

Formation des images optiques

Plan du chapitre

I. Généralités sur les systèmes optiques	3
A. Notion d'objet et d'image	3
B. Distances et angles en optique	5
C. Premier exemple de construction : le miroir plan	5
II. Propriétés des systèmes optiques	6
A. Stigmatisme et conditions de Gauss	6
B. Aplanétisme et grandissement	8
III. Lentilles minces	9
A. Modèle de la lentille mince	9
B. Constructions géométriques	12
C. Relations de conjugaison	12
D. Condition de formation d'une image réelle par une lentille convergente	15
IV. Instruments d'optique	16
A. L'oeil	16
B. Principe de l'association de lentilles : exemple de la lunette astronomique	20
C. L'appareil photographique	22

Ce qu'il faut connaître

- La définition du stigmatisme approché et du stigmatisme rigoureux.
- Les conditions de Gauss, et ce qu'elles permettent de vérifier.
- La définition du grandissement transversal.
- Le modèle de la lentille mince.
- La définition de la vergence / distance focale d'une lentille mince.
- Les relations de conjugaison de Descartes et de Newton.
- La condition de formation d'une image réelle d'un objet réel par une lentille convergente.
- Le modèle simplifié de l'oeil
- Les caractéristiques de l'oeil (punctum remotum, punctum proximum, pouvoir séparateur)
- La modélisation de l'appareil photographique.

Ce qu'il faut savoir faire

- Algébriser des distances et des angles.
- Construire l'image d'un objet par un miroir plan (EC1).
- Relier le stigmatisme approché aux caractéristiques d'un détecteur.
- Exploiter la relation du grandissement (EC2).
- Réaliser toutes les constructions géométriques de la feuille annexe.**
- Identifier le caractère réel ou virtuel d'un objet (et d'une image).
- Exploiter les relations de conjugaison de Descartes et de Newton (EC3 et EC4).
- Établir la condition de formation d'une image réelle par une lentille convergente.
- Exploiter les caractéristiques de l'oeil (EC5).
- Construire la marche des rayons dans un système optique à deux lentilles (EC6).
- Étudier l'influence des différents paramètres d'un appareil photo (focale, diaphragme, durée d'exposition) sur la formation d'une image.

I - Généralités sur les systèmes optiques

I.A - Notion d'objet et d'image

Nous allons nous intéresser dans ce chapitre à la formation des images dans le cadre de l'optique géométrique. Il convient tout d'abord de donner les définitions essentielles pour cette étude. Le schéma ci-dessous va nous permettre d'introduire ces définitions.

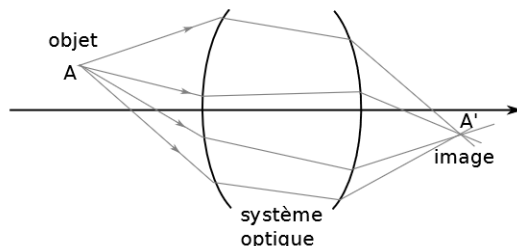


FIGURE 1 – Illustration de la formation d'une image par un système optique quelconque

- ▷ **Système optique** : ensemble de dioptries, lentilles, miroirs.
- ▷ **Axe optique** : axe de révolution du système optique. On dit alors que le système optique est **centré**.
- ▷ **Objet (ponctuel)** : point d'intersection des rayons entrants (incidents) dans le système optique.
 - ↪ Si les rayons partent effectivement du point A → **objet réel**.
 - ↪ Si l'intersection des rayons n'existe pas réellement → **objet virtuel**.

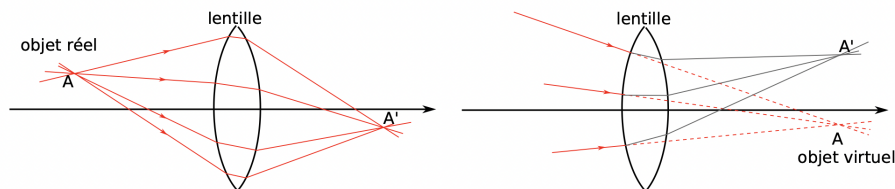


FIGURE 2 – Distinction entre objet réel et objet virtuel.

- ▷ **Image (ponctuelle)** : point d'intersection des rayons sortants (émergents) du système optique.
 - ↪ Si les rayons arrivent effectivement au point A → **image réelle**. On peut placer un écran en A' et voir l'image.
 - ↪ Si l'intersection des rayons n'existe pas réellement → **image virtuelle**. On ne peut pas l'observer sur un écran placé en A' .

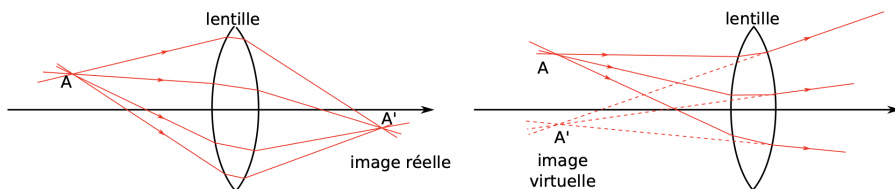
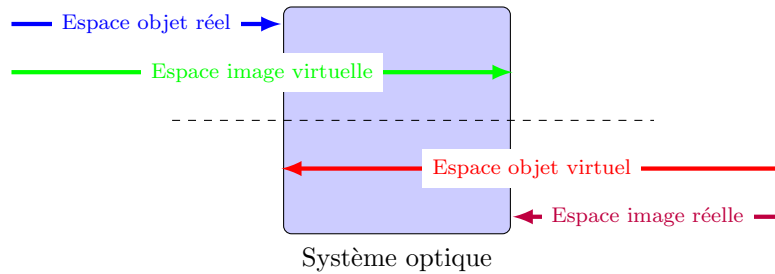


FIGURE 3 – Distinction entre image réelle et image virtuelle

Un objet réel se trouve donc du côté de la lumière incidente, avant la face d'entrée du système, contrairement à un objet virtuel. De même, une image réelle se trouve du côté de la lumière émergente, après la face de sortie du système, contrairement à une image virtuelle.



Conjugaison

En résumé, on a : objet $A \xrightarrow{\text{syst.opt}}$ image A' . On dit que A et A' sont **conjugués** par le système optique.

• Cas d'un objet/image à l'infini

Objet et image à l'infini

- Lorsqu'un objet est situé à l'infini, les rayons incidents provenant de cet objet sont **parallèles entre eux**.
- Lorsqu'une image est située à l'infini, les rayons émergents sont **parallèles entre eux**.

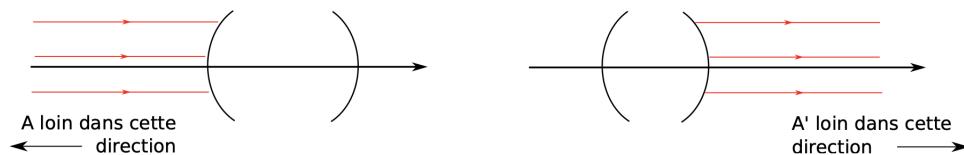


FIGURE 4 – Objet et image à l'infini : à chaque fois, les rayons sont parallèles entre eux.

Remarque : la notion d'infini en optique est assez vague. En réalité, lors d'une expérience d'optique réalisée en TP, un objet situé à quelques mètres du système optique et le Soleil peuvent tous les deux être considérés "à l'infini".

Sur la figure 4, les rayons sont parallèles entre eux mais ne sont pas nécessairement parallèles à l'axe optique ! Le schéma ci-dessous montre les rayons incidents d'un objet à l'infini, non parallèles à l'axe optique.

I.B - Distances et angles en optique

Distance algébriques

En optique, toutes les distances sont **algébriques** : elles peuvent être positives ou négatives, selon le sens dans lequel elles sont comptées. On les note avec une barre au-dessus de leur nom : \overline{OA} , $\overline{OA'}$, \overline{AB} .

- Les distances seront **positives** si elles sont comptées dans le sens de l'axe optique, et du bas vers le haut.
- Elles seront **négatives** si elles sont comptées dans le sens inverse de l'axe optique, et du haut vers le bas.

Sur la figure ci-contre, on peut écrire :

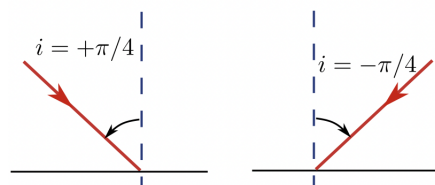
$$\begin{aligned}\overline{AA'} & \dots 0 \\ \overline{A'A} & \dots 0 \\ \overline{AB} & \dots 0 \\ \overline{BA} & \dots 0\end{aligned}$$



Angles orientés

En optique, les angles sont **orientés** : ils peuvent être positifs ou négatifs, selon le sens dans lequel ils tournent.

- Les angles seront **positifs** s'ils tournent dans le sens trigonométrique.
- Ils seront **négatifs** s'ils tournent dans le sens horaire.



En résumé :

I.C - Premier exemple de construction : le miroir plan

Miroir plan

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' .

Pour tracer rapidement l'image d'un objet A par un miroir plan :

- ▷ On trace son symétrique A' par rapport au miroir
- ▷ On sait que tout rayon semblera provenir de A' .

EC1 : 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 .



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.

II - Propriétés des systèmes optiques

II.A - Stigmatisme et conditions de Gauss

Stigmatisme rigoureux

On dit qu'un système optique est **rigoureusement stigmatique** si l'image d'un point est un point. On a alors :

- ▷ Point $A \xrightarrow{\text{syst. opt}} \text{Point } A'$: on peut dire que A et A' sont conjugués.
- ▷ Tout rayon incident passant par A émerge en passant par A' .

Sur la figure 5 sont illustrés des exemples de systèmes non stigmatiques : l'image du point objet A n'est pas ponctuelle, il n'existe pas d'intersection des rayons formant le point image A' .

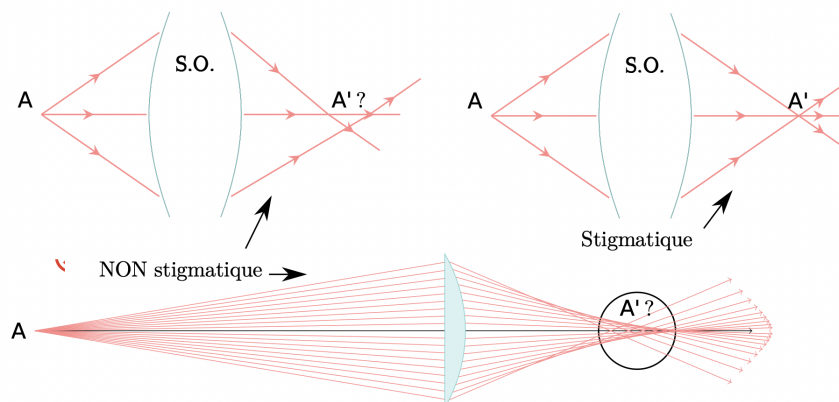


FIGURE 5 – Systèmes optiques stigmatiques et non stigmatiques

Les principales causes du non-stigmatisme des systèmes optiques sont les suivantes :

- ▷ les **aberrations géométriques** : on considère une lumière monochromatique. L'image d'un point n'est alors pas exactement un point, comme sur la figure 5.
- ▷ 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.

Les systèmes optiques réels, excepté le miroir plan, ne sont donc pas rigoureusement stigmatiques. Mais est-il possible de s'en approcher ? La réponse est oui, c'est ce que l'on appelle le stigmatisme approché.

Stigmatisme approché

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

→₁ Si l'on utilise un capteur numérique, alors il faut que la tâche image formée ait une dimension inférieure à celle d'un pixel : sinon, elle apparaît floue, comme illustré sur la figure 6.

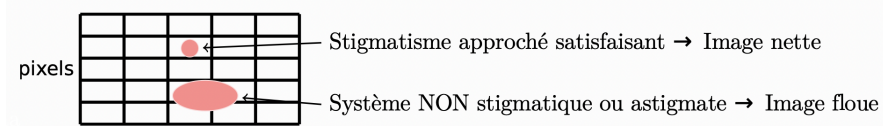


FIGURE 6 – Illustration du stigmatisme approché

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

Conditions de Gauss

Pour un système optique, les **conditions de Gauss** sont vérifiées lorsque :

- ▷ les rayons incidents sont proches de l'axe optique
- ▷ et sont faiblement inclinés par rapport à l'axe optique

On parle aussi de **rayons paraxiaux**. Ces conditions permettent de vérifier :

- ▷ le **stigmatisme approché** ($A \xrightarrow{\text{syst. opt}} A'$)
- ▷ l'**aplanétisme** ($AB \perp$ à l'axe optique $\xrightarrow{\text{syst. opt}}$ $A'B' \perp$ à l'axe optique)

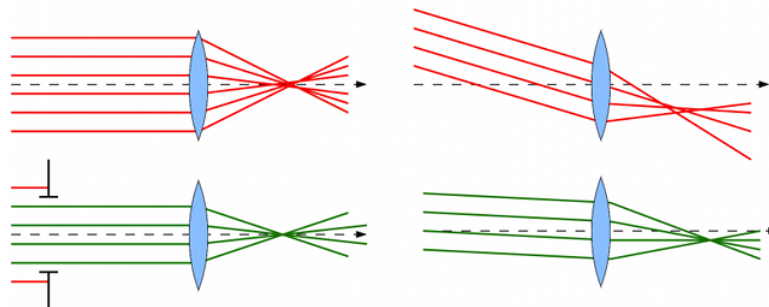


FIGURE 7 – Illustration des conditions de Gauss : en haut, celles-ci ne sont pas vérifiées. En bas, un diaphragme permet de "sélectionner" les rayons proches de l'axe optique pour se placer dans de telles conditions.

II.B - Aplanétisme et grandissement

Aplanétisme

Un système optique est dit **aplanétique** si l'image d'un objet perpendiculaire à l'axe optique est elle aussi perpendiculaire à ce dernier. Les conditions de Gauss permettent de vérifier l'aplanétisme.

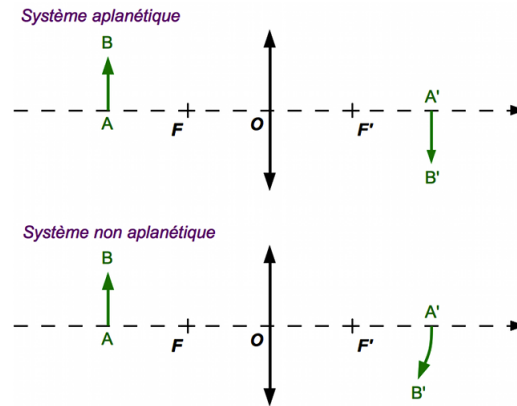


FIGURE 8 – Illustration de l'aplanétisme d'un système optique

Reprenons la figure ci-dessus, dans le cas d'un système aplanétique. Par symétrie, les vecteurs \overrightarrow{AB} et $\overrightarrow{A'B'}$ sont colinéaires. On voit ainsi qu'il est possible de comparer la taille de l'image par rapport à celle de l'objet, et d'avoir des informations sur son sens. On introduit ainsi la notion de grandissement.

Grandissement

On définit le **grandissement** γ comme :

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

où $\overline{A'B'}$ désigne la taille (algébrique) de l'image et \overline{AB} la taille (algébrique) de l'objet.

Ainsi, γ peut donc être **positif ou négatif** :

- ▷ $\gamma > 0$: l'image est **droite**, dans le même sens que l'objet.
- ▷ $\gamma < 0$: l'image est **renversée**, dans le sens opposé à l'objet.

Le grandissement nous donne également une information sur la taille de l'image par rapport à l'objet :

- ▷ $|\gamma| > 1$: $A'B' > AB$ donc l'image est **plus grande** que l'objet.
- ▷ $|\gamma| < 1$: $A'B' < AB$ donc l'image est **plus petite** que l'objet.

EC2 : Grandissement (entraînement 9.12)

III - Lentilles minces

III.A - Modèle de la lentille mince

Les lentilles permettent de dévier les rayons lumineux selon les lois de la réfraction de Snell-Descartes. Le caractère convergent ou divergent des différentes lentilles dépend de la courbure des deux dioptries air-verre composant la lentille.

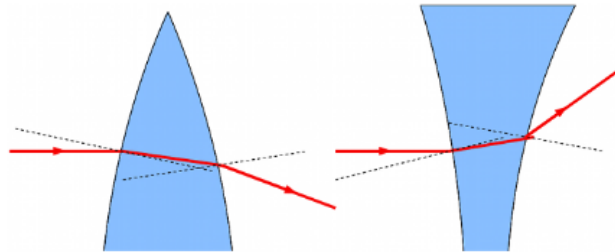


FIGURE 9 – Illustration du trajet d'un rayon lumineux dans une lentille réelle

Ci-dessus, à gauche, une lentille convergente. Les courbures de ses deux faces sont arrondies vers l'extérieur et ses bords sont plus minces que son centre : on dit que ses faces sont **convexes**. Au contraire, à droite, une lentille divergente a ses faces dites **concaves** : leur courbure est orientée vers l'intérieur et ses bords sont plus épais que son centre.

Il existe plusieurs manières de fabriquer des lentilles convergentes et des lentilles divergentes. Pour le premier cas (3 lentilles de gauche ci-dessous), on peut utiliser une lentille plan-convexe, biconvexe ou un ménisque convergent. Pour les lentilles divergentes (3 lentilles de droite ci-dessous), on peut utiliser des lentilles plan-concave, biconcave ou un ménisque divergent.

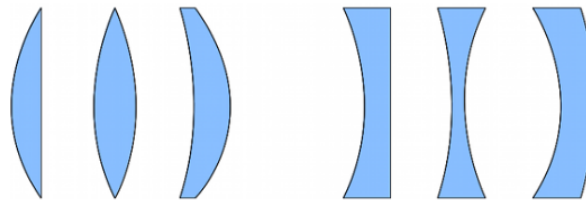


FIGURE 10 – Différentes lentilles

Le modèle de la lentille mince consiste donc à supposer que l'épaisseur e de la lentille sur l'axe optique est faible devant les rayons de courbure de ses faces, ce qui est une bonne approximation. Toutefois, si l'écart n'est pas assez grand, il en résulte des aberrations géométriques, comme illustré sur la figure 5.

Modèle de la lentille mince

Une lentille est dite **mince** si son épaisseur est faible devant le rayon de courbure de ses faces.

De plus, dans les **conditions de Gauss**, elle possède les propriétés suivantes :

- ▷ Un **centre optique** O . Tout rayon passant par O n'est pas dévié.
- ▷ Un **foyer image** F' , qui est le conjugué par la lentille d'un objet à l'infini sur l'axe optique.
- ▷ Un **foyer objet** F , qui est le conjugué par la lentille d'une image à l'infini sur l'axe optique.

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

Distance focale et vergence

On définit la distance focale d'une lentille mince comme la distance

$$f' = \overline{OF'}$$

Réciproquement, la distance focale objet est définie comme

$$f = \overline{OF} = -\overline{OF'} = -f'$$

On définit également sa vergence V , comme

$$V = \frac{1}{f'}$$

exprimée en m^{-1} , ou dioptries (δ) : $1\delta = 1 \text{ m}^{-1}$.

Remarque : comme toujours en optique, ces grandeurs sont algébriques !

• La lentille mince convergente

La modélisation d'une lentille convergente est donnée ci-dessous.

Lentille
biconvexe



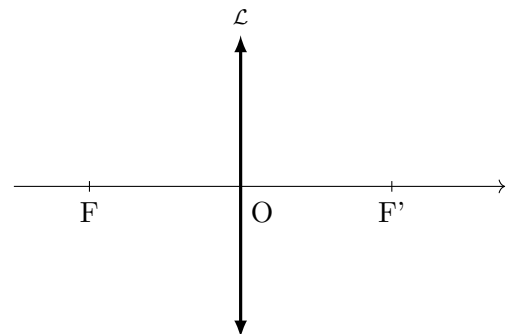
Lentille
plan-convexe



Ménisque
convergent



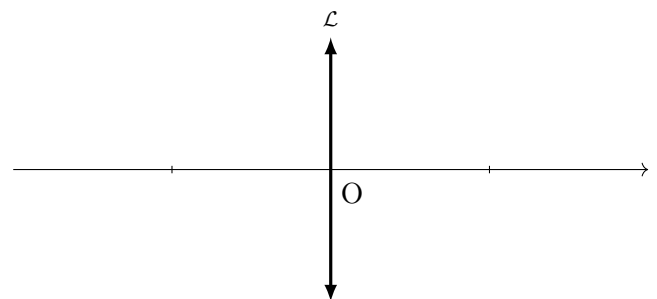
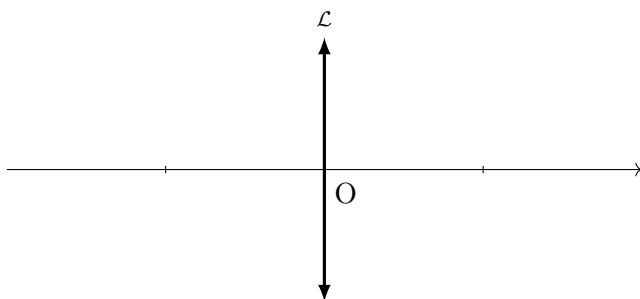
Modélisation



Les propriétés des lentilles convergentes sont les suivantes :

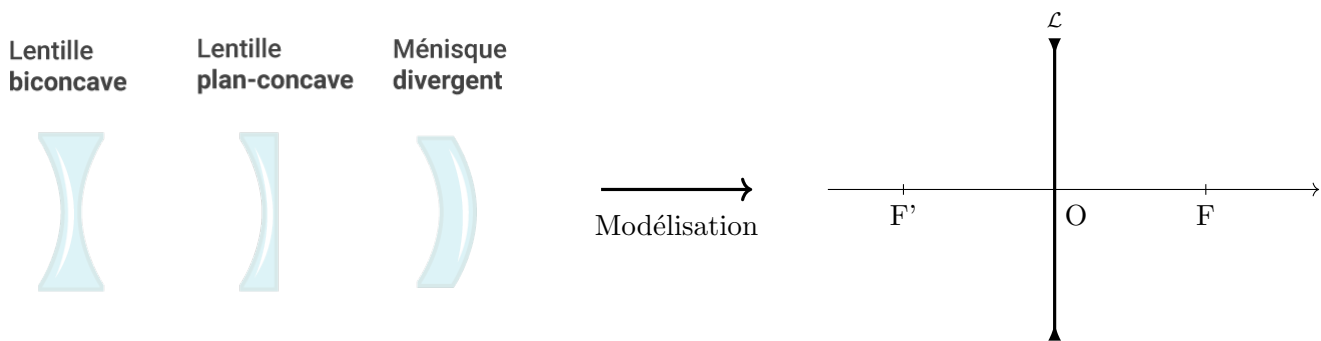
- ▷ La vergence d'une lentille mince convergente est **positive**, ce qui signifie que le foyer image est situé après la lentille ($f' > 0$) et que le foyer objet est situé avant celle-ci ($f < 0$).
- ▷ Des rayons incidents parallèles entre eux et parallèles à l'axe optique émergent en passant par le foyer image F' .
- ▷ Des rayons incidents issus du foyer objet F émergent parallèles entre eux et parallèles à l'axe optique.

Ci-dessous l'illustration de ces propriétés sur des schémas.



• La lentille mince divergente

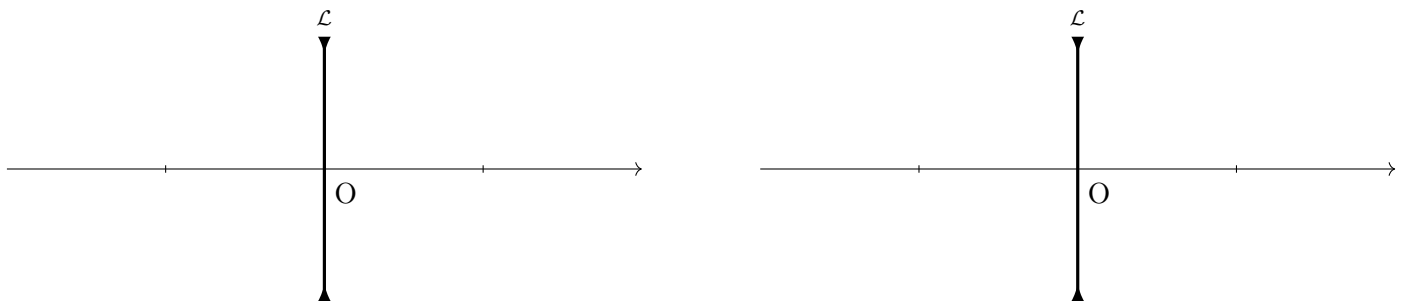
La modélisation d'une lentille divergente est donnée ci-dessous.



Les propriétés des lentilles divergentes sont les suivantes :

- ▷ La vergence d'une lentille mince divergente est **négative**, ce qui signifie que le foyer image est situé avant la lentille ($f' < 0$) et que le foyer objet est situé après celle-ci ($f > 0$).
- ▷ Des rayons incidents parallèles entre eux et parallèles à l'axe optique émergent en semblant provenir du foyer objet F' , c'est-à-dire que le point d'intersection du prolongement de ces rayons provient de F' .
- ▷ Des rayons incidents semblant passer par le foyer objet F , c'est-à-dire que le point d'intersection du prolongement de ces rayons semble passer par F , émergent parallèles entre eux et à l'axe optique.

Ci-dessous l'illustration de ces propriétés sur des schémas.



Entraînement 9.8 : Bataille de convergence

III.B - Méthode de construction d'une image

Le tracé de rayons lumineux, c'est tout un art ! Pour réussir au mieux ces tracés, on appliquera avec soin la méthode suivante.

Méthode : construire l'image géométrique d'un objet donné

- **Cas d'un objet à distance finie**

On trace deux des trois rayons particuliers, à savoir :

- ▷ Celui qui passe par O et qui n'est pas dévié.
- ▷ Celui qui arrive parallèle à l'axe optique et qui émerge (ou semble émerger) en F' .
- ▷ Celui qui passe (ou semble passer) par F et qui émerge parallèle à l'axe optique.

L'image se trouve à l'intersection des deux rayons.

- **Cas d'un 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 (qui n'est pas dévié), et en trouvant son intersection avec le plan de F' .

- **Cas d'un objet dans le plan focal objet**

Un point dans ce plan est appelé "foyer objet secondaire".

- ▷ Il produit, en sortie, un faisceau de rayons parallèles, dont on obtient la direction en traçant le rayon non dévié passant par O .

Remarque : attention à distinguer les rayons "réels" des rayons "virtuels". Si un rayon semble passer par un point, mais n'y passe pas réellement, on trace ce rayon en pointillés.

☛ Voir annexe du chapitre 2

III.C - Relations de conjugaison

Jusqu'ici, nous avons déterminé l'image des objets par des lentilles minces de façon purement graphique, sans faire aucun calcul. Il est toutefois possible de calculer la **position** ainsi que la **taille** de ces images, grâce aux **relations de conjugaison**. Il en existe deux, présentées ci-dessous.

Relation de conjugaison de Descartes

La relation de conjugaison de Descartes exprime la conjugaison à travers une lentille mince en prenant l'origine des distances au **centre optique** de la lentille mince.

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

où $\overline{OA'}$, \overline{OA} et f' désignent respectivement les distances lentille-image, lentille-objet et la distance focale.

EC3 : Manipuler la relation de conjugaison de Descartes

Un objet lumineux est placé au point A , à 15,0 cm devant une lentille mince convergente de centre optique O et de distance focale $f' = 4,0$ cm.

1. Exprimer $\overline{OA'}$ en fonction de \overline{OA} et f'
2. Exprimer \overline{OA} en fonction de $\overline{OA'}$ et f'
3. Exprimer f' en fonction de \overline{OA} et $\overline{OA'}$
4. L'image est-elle située avant ou après le centre optique O ?

Relation de conjugaison de Newton

La relation de conjugaison de Newton exprime la conjugaison à travers une lentille mince en prenant l'origine des distances aux **foyers** de la lentille mince.

$$\overline{F'A'} \times \overline{FA} = -f'^2$$

où $\overline{F'A'}$, \overline{FA} et f' désignent respectivement les distances foyer image - image, foyer objet - objet et la distance focale.

EC4 : Manipuler la relation de conjugaison de Newton

Dans un dispositif optique convergent de distance focale $f' = 12,0$ cm, on souhaite qu'une image réelle se trouve exactement à 5,0 mm après le foyer image. On cherche la position où l'on doit placer l'objet, dans un premier temps par rapport au foyer objet F , puis par rapport au centre optique O .

1. Exprimer \overline{FA} en fonction de $\overline{F'A'}$ et f'
2. Exprimer \overline{OA} en fonction de $\overline{F'A'}$ et f'
3. Cet objet est-il réel ou virtuel ?

Ces deux relations permettent donc de trouver la position de l'image (ou inversement la position de l'objet) sur l'axe. Pour avoir des informations sur la taille de l'image, il faut ajouter à cela la relation du grandissement vue précédemment.

Grandissement

On définit le grandissement comme :

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

On a également, grâce au théorème de Thalès (cf entraînement 9.2) :

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

III.D - Condition de formation d'une image réelle par une lentille convergente

IV - Instruments d'optique

IV.A - L'oeil

• Anatomie et modélisation de l'oeil

Un schéma anatomique de l'oeil humain est représenté ci-dessous. La lumière entre dans l'oeil par la cornée, qui est une pellicule protectrice transparente. Elle traverse ensuite l'humeur aqueuse, liquide peu visqueux servant à fixer la pression mécanique s'exerçant sur la face avant du cristallin. La pupille diaphragme cette lumière, qui arrive ensuite sur le cristallin. Le cristallin est un petit disque fibreux, transparent et flexible qui permet de focaliser l'image sur la rétine. La rétine est la tunique sensible de l'oeil. Elle est formée de cellules sensorielles, les cônes (vision diurne) et les bâtonnets (vision nocturne), et de cellules nerveuses, les neurones. Tous les neurones se regroupent au niveau du nerf optique, qui transmet l'information nerveuse au cerveau.

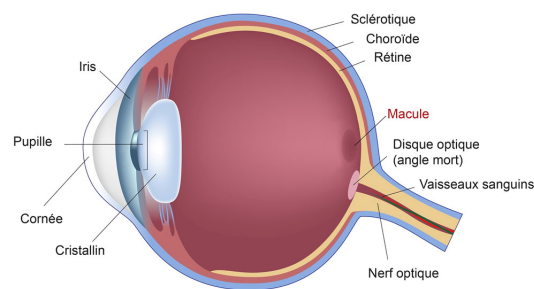


FIGURE 11 – Anatomie de l'oeil

De manière plus schématique, nous pouvons réduire l'oeil à ses éléments les plus importants :

- ▷ L'**iris** et la **pupille**, qui permettent de contrôler la quantité de lumière qui pénètre dans l'oeil.
- ▷ Le **cristallin**, qui se déforme pour conjuguer l'objet et la rétine où doit se former l'image.
- ▷ La **rétine**, qui joue le rôle d'écran.

Nous allons donc modéliser l'oeil grâce aux trois éléments cités ci-dessus.

Modélisation de l'oeil

L'oeil est modélisé comme l'association :

- ▷ d'un **diaphragme** (l'iris) qui permet de contrôler la quantité de lumière entrante dans l'oeil
- ▷ d'une **lentille mince convergente** (le cristallin) de **vergence variable**
- ▷ d'un **écran** (la rétine) où se forme l'image, la distance lentille-écran étant fixe.

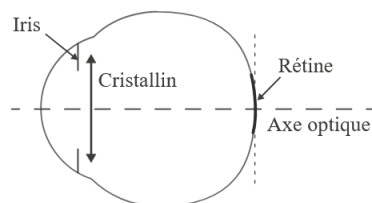


FIGURE 12 – Modélisation simplifiée de l'oeil

● Plage d'accomodation

Comme nous l'avons dit précédemment, la distance cristallin-rétine étant fixe, c'est le cristallin, assimilé à une lentille mince convergente, qui doit se déformer pour conjuguer l'objet et la rétine. On dit alors que l'oeil **accomode**. On définit alors deux points importants pour définir la plage d'accomodation de l'oeil.

Plage d'acomodation

La **plage d'acomodation** de l'oeil est la distance entre :

- ▷ le point le plus proche de l'oeil que l'on peut voir nettement, appelé **punctum proximum**, normalement situé à 20-25cm devant l'oeil.
- ▷ et le point le plus éloigné de l'oeil que l'on peut voir nettement, appelé **punctum remotum**, normalement situé à l'infini.

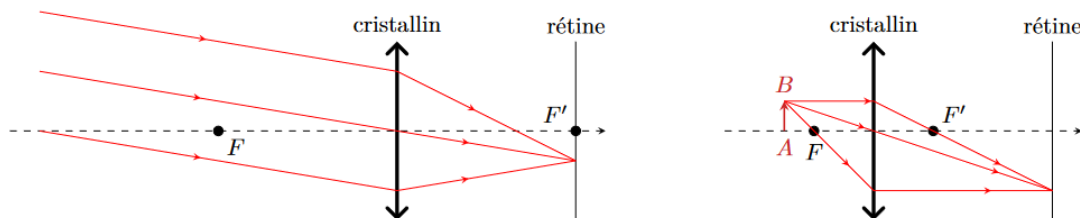


FIGURE 13 – Illustration de l'accomodation : le cristallin se déforme pour assurer la conjugaison de l'objet avec la rétine.

Si maintenant on essaie d'observer des objets plus proches que le punctum proximum, le cristallin va se déformer plus qu'à l'accoutumée et cela va entraîner une forte fatigue de l'oeil. C'est pour cela qu'on conseille généralement de ne pas observer trop longtemps des objets trop proches (typiquement à moins de 20 cm de l'oeil). C'est ce qui conduit ensuite à des problèmes oculaires avec l'âge : le cristallin vieillit d'autant plus rapidement qu'on le sollicite.

● Défauts de vision (complément hors-programme)

Nous avons vu les caractéristiques d'un oeil **emmétrope**, c'est-à-dire un oeil pour lequel le punctum remotum est rejeté à l'infini et pour lequel le punctum proximum se situe à environ 20 cm devant l'oeil. Mais qu'en est-il des défauts de vision qui obligent à porter des lentilles ou des lunettes ?

a) La myopie

Le cristallin d'un oeil myope est trop convergent, ce qui signifie que le plan focal image du cristallin au repos est situé avant la rétine. Le punctum remotum n'est donc pas à l'infini, comme schématisé sur la figure ci-dessous, les yeux myopes sont donc susceptibles de voir net de près, mais d'avoir une vision lointaine floue.

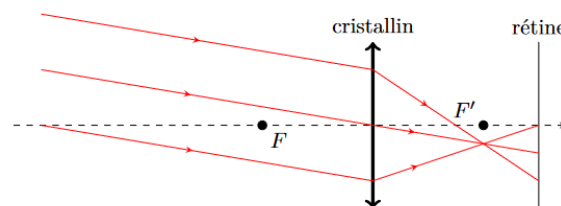


FIGURE 14 – Illustration de la myopie : le cristallin est trop convergent, l'image se forme avant la rétine

Il faut donc rendre l'oeil moins convergent : pour corriger la myopie, on utilise des lentilles divergentes dont la **correction** est exprimée avec une vergence (en δ) négative.

b) L'hypermétropie

Un oeil hypermétrope est en quelque sorte l'inverse d'un oeil myope : cette fois, le cristallin n'est pas assez convergent, et son plan focal image au repos est situé après la rétine. Par conséquent, le punctum proximum d'un oeil hypermétrope est plus éloigné de l'oeil que celui d'un oeil emmétrope, et un oeil hypermétrope doit accommoder pour voir un objet à l'infini, voir la figure ci-dessous. Un oeil hypermétrope est donc susceptible d'avoir une vision lointaine nette, mais une vision proche floue.

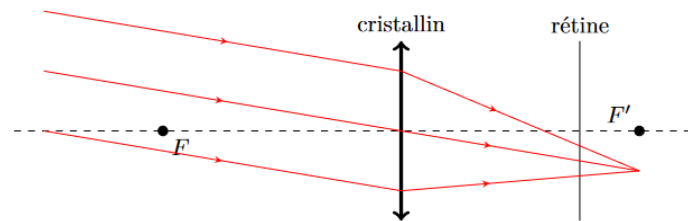


FIGURE 15 – Illustration de l'hypermétropie : le cristallin n'est pas assez convergent, l'image se forme après la rétine

Cela entraîne une fatigue visuelle pouvant être importante et nécessiter une correction. Comme l'oeil doit être rendu plus convergent, les verres de lunettes sont des lentilles convergentes, dont la correction est exprimée par une vergence positive.

c) L'astigmatie

Un oeil astigmatique a un cristallin qui n'est pas parfaitement sphérique, mais qui présente plutôt une forme de ballon de rugby. Le cristallin n'est alors plus stigmatique et l'image formée sur la rétine, peu importe la distance de l'objet, est entachée d'aberrations géométriques liées à ce défaut de symétrie sphérique.

d) La presbytie

La presbytie correspond à une évolution naturelle des yeux. Celle-ci se manifeste typiquement vers l'âge de 40-45 ans et est liée à la fatigue du cristallin : celui-ci a alors plus de mal à se déformer pour accommoder, le punctum proximum est plus éloigné que pour un oeil emmétrope, et cela entraîne des difficultés de vision proche.

● Pouvoir séparateur de l'oeil (ou limite de résolution angulaire)

Pouvoir séparateur de l'oeil

Le **pouvoir séparateur** de l'oeil décrit sa capacité à pouvoir distinguer deux points très proches. Il est défini comme l'angle que doivent former deux rayons proches pour pouvoir être interprétés comme deux points différents.

L'ordre de grandeur est d'1 minute d'arc (soit $1/60^\circ$ de degré), ou 3×10^{-4} rad.

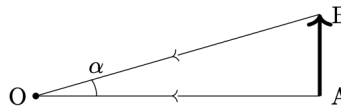
Sur le schéma ci-dessous, les points situés dans la zone rouge ne sont pas discernables par l'oeil : pour lui, il s'agit d'un seul et même point. L'image de deux points à l'intérieur de cette zone se forment sur la même cellule rétinienne, le cerveau n'est donc pas capable d'interpréter l'information comme issue de deux points distincts.



FIGURE 16 – Illustration du pouvoir de résolution de l'oeil

EC5 : Diamètre apparent

On considère le schéma suivant, montrant l'angle α , appelé diamètre apparent, sous lequel est vu un objet AB depuis un point O .



1. Exprimer le diamètre apparent α , en radians, en fonction de OA et AB

Un observateur situé à la surface de la Terre observe des astres, caractérisés par les données suivantes :

	Mars	Lune
Diamètre	6800 km	3500 km
Distance à la Terre	$5,6 \cdot 10^7$ km	384 400 km

Pour simplifier les calculs, on pourra utiliser que, quand α est un angle petit et exprimé en radians, on dispose de l'approximation des petits angles : $\alpha \approx \tan(\alpha)$.

2. Calculer le diamètre apparent de la Lune α_L , en radians. Peut-on apercevoir la surface de la Lune à l'oeil nu ?
3. Calculer le diamètre apparent de la Lune α_M , en radians. Peut-on apercevoir la surface de Mars à l'oeil nu ?

IV.B - Principe de l'association de lentilles : exemple de la lunette astronomique

• Principe général

La plupart des instruments d'optique sont constitués de l'association de plusieurs lentilles successives. Dans les cas de deux lentilles successives, l'image A_1B_1 donnée par la première lentille sert d'objet pour la seconde, qui forme ainsi une image définitive $A'B'$. On peut schématiser ceci de la manière suivante :

$$AB \xrightarrow{\mathcal{L}_1} A_1B_1 \xrightarrow{\mathcal{L}_2} A'B'$$

On peut montrer dans le cas de deux lentilles successives que le grandissement total est le produit des grandissements des deux lentilles :

$$\gamma = \gamma_1 \times \gamma_2$$

Ce fonctionnement se généralise évidemment à trois lentilles ou plus.

• Constitution et réglage d'un instrument d'optique à 2 lentilles

Les instruments d'optique dans lesquels l'oeil observe directement sont constitués :

- ▷ d'un **objectif** (du côté de l'objet), que l'on peut modéliser comme une lentille convergente de grande focale, et dont le rôle est de donner une image intermédiaire agrandie de l'objet.
- ▷ d'un **oculaire** (du côté de l'oeil), modélisé comme une lentille convergente de courte focale, et qui permet de donner de l'image intermédiaire formée par l'objectif une image finale virtuelle et si possible renvoyée à l'infini, pour éviter que l'oeil n'accomode.

Déterminer l'image finale donnée par deux lentilles

- Construire grâce aux méthodes précédentes (vues dans la partie III.B) l'image intermédiaire A_1B_1 fournie par la première lentille.
- Cette image sert ensuite d'objet pour la seconde lentille. On construit ensuite l'image définitive en utilisant toujours les méthodes présentées précédemment.

Exemples d'instruments d'optique :

- ▷ La loupe : il s'agit d'une simple lentille convergente, pour laquelle on place l'objet entre son centre et son foyer objet. Un oeil placé de l'autre côté observe donc une image virtuelle, droite et agrandie. L'idéal est de placer l'objet au foyer objet de la loupe : l'image est alors rejetée à l'infini. (voir exercice n°5 du TD).
- ▷ La lunette astronomique, présentée ci-dessous, utilisée pour observer des objets lointains.
- ▷ Le microscope, qui sera étudié plus en détails dans l'exercice n°6 du TD.
- ▷ L'appareil photographique, voir *Activité documentaire*.

● Exemple de la lunette astronomique

EC6 : Lunette astronomique

On souhaite observer Mars au travers d'une lunette astronomique composée d'un objectif et d'un oculaire. Ces deux systèmes optiques complexes peuvent être modélisés par deux lentilles convergentes, la première (l'objectif) de focale 1,0 m et la seconde (l'oculaire) de focale 2,5 cm.

La particularité d'une lunette est qu'il s'agit d'un instrument **afocal** : l'image d'un objet à l'infini (comme Mars) est également située à l'infini. L'avantage est que cette image envoyée à l'infini est facilement observée par l'œil, car il s'agit de la position où il est au repos (il n'a pas à accommoder).

1. Compléter la marche des rayons sur la figure. On s'arrêtera à l'oculaire
2. Pour que la lunette soit afocale, avec quel point le foyer objet F_{oc} de l'oculaire doit-il coïncider ?
3. Tracer alors la suite des rayons, après l'oculaire. L'image finale est-elle droite ou renversée ?

La lunette est caractérisée par son grossissement angulaire $G = \alpha_0/\alpha$, où α est le diamètre apparent de la planète (cf EC3) et α_0 l'angle sous lequel elle est vue en sortie de la lunette.

4. Sur la figure, identifier les angles α et α' . Quel est le signe du grossissement ?
5. Exprimer G en fonction de f'_{obj} et f'_{oc} .
6. Sous quel angle Mars est-elle perçue à travers la lunette ? Est-il cette fois possible de distinguer sa surface ?

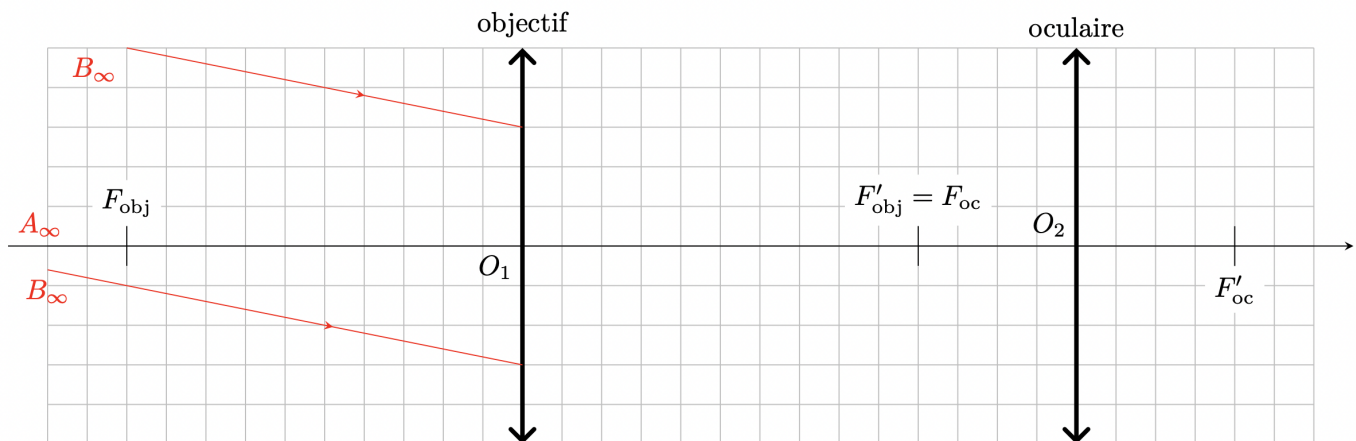


FIGURE 17 – Schéma d'une lunette astronomique à compléter

IV.C - L'appareil photographique

↪ Voir activité documentaire correspondante.