

Chapitre 2 : Application de l'optique géométrique à la formation des images

Rapport de Jury centrale 2019 : Les schéma en optique manquent souvent de clarté, les rayons lumineux doivent être tracés à la règle et orientés

Rapport de Jury CCPINP 2012: Les conditions de Gauss de l'optique géométrique ne sont souvent pas énoncées complètement. Le vocable « para-axial » n'est pas suffisamment explicite ; beaucoup de copies mentionnent les conséquences (aplanétisme, stigmatisme, etc.) et non les conditions

I étude de systèmes optiques simples : miroir plan et lentille mince

I.1 Vocabulaire utile, notations



a) **Miroir plan** : surface réfléchissante plane.

Schématisation :



Les barres sont du côté du miroir inaccessible aux rayons lumineux

b) **Lentilles** : Une lentille est un composant optique constitué par un milieu transparent, homogène et isotrope, délimité par deux dioptries.

On distingue deux types de lentilles :

Lentilles à bords minces		
biconvexe	plan convexe	ménisque convergent

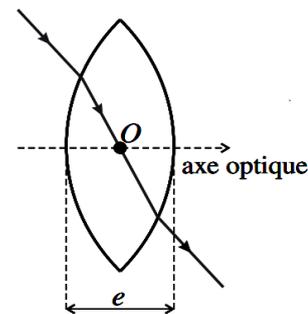
Lentilles convergentes (bords minces)

Lentilles à bords épais		
biconcave	plan concave	ménisque divergent

Lentilles divergentes (bords épais)

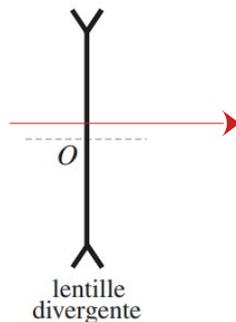
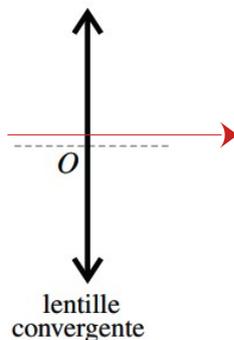
c) **Centre optique O** : On appelle centre optique O le point de la lentille situé sur l'axe optique tel que tout rayon passant par O n'est pas dévié.

d) **lentilles minces** : Une lentille mince est une lentille dont l'épaisseur e sur l'axe est petite comparée aux rayons de courbures de ses faces. Dans ce cas, on néglige complètement cette épaisseur et on représente les lentilles par un trait sur lequel on fait seulement figurer le centre optique O.



Schématisation d'une lentille mince :

Ne pas confondre lentille « mince » et lentille « à bords mince »



Rmq 1 : L'axe optique de la lentille est orienté par convention de gauche à droite

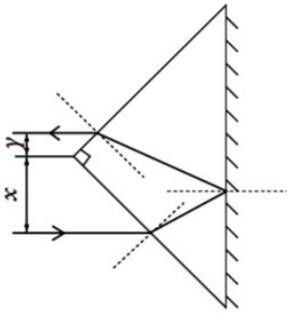
Rmq 2 : on peut négliger le déplacement du rayon dans la lentille. Le rayon sort de la lentille au point d'incidence

e) **Diaphragme** : système mécanique qui permet d'arrêter une partie des rayons lumineux.

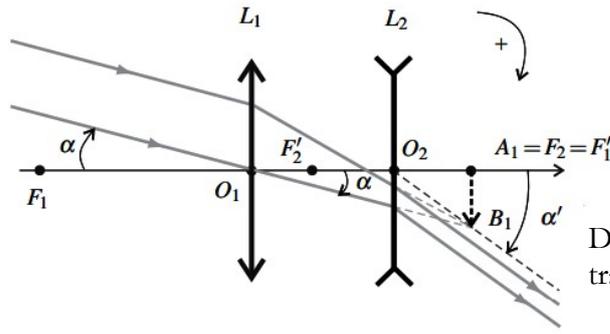
f) **système optique** :

Un système optique (SO) est un ensemble de composants transparents ou réfléchissant (miroirs , dioptries, lentilles) admettant de la lumière par une face d'entrée et la faisant ressortir par une face de sortie.

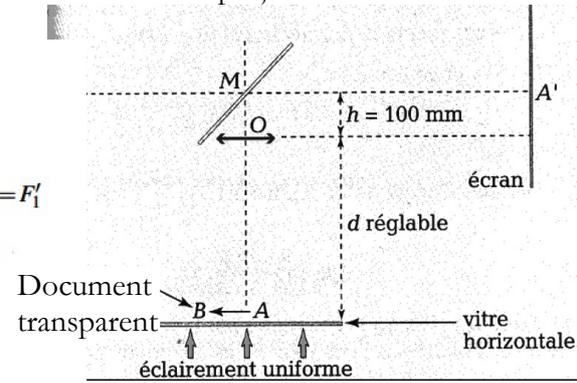
Prisme sur un miroir



Lunette terrestre



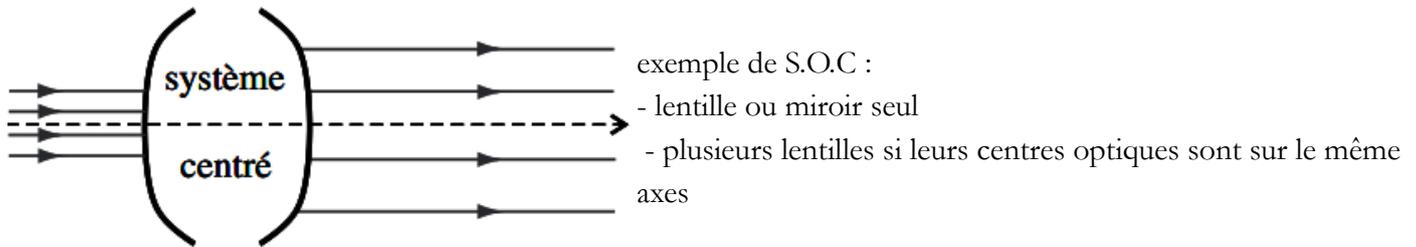
Rétroprojecteur



Rmq 3 : un seul miroir où une seule lentille est un système optique

g) Système optique centré :

Un système optique centré est un système optique dont les éléments constitutifs (dioptries, miroirs) ont un axe de symétrie commun. Cet axe est appelé **axe optique**. Il est orienté dans le sens de propagation de la lumière incidente. Nous n'étudierons que des S.O.C dans la suite du cours.



I.2 Étude des miroirs plans

Comme chacun sait, on « se voit » dans un miroir. L'optique géométrique explique cette constatation en termes de rayons lumineux.

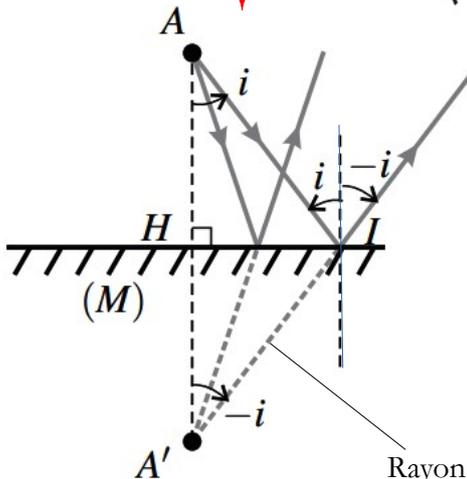
a) Image par un miroir plan d'un point objet réel

Voc Un point objet réel est un point d'où partent les rayons lumineux qui arrivent sur un système optique.

On considère un point objet réel A situé devant un miroir plan. Un observateur reçoit les rayons lumineux issus de A après réflexion par (M).

La loi de la réflexion impose que ces rayons semblent provenir du point image A' symétrique de A par rapport au plan de (M) (voir figure ci-dessous) .

Schéma à connaître



(Voc) rayon virtuel

Soit un point objet A. Son image A' est dite **point image virtuelle A'** si tous les rayons provenant de A **semblent** provenir de A' (A' s'obtient en prolongant les rayons **sortants** avec des pointillés)

Rmq 4 importante : sur les schémas on trace **en pointillé** les rayons lumineux « virtuels » qui semblent provenir d'un objet virtuel ou d'une image virtuelle.

Rayon « virtuel » veut dire qu'on a l'impression que les rayons lumineux (réel) empruntent le trajet alors que ce n'est pas réellement le cas.

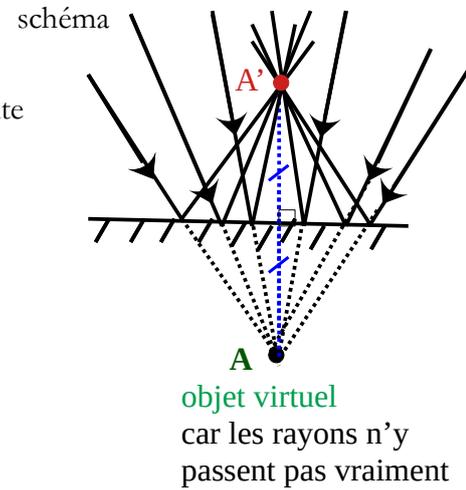
Les rayons virtuels sont dans le prolongement des rayons réels

Rayon lumineux virtuel

b) Image par un miroir plan d'un point objet virtuel



On peut obtenir un **objet virtuel** en plaçant avant le miroir une lentille convergente. Si l'objet est virtuel, son **image A'** à travers le miroir est **réelle** car les rayons se croisent réellement en A'

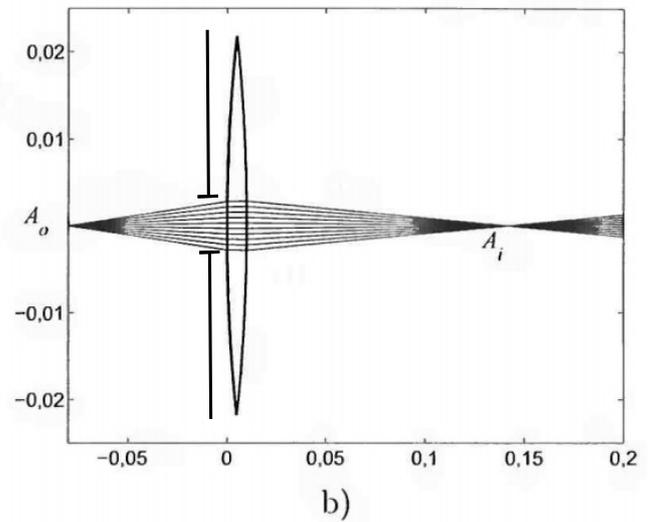
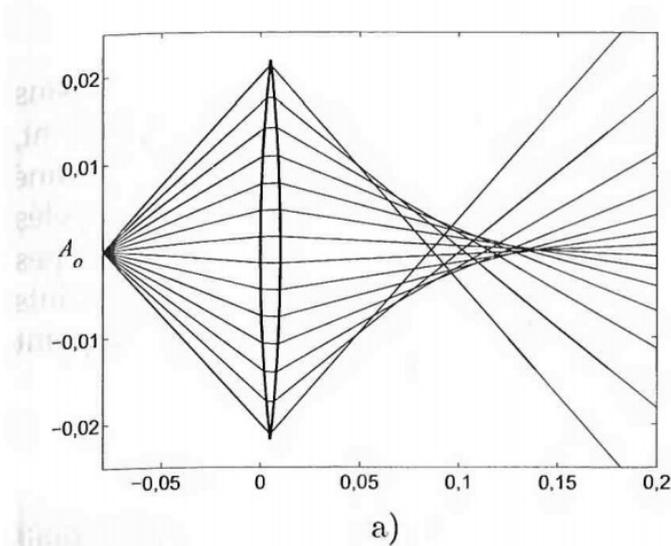


Voc objet : Un objet est un ensemble de points images .

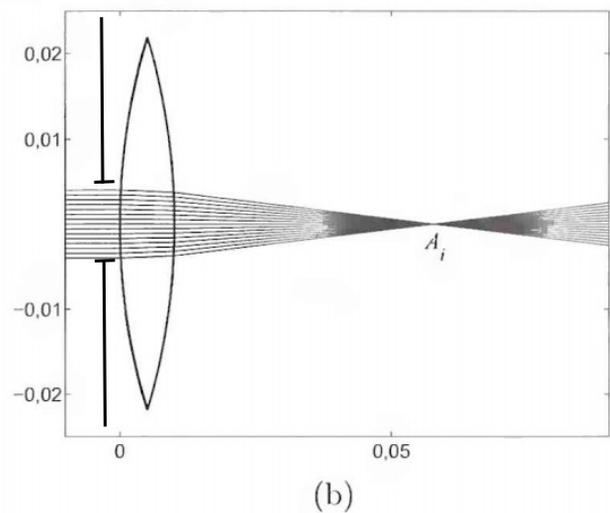
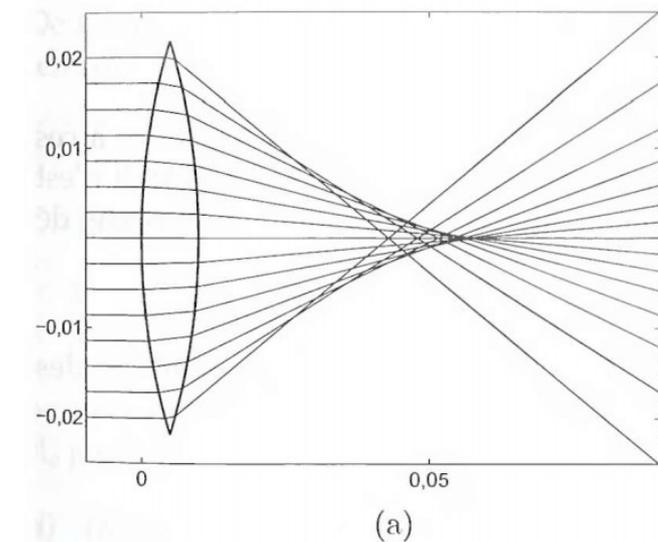
L'objet le plus simple que l'on puisse envisager est un vecteur \vec{AB} . Son image est le vecteur $\vec{A'B'}$ symétrique par rapport au miroir, soit un vecteur de même taille et de même sens. Le grandissement d'un miroir plan est égal à 1. Un miroir plan donne de tout objet une image symétrique par rapport au plan du miroir.

I.3 Étude des lentilles minces

a) Conditions de Gauss et stigmatisme



Tracé des rayons lumineux à travers une loupe a) Rayons très inclinés b) Rayons très peu inclinés



Déviation d'un faisceau de rayons parallèles à l'axe optique par une loupe a) Rayons éloignés de l'axe optique b) Rayons proches de l'axe optique

On voit que les rayons lumineux incidents provenant d'un même point émergent en convergeant vers des points différents si l'angle d'incidence est trop important. Il y a plusieurs points images pour un même point objet, l'image d'un point sera donc une tâche plus ou moins grosse. On dit que la lentille n'est pas rigoureusement stigmatique.

https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_fr.html

Définition Stigmatisme Un système optique (S) est dit **rigoureusement stigmatique** pour le couple de points (A, A') si tous les rayons issus de A passent par A' après avoir été déviés par le système. Les points A et A' sont dits conjugués par rapport à (S).

[simulation](#)

Définitions Rayons paraxiaux, conditions de Gauss

Voc. : On dit qu'un système centré est utilisé **dans les conditions de Gauss** si **tous** les rayons incidents sont des rayons paraxiaux.

Un rayon incident sur un système centré est dit **paraxial** quand **les deux conditions** suivantes sont respectées :

- le rayon est proche de l'axe optique du système,
- le rayon est peu incliné par rapport à l'axe optique.

Remarques. importantes

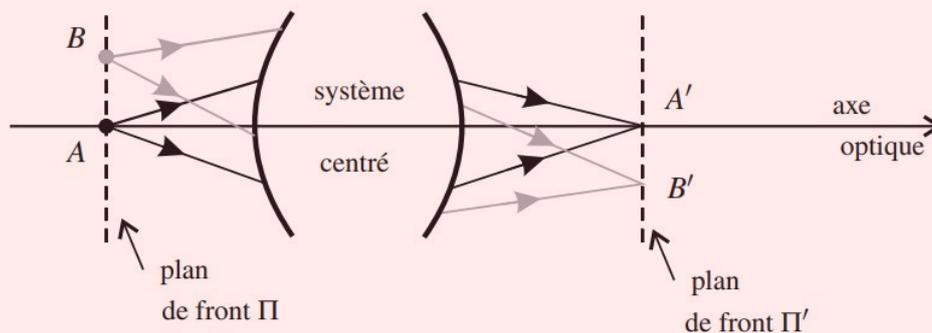
- En pratique on peut placer un diaphragme juste avant ou après la lentille pour ce placer dans ces conditions.
- Les résultats que nous obtiendront dans la suite du cours sont vrais seulement si ces conditions sont vérifiées.
- si on note i l'angle entre le rayon incident et l'axe optique alors dans les conditions de Gauss on pourra faire l'approximation :

$$\sin(i) \approx \tan(i) \approx i$$

C'est une conséquence des conditions de Gauss, pas la définition des conditions de Gauss !

b) Propriétés d'un système centré dans les conditions de Gauss

Un système centré utilisé dans les conditions de Gauss donne de tout point objet (pouvant être réel ou virtuel) une image ponctuelle approchée (pouvant être réelle ou virtuelle). Les conditions de Gauss permettent donc d'obtenir un stigmatisme approché

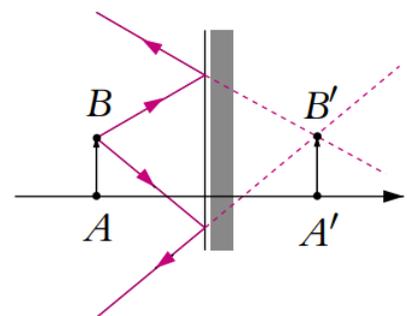
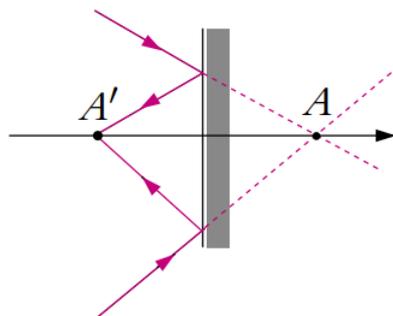
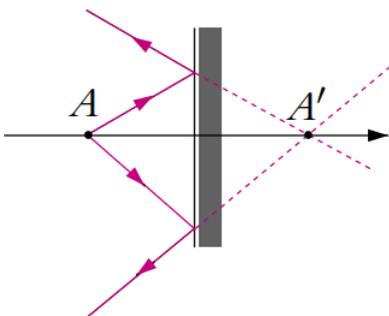


c) Aplanétisme

def : Un point B du plan de front passant par A a son image B dans le plan de front passant par A' si le système optique est aplanétique

Rmq 5 : On cherche toujours quand c'est possible à utiliser un système optique dans les conditions de Gauss

Rmq 6 : un miroir plan est toujours rigoureusement stigmatique et rigoureusement aplanétique.



d) Stigmatisme approché et détecteurs

Les systèmes centrés dans les conditions de Gauss n'ont qu'un stigmatisme approché. Quelle taille maximale de la tache peut-on accepter ?

Pour répondre à ces questions il faut réfléchir à l'utilisation de l'image.

Par exemple, dans le cas d'un appareil photographique, l'objectif forme l'image sur le capteur CCD qui est le récepteur photosensible de l'appareil.

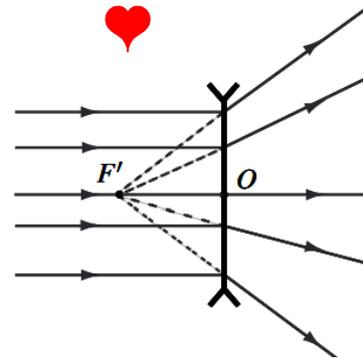
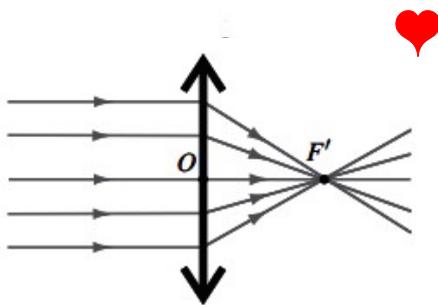
Ce capteur est une mosaïque de cellules élémentaires correspondant chacune à un pixel, c'est-à-dire un « point » sur l'image finale. Ces cellules ont une taille non nulle, de l'ordre de quelques microns.

Le capteur ne fait pas la distinction entre un point parfait et une tache plus petite que la cellule élémentaire.

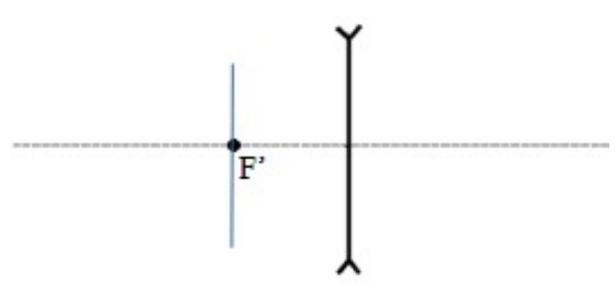
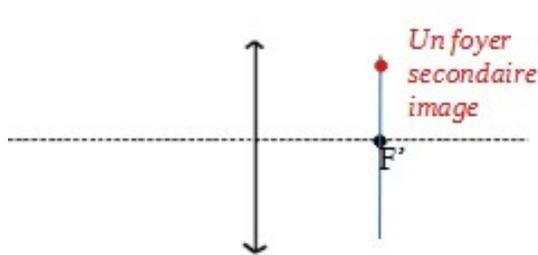
Le stigmatisme approché de l'objectif est donc suffisant si la taille des taches images est inférieure à la taille d'une cellule élémentaire du capteur.

e) Propriétés et caractéristiques des lentilles minces

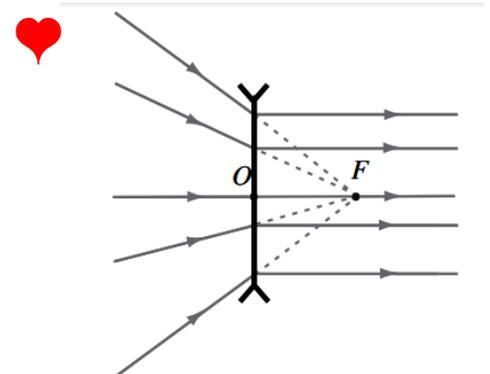
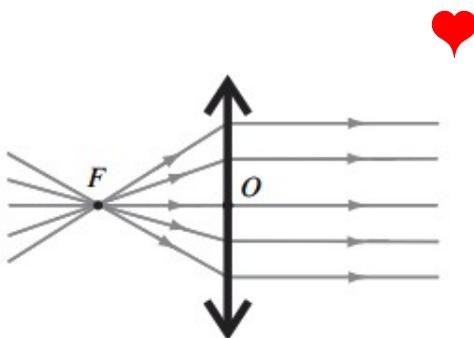
- On appelle **foyer principal image F'** le point où convergent (réellement ou virtuellement) les rayons sortant de la lentille lorsqu'on l'éclaire par un faisceau parallèle à l'axe optique dans les conditions de Gauss.



- On appelle **foyer secondaire image** tout point du plan perpendiculaire à l'axe optique passant par F' (ce plan s'appelle le plan focale image)



- On appelle **foyer principal objet F** le point où convergent (réellement ou virtuellement) les rayons incidents lorsqu'ils ressortent de la lentille parallèle à l'axe optique



- On appelle **foyer secondaire objet** : tout point du plan perpendiculaire à l'axe optique passant par F
- On appelle **distance focale image** la distance algébrique : $f' = \overline{OF'}$

- **Rmq** : pour une lentille divergente $f' < 0$ et pour une lentille convergente $f' > 0$:

et pour toutes les lentilles : $\overline{OF} = \overline{F'O} = -f'$

- On appelle **distance focale objet** la distance algébrique : $f = \overline{OF}$

- On appelle **vergence** V la grandeur : $V = \frac{1}{\overline{OF'}} = \frac{1}{f'}$ 

- La **vergence est homogène à l'inverse d'une longueur et l'unité de la vergence est la dioptrie (symbole δ) qui correspond à des m^{-1} .**

Ainsi une lentille de distance focale image $f = 50$ cm a une vergence de 2δ .

- On appelle **image** le lieu où convergent les rayons issus de l'objet après avoir traversé le SO. et on distingue :
image réelle : se situe à l'intersection de rayons exclusivement réels. On peut voir une image réel sur un écran.

image virtuelle : se situe à l'intersection d'au moins un rayon virtuel avec d'autres rayons (virtuels ou réels). On peut voir une image virtuelle en regardant à travers un système optique (sans écran)

- On appelle objet réel, le point de départ des rayons lumineux réels. Il peut être remplacé par une source réelle de lumière dans les montages.
- On appelle **objet virtuel** un point **à droite de la lentille** dans le schéma conventionnel, où passeraient les rayons d'intérêt si il n'y avait pas la lentille.
- on appelle **objet à l'infini** un objet suffisamment loin du SO pour considérer que les rayons issus de cet objet arrivent parallèles entre eux sur le SO. Il est simplement caractérisé par une direction (i.e. un angle par rapport à l'axe optique).
- On appelle **image à l'infini** la situation où les rayons issus d'un point objet émergent du SO parallèles entre eux.. Elle est simplement caractérisée par une direction (i.e. un angle par rapport à l'axe optique).

f) Constructions géométriques

Les règles de construction

Certains rayons lumineux partant de l'objet ont une trajectoire particulière :

- - Un rayon incident parallèle à l'axe optique, passant réellement ou virtuellement par B, donne un rayon émergent qui passe (réellement ou virtuellement) par le foyer image F'
- -Le rayon incident passant par B et le centre optique n'est pas dévié
- -un rayon incident passant (réellement ou virtuellement) par le foyer objet F et par B donne un rayon émergent parallèle à l'axe optique.

L'image se forme à l'endroit où les rayons sortants se croisent (réellement ou virtuellement)

De plus, d'après la définition des foyers secondaires :

- deux rayons incidents parallèles donnent des rayons émergents qui se croisent (réellement ou virtuellement) dans le plan focal image ;

- deux rayons incidents qui se croisent (réellement ou virtuellement) dans le plan focal objet donnent des rayons émergents parallèles entre eux.

Résultats obtenues pour les constructions géométriques :**Lentille convergente**

1. un objet réel avant F donne une image réelle, renversée, située après F
2. un objet réel entre F et O donne une image virtuelle, droite, plus grande, c'est le cas de la loupe ;
3. un objet virtuel après O donne une image réelle, plus petite, droite ;
4. un objet à l'infini a une image réelle, dans le plan focal image.

Lentilles divergentes

1. un objet réel avant O donne une image virtuelle, droite, plus petite ;
2. un objet virtuel entre O et F donne une image réelle, droite, plus grande ;
3. un objet virtuel après F donne une image virtuelle, renversée;
4. un objet à l'infini a une image virtuelle, située dans le plan focale image.