

Thème 3 : Ondes et signaux

Chapitre 3 : La perception de la lumière

I - Les lentilles

1) Les conditions de visibilité d'un objet

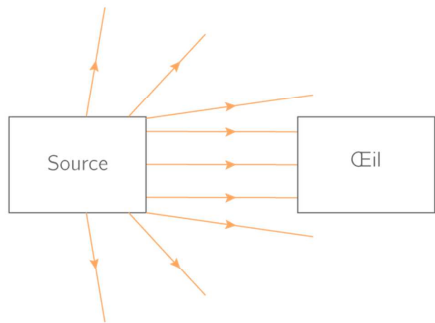
Dans un milieu transparent et homogène, la lumière se propage en ligne droite. Elle change de direction lorsqu'elle rencontre d'autres milieux par réflexion ou par réfraction.

En optique, on appelle objet tout corps dont sont issus des rayons lumineux.

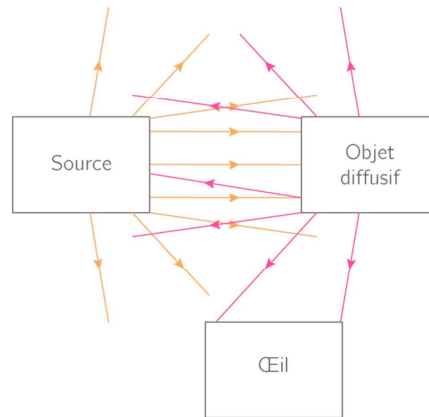
Parmi les objets, on distingue :

- les sources primaires de lumière qui créent des rayons lumineux ;
- les sources secondaires de lumière ou objets diffusifs qui diffusent, c'est-à-dire réfléchissent dans toutes les directions, des rayons lumineux créés par une source distincte.

Vision d'un objet source



Vision d'un objet diffusif



Exemples :

- le Soleil est un objet au sens de l'optique. C'est également une source primaire de lumière car il crée la lumière qu'il émet ;
- la Lune est également un objet au sens de l'optique. En revanche, c'est un objet diffusif (source secondaire de lumière) car elle ne crée pas de lumière mais diffuse dans toutes les directions la lumière créée par le Soleil.

Un objet est visible par un observateur si des rayons lumineux issus de l'objet atteignent l'œil de l'observateur.

Il découle du principe précédent qu'un objet est visible par un observateur aux conditions suivantes :

- l'objet émet des rayons lumineux (soit en tant qu'objet diffusif, soit en tant que source) ;
- il n'y a pas d'obstacle sur le chemin des rayons lumineux entre l'objet et l'œil.

Exemple :

Le Soleil est visible par un observateur aux yeux ouverts situé dans la partie de la Terre où il fait jour parce que d'une part, le Soleil émet de la lumière et que d'autre part, il n'y a pas d'obstacle entre le Soleil et l'œil de cet observateur.

Le Soleil deviendra non visible pour cet observateur si un obstacle se met sur le chemin des rayons lumineux, par exemple la Terre (c'est le cas quand il fait nuit), ou les paupières fermées de l'observateur.

Remarque :

Après des siècles de controverses, la théorie de l'œil récepteur de lumière est aujourd'hui complètement validée.

Le sens de la vision est donc bien de l'objet vers l'œil.

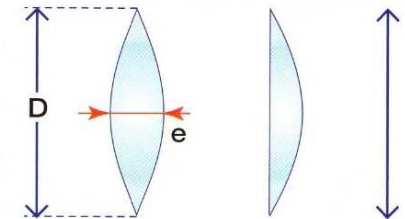
2) Qu'est-ce qu'une lentille ?

Observons une loupe, exemple simple de lentille.

C'est un objet transparent en verre ou en matière plastique dont les deux faces sont bombées.

Une lentille est un milieu transparent qui possède au moins une face non plane.

Une lentille est dite « mince » lorsque son épaisseur e en son centre est petite par rapport à son diamètre D .



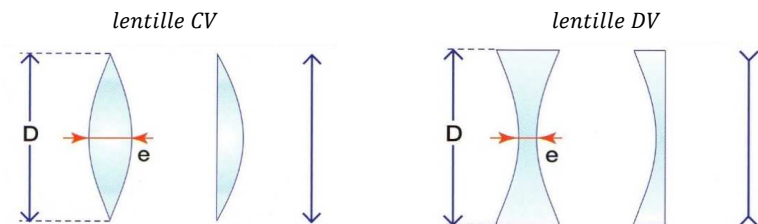
Exemple :

De nombreux instruments d'optique comportent des lentilles : un appareil photographique, un caméscope, un rétroprojecteur, un vidéoprojecteur, un microscope, une lunette astronomique etc. et bien sûr des lunettes optiques.

3) Les deux types de lentilles minces

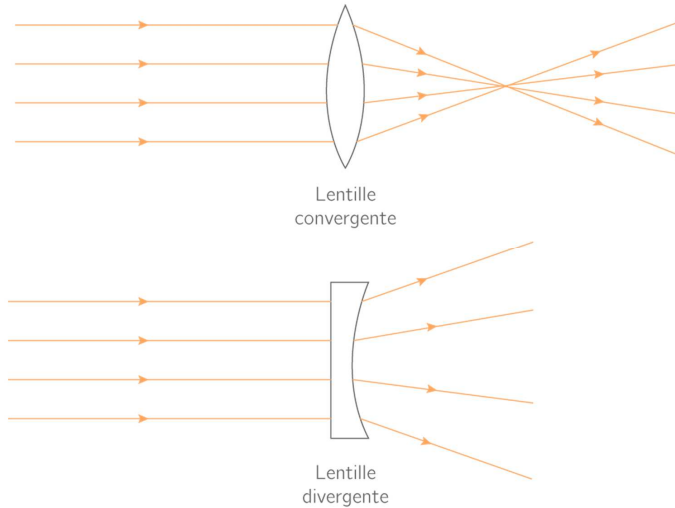
Il existe deux types de lentilles minces :

- les lentilles dont le centre est plus épais que les bords, ce sont les **lentilles convergentes (CV)** ;
- les lentilles dont les bords sont plus épais que le centre, ce sont les **lentilles divergentes (DV)**.



Une lentille convergente est une lentille qui fait converger un faisceau de rayons parallèles, c'est-à-dire qui dévie les rayons de manière à les faire se croiser en un point, le foyer focal image F' .

Une lentille divergente est une lentille qui fait diverger un faisceau de rayons parallèles, c'est-à-dire qui les fait s'écartier les uns des autres.



Pour distinguer facilement une lentille convergente d'une lentille divergente, on la place sur une page écrite puis on l'éloigne progressivement :

- si la lentille est convergente, une loupe par exemple, le texte apparaît plus gros qu'il ne l'est en réalité ;
- si la lentille est divergente, le texte apparaît plus petit.



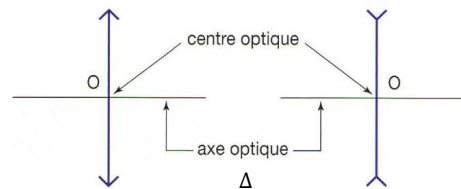
4) Eléments caractéristiques d'une lentille

a) L'axe optique Δ et le centre optique O

On appelle axe optique Δ l'axe de symétrie cylindrique d'une lentille mince.

On appelle centre optique O d'une lentille le point par lequel tout rayon lumineux arrivant sur la lentille en ressort sans être dévié.

Le centre optique est confondu avec le centre géométrique de la lentille.

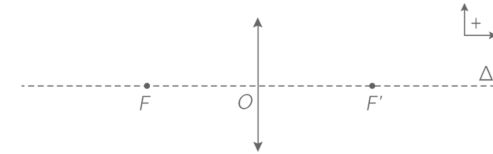


Remarque :

Sur tout schéma, l'axe optique doit être orienté dans le sens des rayons lumineux. Il passe par le centre optique et est perpendiculaire aux faces principales de la lentille.

b) Le repérage algébrique des distances

Généralement, l'axe horizontal est orienté dans le sens de propagation de la lumière donc vers la droite et l'axe vertical vers le haut. Souvent, les deux sens choisis comme positifs sont indiqués sur le schéma représentant la lentille.



Exemples :

- la mesure algébrique de la distance séparant les points O et F' , notée $\overline{OF'}$ est positive : $\overline{OF'} > 0$;
- la mesure algébrique de la distance séparant les points O et F , notée \overline{OF} est négative : $\overline{OF} < 0$.

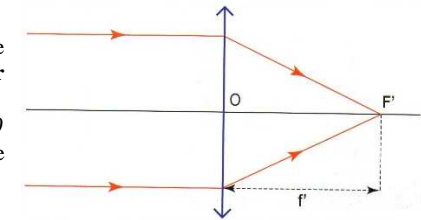
Une mesure algébrique est une longueur affectée d'un signe, ce qui permet d'en orienter le sens sur un axe donné. On l'indique d'un trait placé au-dessus de la longueur en question.

c) Foyer, distance focale et vergence

Une lentille mince convergente reçoit un faisceau de lumière **parallèle à son axe optique**.

On constate qu'elle concentre la lumière émergente en un point de cet axe appelé **foyer image** noté F' .

La distance entre le centre optique O de la lentille et le foyer image F' s'appelle la **distance focale** de la lentille notée f' .



Remarque :

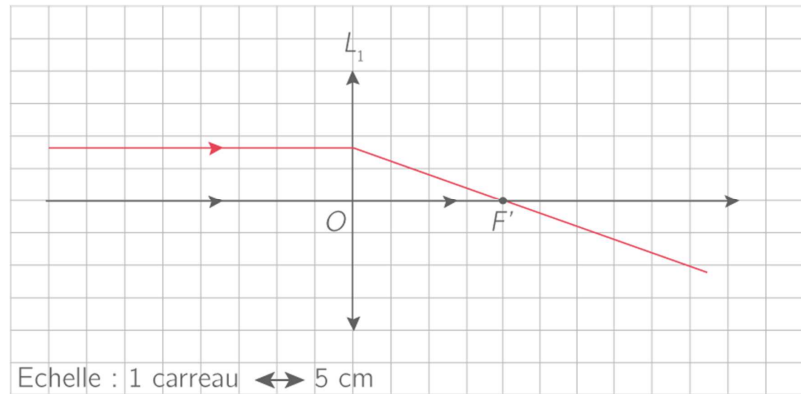
Si l'on place un thermomètre au foyer image F' d'une lentille convergente, on remarque une élévation de la température.

Seules les lentilles minces convergentes ont la propriété de concentrer l'énergie lumineuse à leur foyer.

On appelle vergence C d'une lentille l'inverse de sa distance focale. La vergence s'exprime en dioptrie de symbole δ (autrement dit en m^{-1}) :

$$C = \frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{f'}$$

Exemple 1 :



Pour la lentille L_1 représentée, la distance focale image f'_1 peut être déterminée grâce à l'échelle du schéma.

On remarque que $\overline{OF'}$ est représentée sur 4 carreaux, soit : $f'_1 = \overline{OF'} = 4 \times 5 = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$.

La lentille L_1 de distance focale $f'_1 = 0,2 \text{ m}$ a pour vergence C_1 : $C_1 = \frac{1}{f'_1} = \frac{1}{0,2} = 5 \delta$.

Exemple 2 :

Inversement, une lentille L_2 a une vergence $C_2 = 8,0 \delta$. Sa distance focale image f'_2 a pour valeur : $f'_2 = \frac{1}{C_2} = \frac{1}{8,0} = 0,125 \text{ m} = 12,5 \text{ cm}$.

Remarque :

Pour les lentilles convergentes, la distance focale image f' et donc la vergence C sont des grandeurs positives.

Ce n'est pas le cas pour les lentilles divergentes pour lesquelles ces deux grandeurs sont négatives.

d) Relation de grandissement

Pour comparer la taille et l'orientation de l'image à celles de l'objet, on détermine le grandissement γ (gamma) :

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \quad \left| \begin{array}{l} \overline{A'B'}, \overline{AB}, \overline{OA'} \text{ et } \overline{OA} \text{ en mètre (m)} \\ \text{ou } \overline{A'B'}, \overline{AB}, \overline{OA'} \text{ et } \overline{OA} \text{ dans les mêmes unités} \end{array} \right.$$

Le grandissement est une grandeur algébrique et sans unités :

- $\gamma > 0$: l'objet et l'image sont dans le même sens ;
- $\gamma < 0$: l'objet et l'image sont dans de sens opposé.

e) Récapitulatif

Une lentille possède un axe de symétrie appelé axe optique Δ passant par le centre de la lentille nommé centre optique O .

On appelle distance focale image f' (ou plus simplement distance focale, voire focale) d'une lentille convergente la distance entre le centre optique O et le foyer focal image F' , telle que : $f' = \overline{OF'}$.

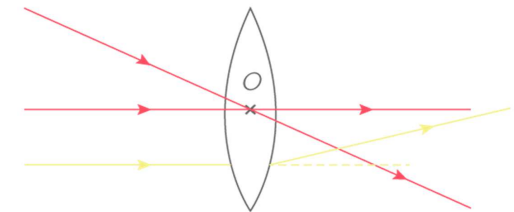
On appelle vergence C d'une lentille convergente l'inverse de la distance focale image f' , telle que : $C = \frac{1}{f'}$.

On peut déterminer la position et la taille de l'image à partir de la relation de grandissement.

5) La construction géométrique de l'image d'un objet par une lentille convergente

a) Propriété du centre optique O

Les rayons lumineux représentés en rouge passent par le centre optique O . Ils ne sont donc pas déviés.

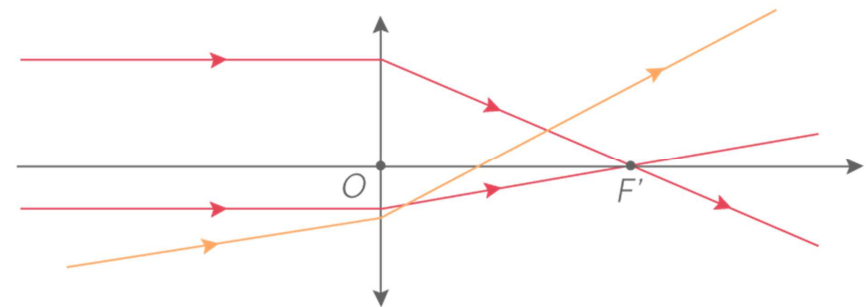


En revanche le rayon lumineux représenté en jaune ne passe pas par le centre optique O . Il est donc dévié.

b) Propriété du foyer focal image F'

Les rayons lumineux représentés en rouge arrivent à la lentille parallèlement à l'axe optique. Ils ressortent donc de la lentille en passant par le foyer image F' .

En revanche le rayon lumineux représenté en jaune n'arrive pas parallèlement à l'axe optique. Il ne passe donc pas par le foyer image F' en sortant de la lentille.

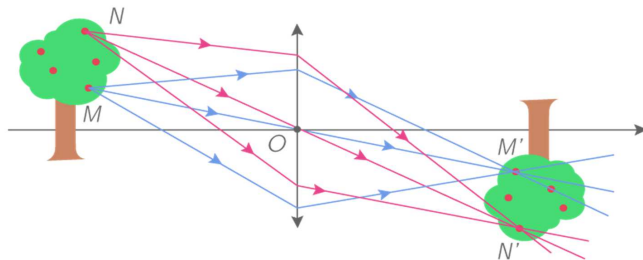


c) **La méthode des trois rayons principaux**

En optique, pour déterminer l'image d'un objet par une lentille, il faut procéder point par point.

En effet, à un point M de l'objet correspond un point M' de l'image. Les deux points M et M' sont dits conjugués par la lentille.

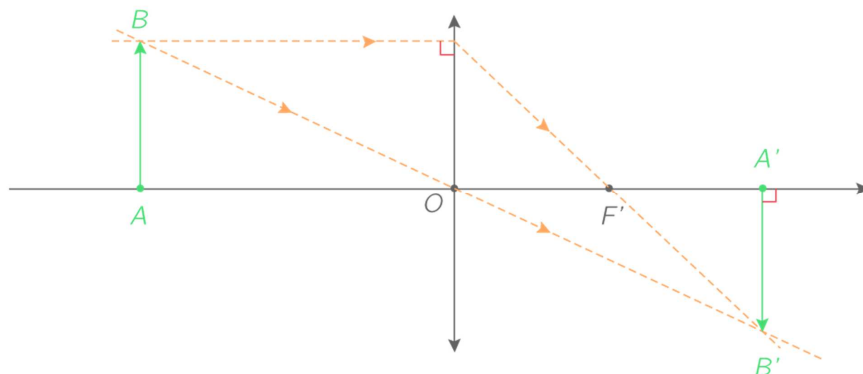
Si un point M' de l'image est le conjugué du point M de l'objet, alors tout rayon passant par M atteignant la lentille en ressort en passant par M' .



L'image $\overline{A'B'}$ par une lentille d'un objet \overline{AB} s'obtient en déterminant le point B' . Pour le construire on trace deux rayons lumineux particuliers partant de B :

- le rayon partant de B et passant par le centre optique O , qui n'est pas dévié ;
- le rayon partant de B et arrivant à la lentille parallèlement à l'axe optique, qui en ressort en passant par F' .

B' se trouve à l'intersection de ces deux rayons. L'image complète $\overline{A'B'}$ est obtenue en plaçant A' sur l'axe optique à la verticale de B' .



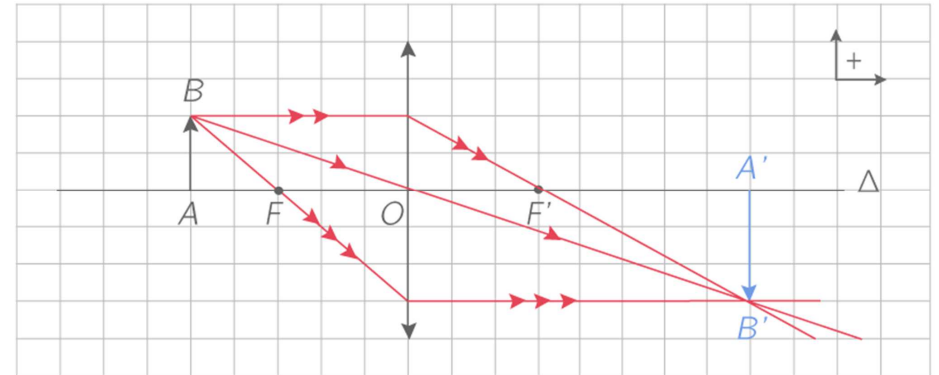
Cette méthode s'appelle « **méthode des trois rayons principaux** » car il existe un troisième choix possible de rayon.

En général, deux des trois rayons suffisent à déterminer la position de l'image.

Exemple 1 : objet placé avant le foyer objet de la lentille

Dans l'exemple ci-dessous, l'image $\overline{A'B'}$ obtenue est :

- réelle, car $\overline{OA'} > 0$;
- agrandie, car $|\overline{A'B'}| > |\overline{AB}|$, donc $|\gamma| > 1$;
- renversée, car $\overline{A'B'} < 0$ alors que $\overline{AB} > 0$, donc $\gamma < 0$.

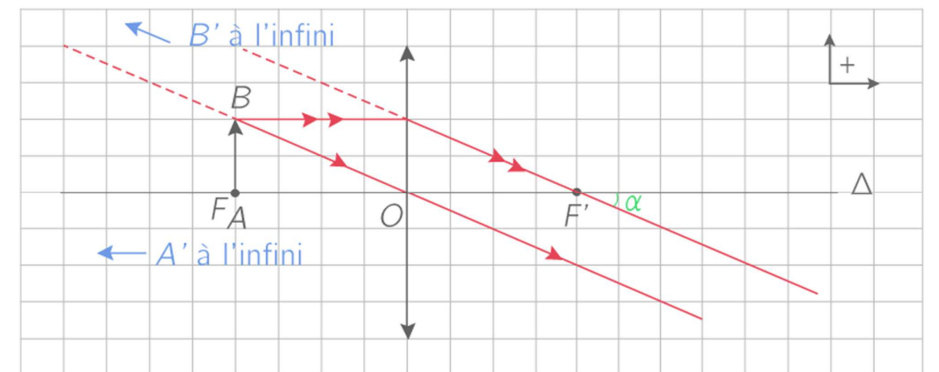


Exemple 2 : objet placé au foyer focal objet de la lentille

Dans cette situation, les rayons lumineux émergents de la lentille sont parallèles entre eux : on dit que l'image $\overline{A'B'}$ est à l'infini.

Elle est visible à l'œil nu et peut se former sur un écran placé suffisamment loin de la lentille (par rapport à sa distance focale).

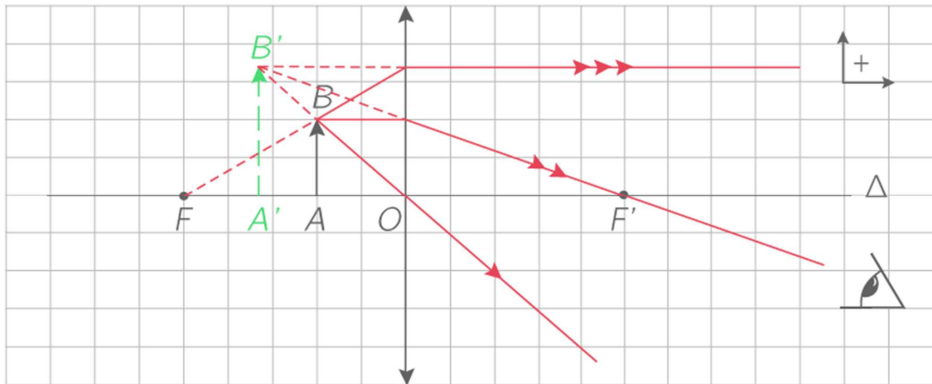
C'est le principe d'une loupe dans des conditions idéales.



Exemple 3 : objet placé entre le foyer focal objet et le centre optique de la lentille
 Dans cette situation, les rayons lumineux ne se coupent pas après la lentille mais avant, dans le milieu objet, par le prolongement de ces derniers (en pointillés).

Dans l'exemple ci-dessous, l'image $\overline{A'B'}$ obtenue est :

- virtuelle, car $\overline{OA'} < 0$;
- agrandie, car $|\overline{A'B'}| > |\overline{AB}|$, donc $|\gamma| > 1$;
- droite, car $\overline{A'B'} > 0$ et $\overline{AB} > 0$, donc $\gamma > 0$.



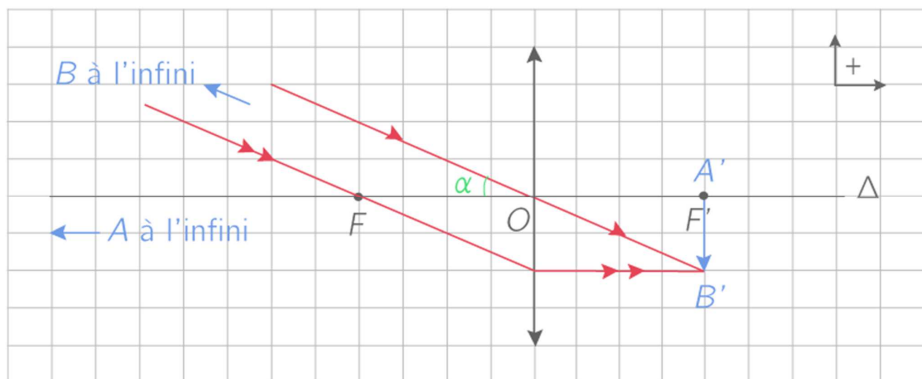
Exemple 4 : objet placé à l'infini

On peut considérer qu'un objet est situé à l'infini s'il est très éloigné de la lentille (comparativement à sa distance focale).

Les rayons qui parviennent sur la lentille sont alors parallèles entre eux. Le tracé des rayons passant par le foyer objet F et le centre optique O permet de déterminer la position du point B' .

Dans l'exemple ci-dessous, l'image $\overline{A'B'}$ obtenue est :

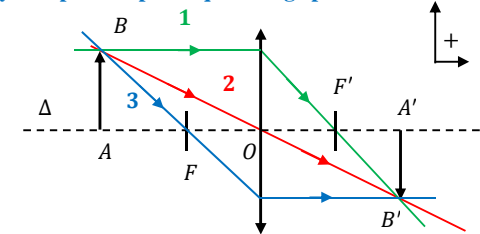
- réelle, car $\overline{OA'} > 0$;
- réduite, car $|\overline{A'B'}| < |\overline{AB}|$, donc $|\gamma| < 1$;
- renversée, car $\overline{A'B'} < 0$ alors que $\overline{AB} > 0$, donc $\gamma < 0$.



d) Récapitulatif

Pour déterminer la position de l'image B' d'un point objet B , on trace au moins deux des trois rayons suivants issus de B :

- le rayon 1 qui passe par O et qui n'est pas dévié ;
- le rayon 2 parallèle à l'axe optique qui émerge en passant par F' ;
- le rayon 3 passant par F qui émerge parallèlement à l'axe optique.



L'image B' d'un point objet B se forme à l'intersection des rayons émergents. La taille, le sens et la position de l'image dépendent de la position de l'objet et de la distance focale de la lentille.

6) Récapitulatif

Pour qu'un objet soit vu, il faut que la lumière provenant de cet objet parvienne jusqu'à l'œil de l'observateur.

Pour qu'un objet soit vu, il doit être source de lumière (source primaire comme le Soleil ou source secondaire comme la Lune) et il ne doit y avoir aucun obstacle entre l'objet et l'œil.

Les lentilles minces sont constituées d'un milieu transparent (le plus souvent du verre) limité par des faces planes ou des portions de sphère. Elles sont dites minces car leur épaisseur est faible par rapport à leur diamètre.

Il existe deux types de lentilles minces : les lentilles convergentes (plus épaisses au centre que sur les bords) et les lentilles divergentes (plus mince au centre que sur les bords).

Nom	Lentilles convergentes	Lentilles divergentes
Les distinguer au toucher	Lentilles à bords minces 	Lentilles à bords épais
Les distinguer en regardant un texte	Image plus grosse que l'objet 	Image moins grosse que l'objet
Effet sur un faisceau parallèle de lumière O est le centre optique de la lentille. F est le foyer objet. F' est le foyer image.	Le faisceau émergent est convergent en F' , foyer image. 	Le faisceau émergent est divergent.

II - L'œil et l'appareil photographique

1) Modélisation optique de l'œil

a) L'anatomie de l'œil réel

Outre la **cornée** transparente, l'œil comporte différentes parties également transparentes : l'**humeur aqueuse**, le **cristallin** et l'**humeur vitrée**.

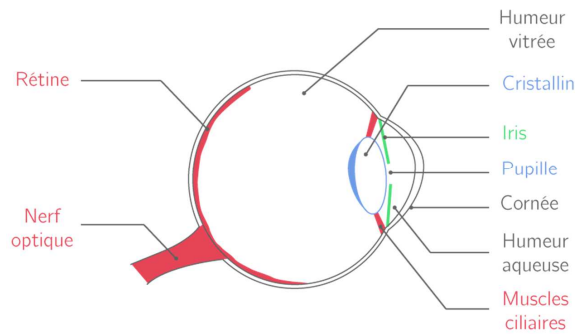
L'iris coloré est percé d'un trou : la **pupille**.

La **rétine**, membrane photosensible sur laquelle se forment les images, tapisse le fond de l'œil.

Enfin, le **nerf optique** assure la liaison avec le cerveau.

La lumière issue de l'objet traverse la cornée et l'humeur aqueuse puis franchit la pupille dont le diamètre varie suivant la luminosité.

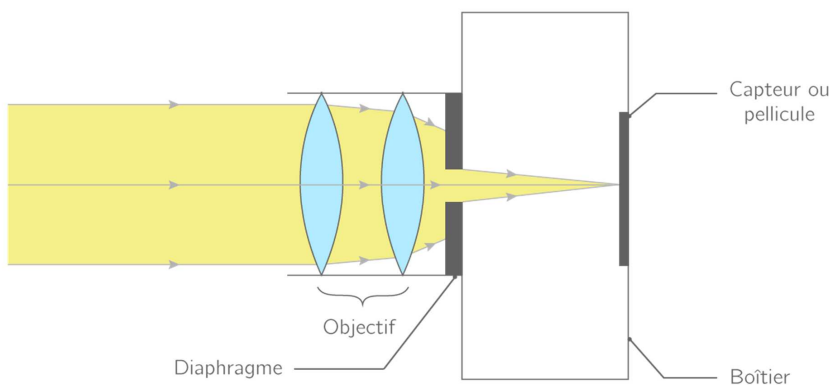
La lumière traverse ensuite les autres milieux et atteint la rétine. L'ensemble des milieux transparent, notamment le **cristallin**, **équivalent à une lentille convergente**. Une **image inversée** de l'objet se forme sur la rétine !



b) Le modèle de l'œil réduit

Dans un appareil photographique, les rayons lumineux issus du sujet photographié sont déviés par l'objectif pour se concentrer sur une zone plane à l'arrière de l'appareil sur laquelle on veut que se forme l'image. C'est dans cette zone que se trouve soit un capteur électronique photosensible, soit une pellicule photographique afin que l'image soit captée.

Il est possible de faire varier la quantité de lumière entrant dans l'appareil grâce au réglage de l'ouverture d'un diaphragme.

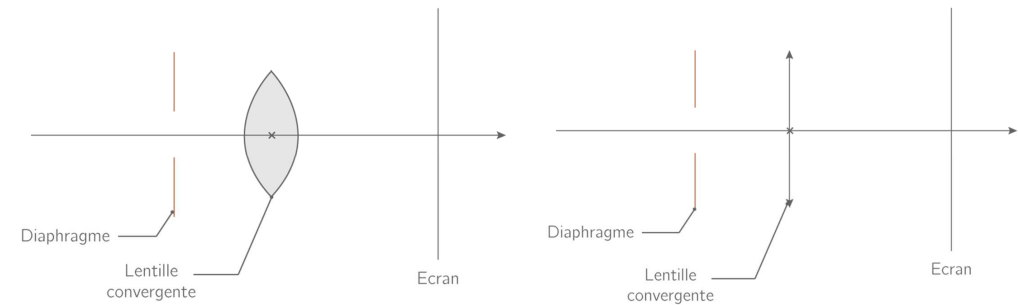


En comparant la forme et les propriétés des différentes parties de l'œil avec celles des composants d'un appareil photographique, on peut établir le tableau suivant :

Appareil photographique	Œil	Fonction optique
Diaphragme	Iris	Régule la quantité de lumière pénétrant le système optique
Objectif	Cristallin	Concentre les rayons lumineux vers la zone où doit se former l'image.
Capteur ou pellicule	Rétine	Permet de former et de capter l'image.

Le modèle de l'œil réduit permet d'étudier le comportement optique de l'œil avec du matériel d'optique de laboratoire :

- l'iris sera modélisé par un diaphragme ;
- le cristallin par une lentille convergente ;
- la rétine par un écran (c'est-à-dire une surface plane et blanche).

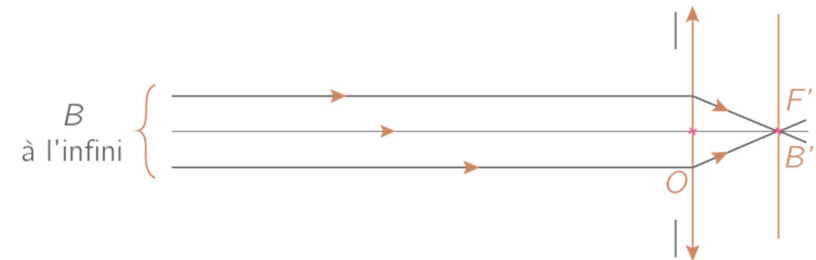


2) L'accommodation

a) La nécessité de l'accommodation

L'œil réduit est formé par :

- un diaphragme, qui modélise l'iris et qui permet de réguler la quantité de lumière entrant dans l'œil ;
- une lentille convergente, qui modélise le cristallin et qui permet de concentrer les rayons lumineux afin de former une image ;
- un écran, qui modélise la rétine et qui permet de recueillir l'image.



L'œil emmétrope voit les objets situés à l'infini : la Lune, le Soleil, les étoiles sont visibles avec netteté.

On en déduit que l'image formée par l'œil d'un objet situé à l'infini se trouve sur la rétine.

En effet pour voir nettement un objet, il faut que son image soit formée sur la rétine, lieu où se trouvent les récepteurs de la vue.

D'autre part, la propriété suivante est acceptée : l'image formée par une lentille convergente d'un objet situé à l'infini se forme au niveau de son foyer image F' . Cette propriété peut être déduite de l'expérience, en remarquant que l'image d'un objet de plus en plus éloigné d'une lentille convergente se rapproche de plus en plus de F' .

On en déduit que la rétine se trouve au niveau du foyer image F' du cristallin.

Dans l'œil emmétrope formant l'image d'un objet situé à l'infini, la rétine est placée à la hauteur du foyer image F' du cristallin.

Dans le modèle de l'œil réduit, l'écran qui modélise la rétine est donc placé à la hauteur du foyer image F' de la lentille convergente qui modélise le cristallin.

Remarque :

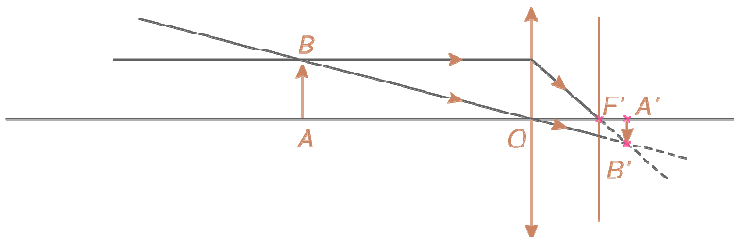
En optique, la notion d'infini est relative. En effet on peut considérer qu'un objet situé à une distance très grande devant la distance focale image f' d'un système optique est à l'infini.

Dans l'œil humain la distance focale image au repos est de l'ordre de $f' = 1,6 \text{ cm}$ (il s'agit de la distance approximative entre le cristallin et la rétine).

On considère généralement que les objets situés à plus de 3 – 5 m de l'œil sont à l'infini :

- la Lune est à des centaines de milliers de kilomètres de la Terre, elle constitue donc un objet à l'infini ;
- une télévision située à 5 m d'un observateur est à une distance environ 300 fois plus grande que la distance focale image f' de l'œil. Elle peut également être considérée comme étant à l'infini ;
- en revanche, un écran d'ordinateur situé à 60 cm doit être considéré comme un objet proche car il est situé à moins de 3 m.

On considère maintenant que cet œil regarde un objet plus proche, par exemple un livre à 30 cm.



La construction graphique ci-dessus montre clairement que l'image d'un objet proche se formerait au-delà du foyer image F' , et donc au-delà de la rétine.

Un objet proche n'est donc pas visible avec netteté dans cette configuration de l'œil.

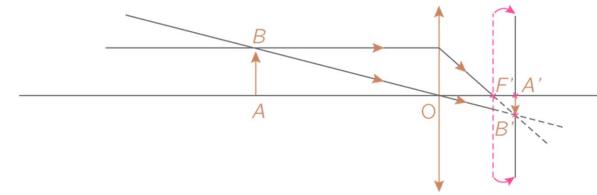
L'œil emmétrope qui voit un objet situé à l'infini ne peut pas voir un objet proche s'il ne subit pas de modification.

L'expérience de la vie courante montre sans aucun doute que l'œil réel sans défaut est capable de voir aussi bien un objet à l'infini (comme la Lune) qu'un objet relativement proche (comme un livre).

L'œil n'est pas statique : un réglage optique est nécessaire pour que l'œil forme sur la rétine les images d'objets situés à des distances différentes.

Deux possibilités de réglage optique :

- la première possibilité de réglage optique serait de déplacer la rétine vers l'arrière afin que l'image s'y forme.



Cette méthode de réglage s'appelle la mise au point.

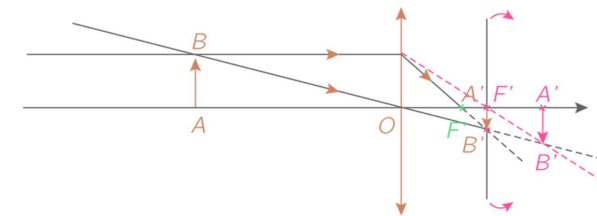
Elle consiste à faire varier des distances entre l'objet, la lentille et l'écran afin d'obtenir une image nette sur ce dernier.

Elle est utilisée notamment dans les appareils photographiques.

Dans le cas de l'œil, la mise au point n'est pas une méthode applicable pour des raisons anatomiques : on ne peut pas déplacer la rétine vers l'arrière car l'espace est occupé par le cerveau.

On n'observe pas non plus d'avancée de l'œil vers l'extérieur.

- la seconde possibilité de réglage optique afin de ramener l'image sur la rétine est de changer la position du foyer image F' , c'est-à-dire de changer les caractéristiques fondamentales de la lentille : sa distance focale f' et sa vergence C .



C'est le mécanisme de l'accommodation.

b) Le mécanisme de l'accommodation

Comme on le voit sur le schéma précédent, si on veut voir un objet proche, il faut former son image sur la rétine et donc dévier les rayons lumineux plus rapidement.

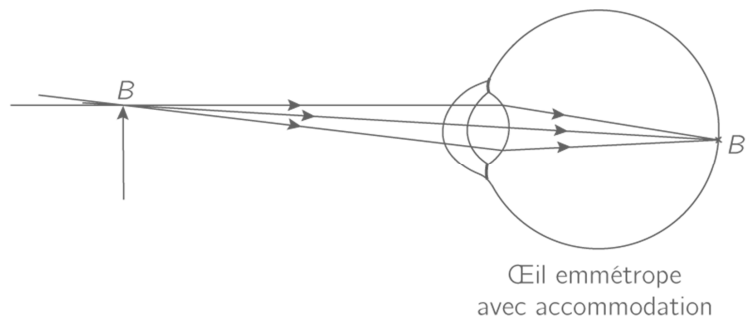
Pour le cristallin, cela implique que :

- son foyer F' se rapproche de son centre optique O ;
- sa distance focale $\overline{OF'} = f'$ diminue ;
- sa vergence C augmente.

Plus un objet est proche, plus le cristallin doit être convergent.

L'accommodation consiste en une augmentation de la vergence du cristallin afin de permettre la vision des objets proches.

Lors de l'accommodation, le cristallin devient plus bombé sous l'action des muscles ciliaires.



Remarque 1 :

En l'absence d'accommodation, l'œil est dit au repos car aucun muscle n'est contracté.

Remarque 2 :

Plus un objet est proche, plus l'œil a besoin d'accommoder.

Or l'accommodation est limitée par l'élasticité du cristallin.

Ainsi, il est impossible de voir un objet trop proche.

Pour un jeune adulte le point limite (punctum proximum) se situe environ 15 cm devant l'œil, mais en moyenne, il se situe à une distance $d_{pp} = 25$ cm.

Remarque 3 :

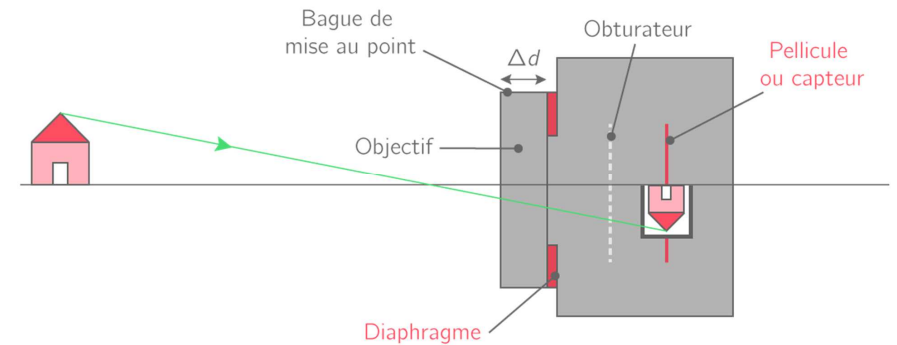
Avec l'âge, la capacité à accommoder diminue, c'est la presbytie. Elle se corrige principalement avec des verres correcteurs constitués de lentilles convergentes. Les principaux autres défauts de vision sont la myopie et l'hypermétropie.

Un appareil photographique est constitué d'un objectif de distance focale $f' = 5,0$ cm et d'un capteur CCD placé derrière lui.

Lorsque la distance objectif – capteur est de 5,0 cm, le capteur est dans le plan focal image de l'objectif : l'appareil peut ainsi photographier un objet situé à l'infini.

Lorsqu'on souhaite photographier un objet situé à 1,60 m de l'appareil, l'image se forme alors à 7,2 cm de l'objectif : il faut donc que l'objectif avance de 2,2 cm pour que l'image continue de se former sur le capteur.

Le déplacement de l'objectif peut se faire manuellement par action sur la bague de mise au point ou automatiquement (grâce à l'« autofocus »).



La mise au point d'un appareil photographique est le mécanisme par lequel l'objectif se déplace permettant que l'image se forme toujours sur le capteur (pellicule ou rétine).

Remarque :

En plus de la mise au point, une autre différence entre l'appareil photographique et l'œil est à noter, la durée d'exposition, durée pendant laquelle la lumière arrive sur le capteur et réglée par l'obturateur.

Une durée d'exposition longue permet de photographier des objets très peu lumineux.

L'œil ne fonctionne pas sur le même principe. L'image de l'objet observée est effacée et une nouvelle image se forme tous les dixièmes de seconde environ. Cette durée liée aux réactions photochimiques sur la rétine n'est pas réglable. Par conséquent, l'œil ne peut pas voir les mouvements trop rapide (télévision, cinéma), ni les objets peu lumineux même s'il les observe longtemps.

3) Récapitulatif

Au repos, l'œil « normal », dit emmétrope, est réglé pour voir les objets lointains (à l'infini) tel que la rétine se trouve alors au niveau du foyer image F' du cristallin.

Afin de pouvoir former les images d'objets situés à des distances de plus en plus proches sur la rétine, le cristallin change de forme pour devenir plus bombé et donc plus convergent : c'est le mécanisme d'accommodation.

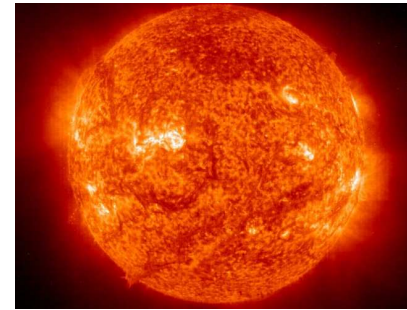
Dans le cas d'un appareil photographique, on parle de mise au point.

Elle peut se faire :

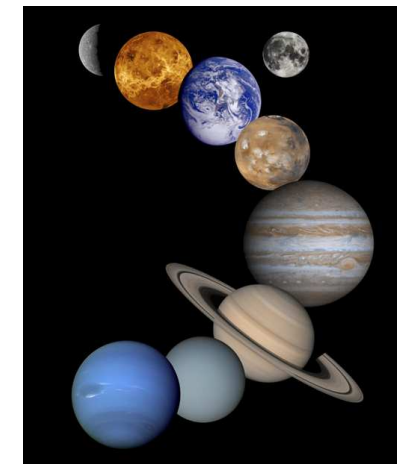
- en réglant la distance entre l'objectif et le capteur ;
- en modifiant la distance focale de l'objectif.

ANNEXES

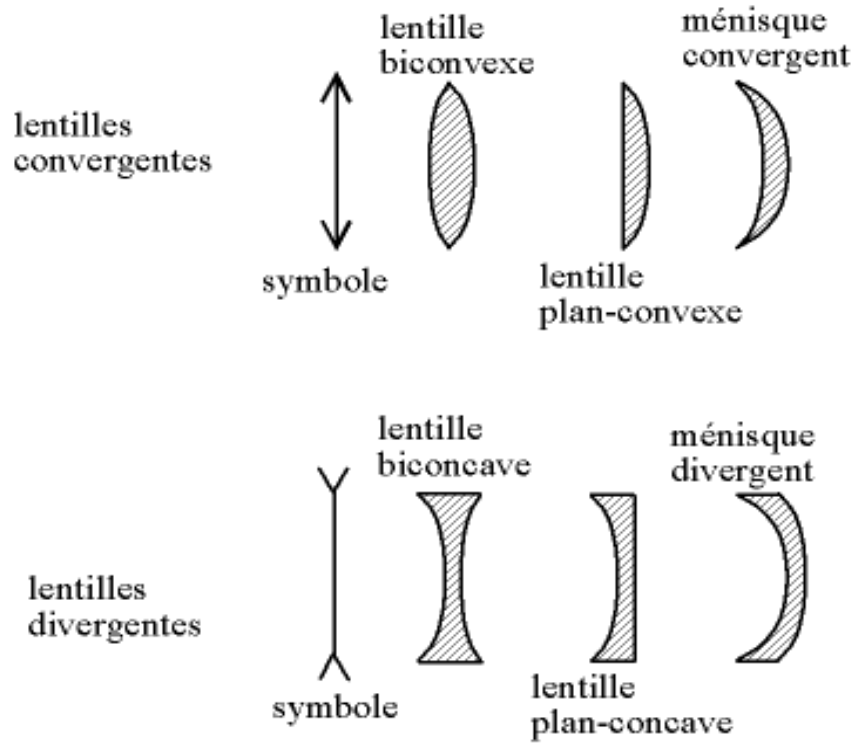
SOURCES PRIMAIRES



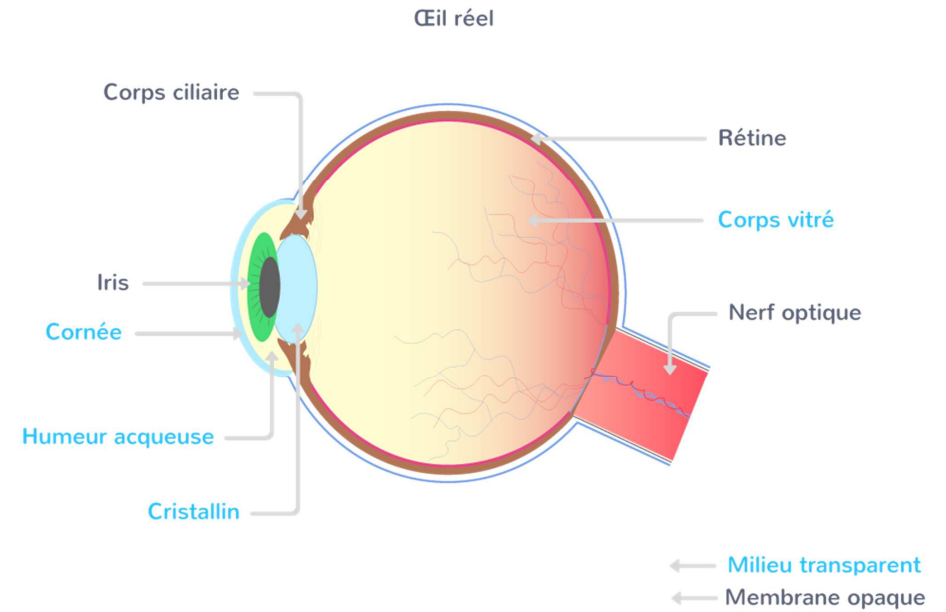
SOURCES SECONDAIRES



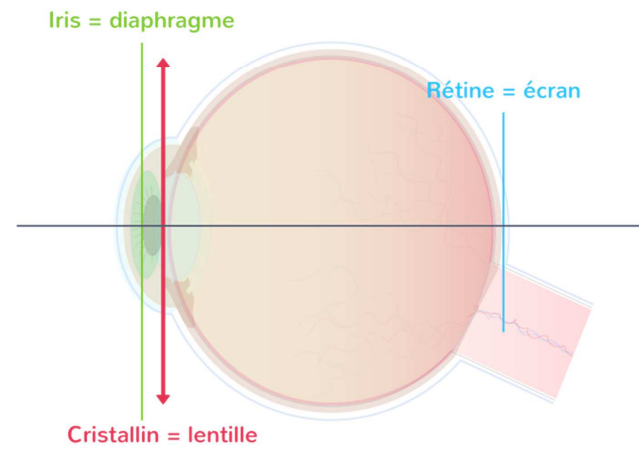
LES DIFFERENTES LENTILLES



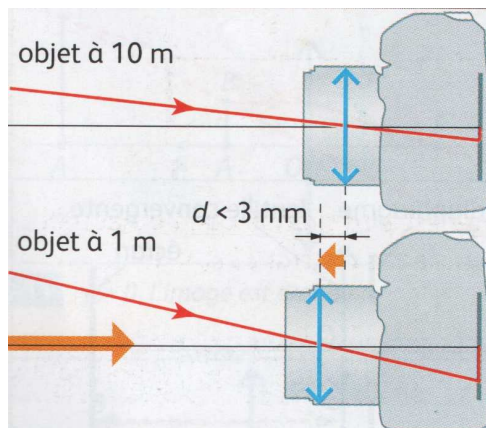
ŒIL / MODELE ŒIL



Modélisation optique de l'œil (œil réduit)



MISE AU POINT APPAREIL PHOTOGRAPHIQUE



DIFFERENTES DUREES D'EXPOSITION OBJET EN MOUVEMENT



DIFFERENTES DUREES D'EXPOSITION OBJET STATIQUE

