l'œil à la luminosité. Par faible luminosité, l'iris se dilate et par conséquent le diamètre de la pupille augmente (jusqu'à 8 millimètres) pour capter le maximum de rayons lumineux. Inversement, lors de forte luminosité, l'iris se contracte pour ne laisser passer qu'une petite quantité de lumière.



L'étape suivante est la traversée du **crystallin**, puis celle du corps vitré. Le rôle du cristallin est de faire converger chacun des faisceaux en un point-image net sur la rétine. Pour ce faire, il est plus ou moins étiré ou relâché à l'aide de petits muscles de sorte à ajuster sa vergence pour que les points-image se forment exactement sur la rétine, et cela quelle que soit la distance de l'objet à l'œil. On appelle ce phénomène l'**accommodation**. L'amplitude de cette accommodation est par ailleurs très grande chez l'enfant, ce qui explique par exemple la mauvaise habitude qu'ont les enfants de se pencher trop près de leur cahier. A partir de la cinquantaine, cette accommodation devient inférieure à 3 dioptries : le sujet commence à être gêné pour lire.



Le **corps vitré** est un liquide gélatineux transparent qui donne à l'œil sa forme et sa consistance. Il représente 90% du volume oculaire.

Après cette traversée, les innombrables faisceaux donnent lieu à d'innombrables points-image sur **la rétine**. Tous ces points constituent l'image de l'objet visible formé par l'ensemble cornée-cristallin, qui peut être assimilé à une lentille convergente dont la distance focale serait de $f = 0,015$ m. Sa vergence est donc de 66 dioptries.

La rétine est une membrane nerveuse qui, tapissant le fond de l'œil, joue le rôle d'écran. Elle est un système complexe dont voici les caractéristiques les plus importantes :

A la surface de la rétine se trouvent des capteurs photosensibles qui captent cette image. Ce sont les **cônes** et les **bâtonnets**.

* Les cônes, au nombre de 7 millions, sont de 3 types différents : l'un a un pic de sensibilité dans le bleu-violet, l'autre dans le vert et le troisième dans le jaune-vert. Ils sont donc ainsi

à même de recréer toutes les couleurs possibles. Les daltoniens, qui ne possèdent que deux types de cônes, ne perçoivent pas autant de couleurs que les autres.

- * Les bâtonnets de forme allongée sont plus sensibles à la luminosité (environ 1000 fois plus) mais ne distinguent pas les couleurs. C'est sur eux que repose le mécanisme de la vision nocturne. Ils sont colorés en rose par la rhodopsine, un pigment appelé également "pourpre rétinien" qui les rend sensibles à la lumière. Le pourpre rétinien se décompose sous l'effet de la lumière de sorte que les bâtonnets perdent leur sensibilité à la lumière. Il se reforme dans les bâtonnets dans l'obscurité. Une personne passant d'une forte luminosité à l'obscurité est "aveugle" un certain temps à cause de ce mécanisme. Une fois le pourpre rétinien reformé, l'individu retrouve la vue : ses yeux se sont adaptés à l'obscurité. On compte environ 120 millions de bâtonnets dans la rétine humaine.

Les photorécepteurs de la rétine ont toutefois une sensibilité limitée. En effet, ceux-ci ne captent pas les radiations lumineuses dont les longueurs d'ondes sont supérieures à **750 nm** et inférieures à **380 nm**. On parle alors d'ultraviolets et d'infrarouges.

Il existe différentes zones caractéristiques à la surface de la rétine :

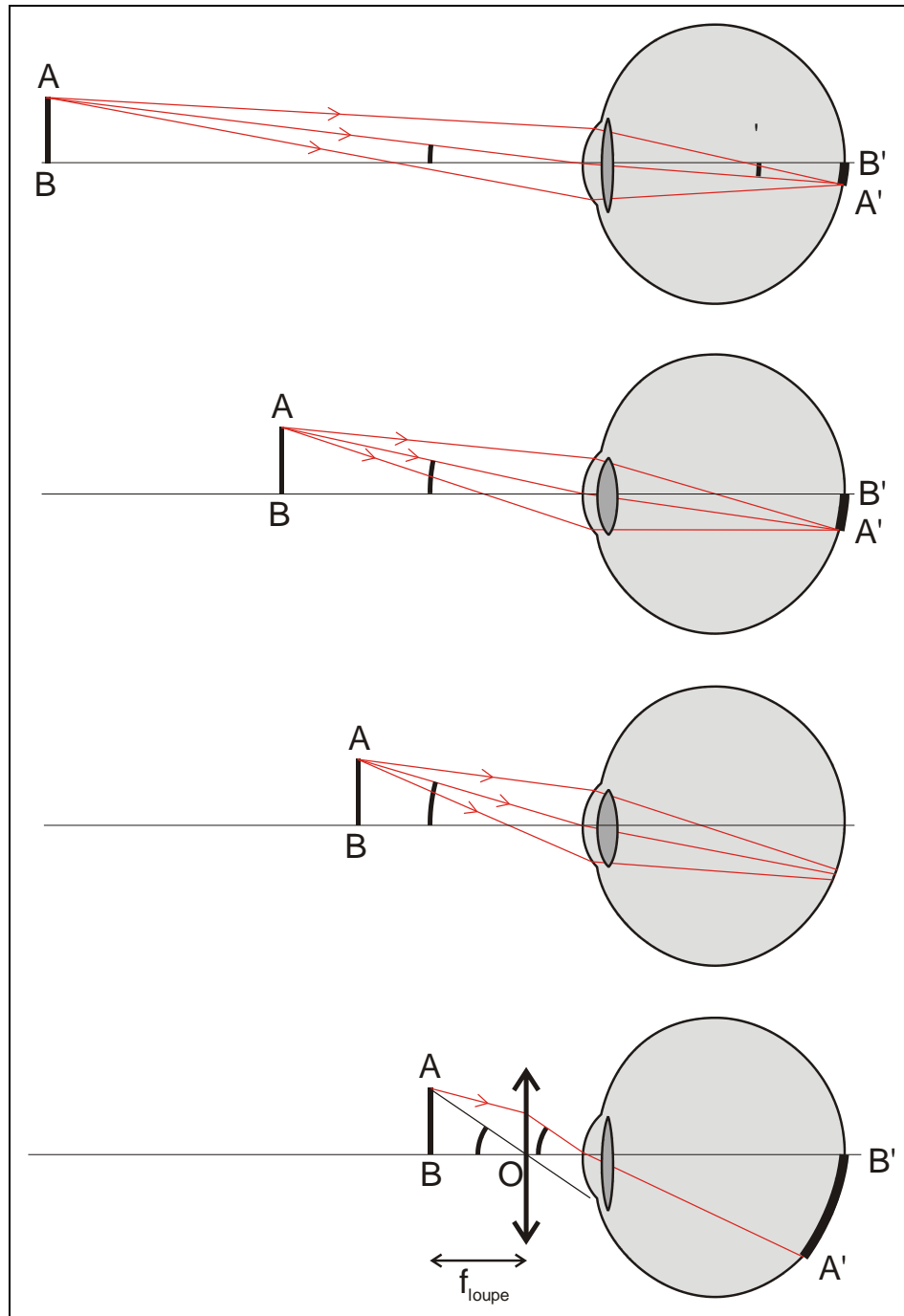
- * La partie centrale, la **macula**, se compose de nombreux cônes (jusqu'à 180 000 par mm²), connectés individuellement à des fibres nerveuses. Par conséquent, la sensibilité visuelle du centre de l'œil est particulièrement accrue, les images sont donc d'une excellente définition.
- * Sur la périphérie de la rétine, la quantité de cônes et de bâtonnets diminue. De plus, ils sont connectés aux fibres nerveuses par groupes entiers : le message nerveux est donc moins précis et la vision moins nette.
- * La **fovéa** (tache jaune), partie centrale de la macula, est composée uniquement de cônes. Elle est donc la partie la plus sensible de l'œil. Quand nous fixons un objet, nous tournons donc les yeux de façon à aligner l'image sur la fovéa.
- * Au contraire, il existe une zone de la rétine qui ne voit pas la lumière car elle ne possède ni cônes ni bâtonnets : c'est la **papille optique**, qui représente la tête du nerf optique (là où convergent les fibres nerveuses). La vision stéréoscopique fait que cette tache n'est pas perçue par l'observateur.

L'existence de trois types de cônes seulement pour percevoir l'information "couleur" d'une lumière complexe quelconque a encore une autre conséquence. Dans la mesure où trois paramètres seulement suffisent à décrire l'information "couleur" telle qu'elle est perçue par l'œil, la plupart des lumières existantes, même des lumières polychromatiques complexes, sont perçues par nous comme ayant une teinte identique à celle d'une des lumières monochromatiques du spectre visible, plus ou moins lumineuse et plus ou moins "lavée de blanc" : en effet, la plupart des lumières polychromatiques sont perçues de la même façon qu'un mélange d'une lumière monochromatique de longueur d'onde λ et d'intensité I_λ avec une

intensité I_0 de lumière blanche (là encore, la variation de trois paramètres seulement : ici λ , I_λ et I_0 permet d'obtenir l'essentiel des "impressions de couleur" perçues par l'œil). Une teinte est dite "pâle" lorsqu'elle est lumineuse (intensité importante) et mélangée à beaucoup de blanc, "vive" lorsqu'elle est saturée (peu mélangée de blanc) et lumineuse, "profonde" si elle est foncée et saturée, et "rabattue" si elle est foncée et lavée de blanc.

7. Application : La loupe

En première approximation, on peut admettre que les parties transparentes de l'œil ont le même indice de réfraction absolu : ces parties constituent alors une lentille épaisse. L'image doit se former sur la rétine, donc à l'intérieur de la lentille. Il n'y a alors réfraction que sur la cornée. La distance focale de cette lentille reste variable grâce à l'action du cristallin.



Les deux premières 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* »). (L'angle α' dans l'œil est plus petit que α à cause de la réfraction sur la cornée. Mais on a toujours : à α plus grand correspond α' plus grand !)

L'angle de vue α 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 ! Mais il faudra accommoder : le cristallin doit se courber davantage (la vergence de l'œil doit augmenter) afin de permettre aux rayons issus de A de converger en A'. La distance minimum (accommodation maximale) vaut pour un adulte environ 25 cm.

Afin de voir une image plus grande encore on pourrait être tenté de rapprocher davantage l'objet de l'œil. Mais la vergence de l'œil est alors insuffisante pour former d'un point objet un point image net sur la rétine. (Pour un point objet on obtient une **tache floue sur la rétine** !)

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 de vue α . L'image qui se forme sur la rétine est devenue plus grande : la loupe grossit.

Construction géométrique :

On trace d'abord le rayon issu du point A traversant sans déviation le centre optique O de la loupe et on a la direction du faisceau parallèle entrant dans l'œil et provenant de A. On a donc l'angle de vue α !

Puis on trace le rayon passant par le centre de la cornée et subissant la réfraction sur celle-ci. On obtient le point A'.