

OPTIQUE GEOMETRIQUE

Définitions :

L'optique est la science qui décrit les propriétés de la propagation de la lumière.

La lumière est un concept extrêmement compliqué et dont la réalité physique n'est pas encore bien comprise. On peut néanmoins approcher cette réalité à l'aide de deux modèles.

Une des définitions possible de la lumière est la suivante : la lumière est un transport d'information d'un lieu à un autre. Les deux modèles dont il a été question plus haut sont les moyens de transport de l'information. Il s'agit d'un échange d'une particule transportant de l'énergie d'une part (nature corpusculaire de la lumière), et de la propagation d'une onde d'autre part (nature ondulatoire de la lumière). Ces deux modèles « collent » bien à la réalité, et l'on utilisera l'un comme l'autre selon le type de problème rencontré. Par exemple, on parlera d'onde pour étudier les interférences, et de corpuscules dans l'effet photoélectrique.

Nous nous intéresserons ici à une version simplifiée du modèle corpusculaire pour décrire l'optique géométrique.

La vitesse de la lumière ou célérité (c) :

La lumière se déplace dans le vide à une vitesse finie égale à 299 792 458 m/s.

Rien ne peut se déplacer à une vitesse plus grande. *c est une constante fondamentale de la physique.*

Dans un milieu matériel (autre que le vide), la lumière se déplace à une vitesse inférieure à c. Le rapport de la vitesse de la lumière dans le vide (c) à celle dans le milieu considéré (c_m) s'appelle *l'indice de réfraction* du milieu (n).

$$n = \frac{c}{c_m}$$

Quelques exemples d'indices de réfraction :	vide	n = 1
	air	n = 1,00029
	eau	n = 1,333
	verre	n = 1,5
	diamant	n = 2,41

Lors d'un changement de milieu, la vitesse de la lumière change, et sa direction également, conformément au principe de Fermat (voir plus loin).

Le milieu est présumé homogène. Dans le cas contraire, n varie avec la position du point considéré. Par exemple, la couche d'air au dessus de nos têtes n'est pas identique en tous points. Sa température varie, ce qui fait varier n, la vitesse de la lumière et sa direction de propagation. Ce phénomène s'appelle la turbulence atmosphérique. Dans d'autres cas, la variation de l'indice de réfraction est utilisée pour combattre certaines aberrations optiques.

L'indice de réfraction varie également avec la longueur d'onde de la lumière. Ce phénomène sera responsable de la dispersion de la lumière dans un prisme.

Modèle géométrique :

Le modèle présumant l'existence de particules de lumière (nature corpusculaire de la lumière), encore appelé modèle du *rayon lumineux*, est issu des observations courantes. Il décrit simplement les lois de la réfraction et de la réflexion.

Le principe de Fermat est à la base de ce modèle. Toute l'optique géométrique est bâtie autour de lui :

Le trajet suivi par un rayon lumineux entre deux points A et B est tel que le temps de parcours entre ces deux points est minimum.

La première application de ce principe est la propagation rectiligne de la lumière :

Dans un milieu homogène, la lumière se déplace à une vitesse constante de A vers B. Le plus court chemin entre deux points étant la ligne droite (en géométrie euclidienne classique), un rayon lumineux se déplace en ligne droite.

Les éclipses de Soleil sont une bonne illustration de la propagation rectiligne de la lumière.

De plus, le parcours de la lumière entre B et A est également une ligne droite. C'est le principe du retour inverse de la lumière.

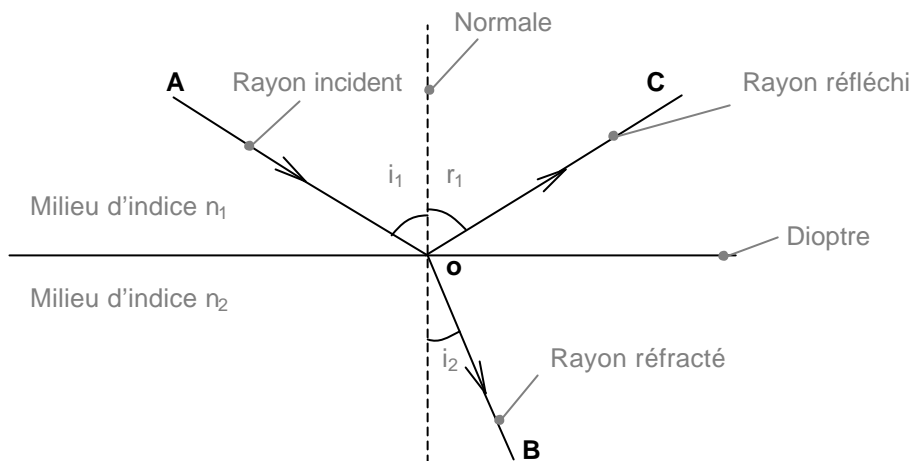
Les *faisceaux lumineux* sont un ensemble de rayons lumineux. On trouve :

- Les faisceaux parallèles : tous les rayons sont parallèles
- Les faisceaux divergents : les rayons sont issus d'un même point
- Les faisceaux convergents : les rayons se dirigent vers un même point

Les lois de Snell-Descartes:

Lorsqu'un rayon lumineux rencontre une surface de séparation de deux milieux d'indice de réfraction différent, une partie de la lumière est réfléchi, l'autre est transmise dans le deuxième milieu (réfractée) avec une direction différente.

Ces lois décrivent la direction des rayons lumineux lorsque la lumière rencontre brusquement un milieu différent. Dans le cas du passage de l'indice n_1 à l'indice n_2 avec $n_1 < n_2$:



Première loi de Descartes : les rayons incidents, réfléchi, réfracté et la normale sont dans un même plan.

Deuxième loi de Descartes : dans le cas de la réflexion (AOC), les angles i_1 et r_1 sont égaux.

Troisième loi de Descartes : dans le cas de la réfraction (AOB) : $n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$

Ces deux dernières lois sont la conséquence directe du principe de Fermat, qui tend à minimiser le temps de parcours des rayons lumineux.

Dans le cas où le milieu d'indice n_1 est l'air ($n_1 = 1$), l'indice de réfraction n_2 du deuxième milieu est le rapport des sinus des angles i_1 et i_2 .

A noter que dans le milieu n_2 se produit une absorption s'il n'est pas parfaitement transparent (réfraction) ou réfléchissant (réflexion).

Dans le cas d'un miroir, il n'y a pas de transmission. Le rayon est réfléchi.

Dans le cas d'un dioptre en verre (lentille, prisme ...), environ 4% de la lumière est réfléchie, le reste est diffracté.

Objets et images :

Source : objet d'où sont émis des rayons lumineux.

Objet ponctuel ou *source ponctuelle* : source sans dimension ou assimilable, comme par exemple une étoile. Bien que de taille non nulle, l'éloignement d'une étoile la fait considérer comme ponctuelle.

Objet ou *source étendue* : la plupart des sources sont de taille non nulle. Les rayons sont émis à partir des différents points de la source. Le Soleil est une source étendue. Ses rayons partent de tous ses points et sont responsables des phénomènes de pénombre.

Un *objet réel* est une source, ponctuelle ou étendue, d'où partent des rayons divergents.

Une *image réelle* est la région de l'espace où convergent les rayons lumineux en provenance d'une source, après être passé dans un système optique. Une image réelle peut être projetée sur un écran

Un *objet virtuel* ou une *image virtuelle* sont des régions de l'espace correspondant au prolongements fictifs de rayons lumineux. L'objet virtuel sera en aval du système optique, l'image virtuelle en amont. Une image virtuelle ne peut pas être projetée sur un écran.

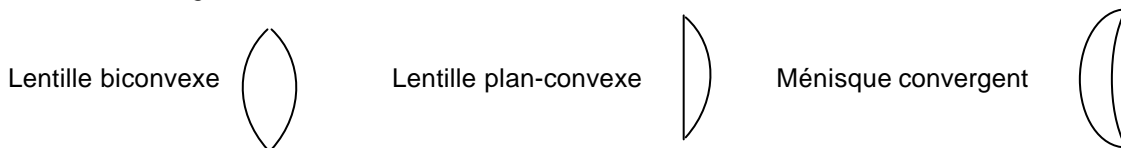
Construction des images :

L'image d'un objet ponctuel fournie par un système optique est construite géométriquement en choisissant au moins deux rayons lumineux caractéristiques. Il faut deux rayons lumineux par point d'un objet étendu pour construire son image.

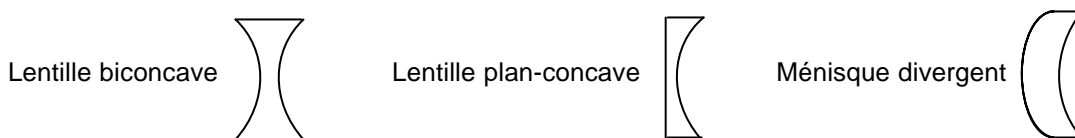
Les lentilles :

Les lentilles sont des systèmes transparents associant deux dioptres sphériques ou plans.

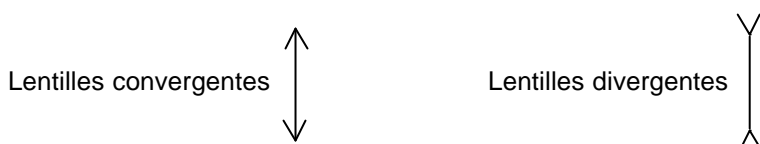
Lentilles convergentes :



Lentilles divergentes :

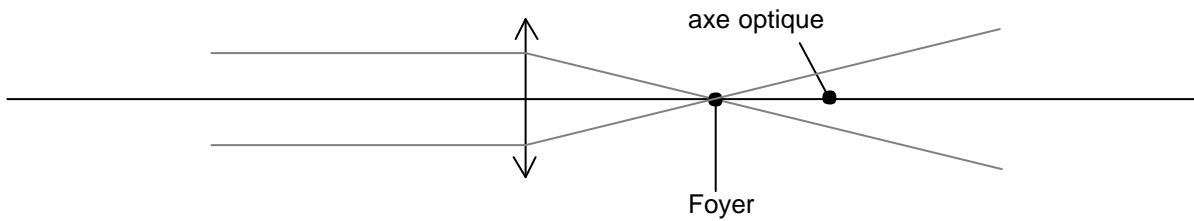


Pour simplifier, on assimile les lentilles réelles, épaisses, à des lentilles dites minces, dans lesquelles leur épaisseur peut être raisonnablement négligée. Les notations sont les suivantes :

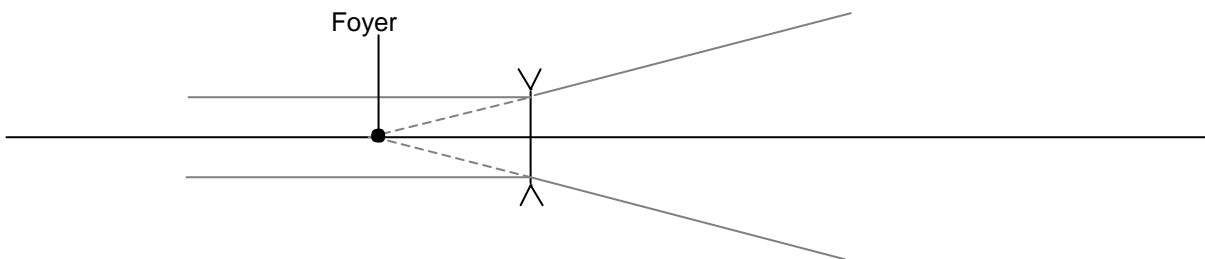


Construction des images :

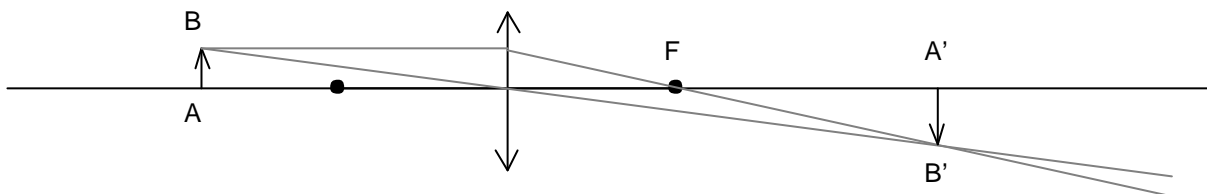
Tout faisceau parallèle (venant de l'infini) à l'axe optique d'une lentille convergente, converge en un point appelé Foyer (F). De même, toute image vue au foyer d'une lentille semble venir de l'infini (retour inverse de la lumière). La position du foyer est déterminé par la géométrie de la lentille et l'indice de réfraction de sa matière. Tout rayon passant par le centre optique de la lentille n'est pas dévié.



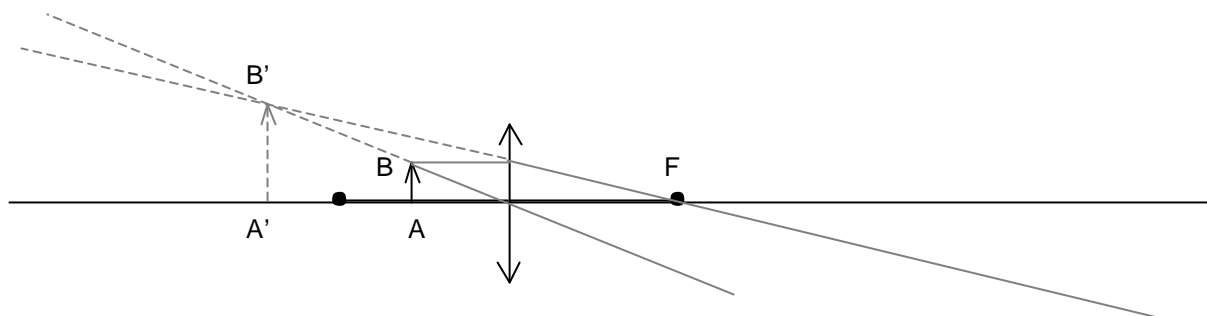
Tout faisceau parallèle à l'axe optique d'une lentille divergente semble provenir d'un point appelé foyer (F)



Construction d'une image d'un objet étendu non situé à l'infini



L'image A'B' de AB est réelle, inversée, plus grande ou plus petite
Le *grandissement* est le rapport de A'B' sur AB.

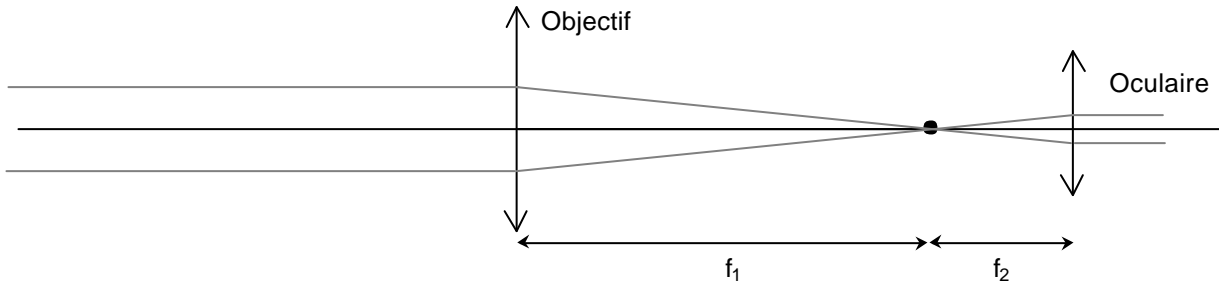


L'image A'B' de AB est virtuelle, non inversée, et agrandie

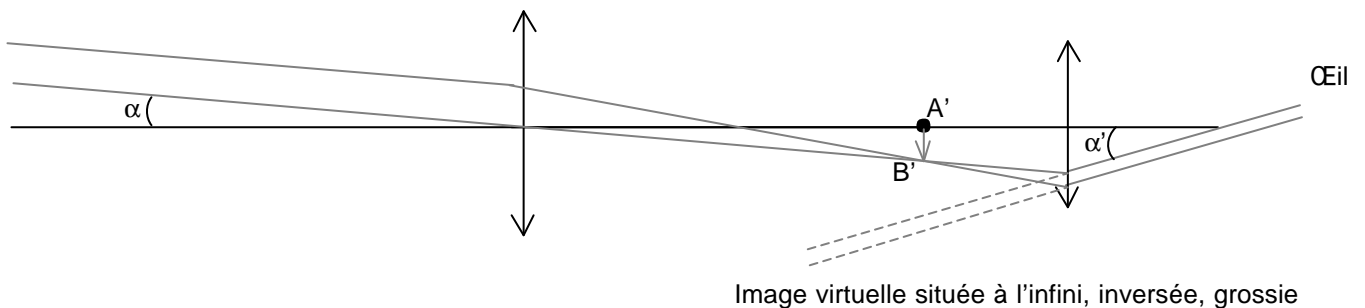
La lunette astronomique :

Une lunette est composée d'une lentille convergente de longue focale (l'objectif), donnant d'un objet situé à l'infini, une image réelle dans le plan focal. Cette image est placée dans le plan focal objet d'un oculaire (lentille divergente de courte focale), duquel sort un faisceau parallèle utilisé par l'œil pour fournir une image réelle sur la rétine. On parle d'une lunette afocale.

Construction pour un objet ponctuel à l'infini :



Pour un objet étendu situé à l'infini :

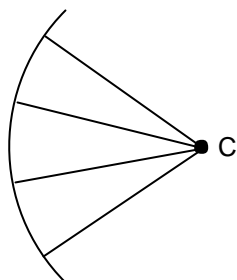


Ici, le grossissement (rapport de taille d'image et d'objet) n'a pas de sens. On parle de *grossissement*. C'est le rapport des diamètres apparents de l'image et de l'objet. $G = \alpha'/\alpha$. Un calcul simple montre que c'est aussi le rapport de la focale de l'objectif sur celle de l'oculaire.

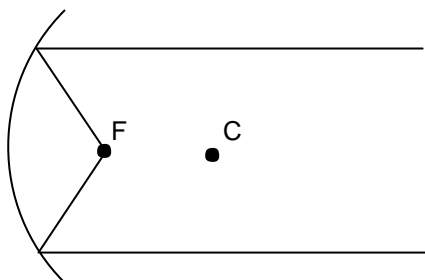
$$G = f_1 / f_2$$

Le miroir sphérique :

Un miroir sphérique est une portion de sphère recouverte d'un matériau réfléchissant. Il peut être concave ou convexe.



Les rayons venant du centre de courbure (C) du miroir y retournent après réflexion.



Un faisceau de rayons parallèles tombant sur un miroir convergent, convergent vers un point appelé foyer. Mais cette affirmation est approximative.

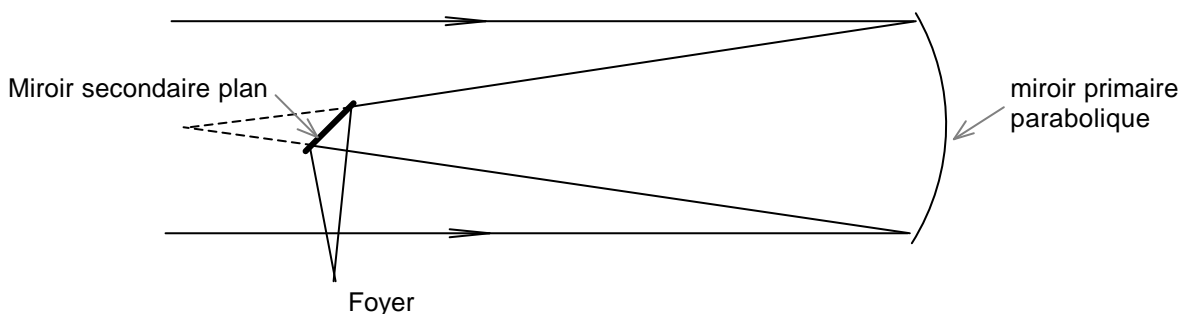
Le miroir parabolique :

Le faisceau de rayons parallèles du miroir sphérique ne converge pas exactement. Les rayons réfléchis au bord du miroir convergent en réalité plus près du miroir que ceux qui sont réfléchis vers le centre. Ce phénomène, appelé aberration longitudinale, est corrigé en rabattant légèrement les bords du miroir en lui donnant une forme parabolique. Alors seulement les rayons parallèles, provenant d'une source ponctuelle située à l'infini, convergent vers un point unique appelé foyer.

Des rayons provenant du centre de courbure d'un miroir parabolique ne convergent pas en un point unique, mais sur une zone correspondant à l'aberration longitudinale. Cette zone, qui peut être calculée, est mise à profit pour la mesure précise de la parabolisation des miroirs (voir l'exposé de F. Defrenne sur la taille des miroirs).

Le télescope Newton :

Dans cette configuration, le faisceau parallèle arrive sur un miroir parabolique qui va former une image nette d'une source ponctuelle située à l'infini. Avant de converger au foyer, les rayons sont déviés en dehors du tube par un miroir plan, pour pouvoir observer l'image donnée à l'aide d'un oculaire.



Le télescope Schmidt-Cassegrain :

Le miroir primaire est sphérique, et l'aberration longitudinale est corrigée par une lame de fermeture de forme appropriée. Ce miroir est percé en son centre pour laisser passer la lumière réfléchi par le miroir secondaire convexe, qui a pour autre fonction d'agrandir l'image.

