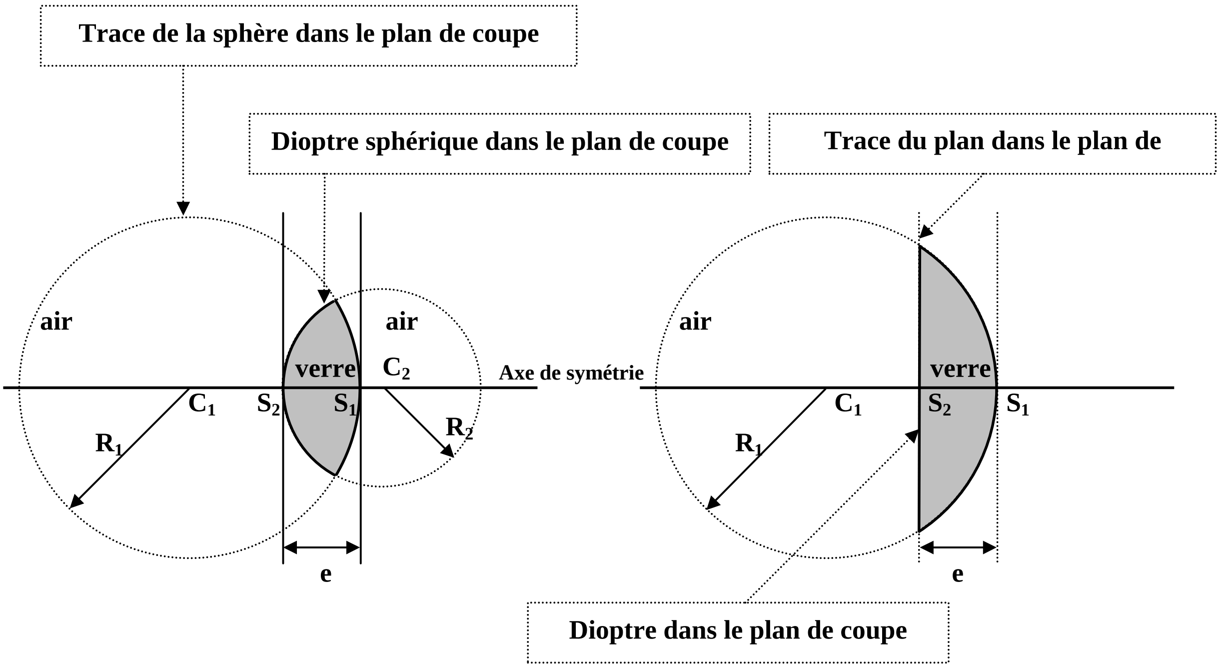
LENTILLES MINCES SPHERIQUES

1. Lentilles Sphériques

1.1 Lentilles réelles



C_1, C_2	centres des dioptres sphériques
R_1, R_2	rayons des dioptres sphériques
e	épaisseur de la lentille

Une lentille sphérique est un milieu transparent homogène et isotrope limité par deux dioptres sphériques (de centres C_1 et C_2) ou un dioptre sphérique et un dioptre plan. L'axe de révolution de cette lentille est son axe optique.

Dans tout le chapitre on supposera que la lentille est plongée dans un même milieu à son entrée et à sa sortie.

Il existe deux catégories de lentilles :

1. **Les lentilles convergentes** : le rayon lumineux émergent est dévié vers l'axe optique comme le montre la Figure 1.
2. **Les lentilles divergentes** : le rayon lumineux émergent s'écarte de l'axe optique comme le montre la Figure 2.

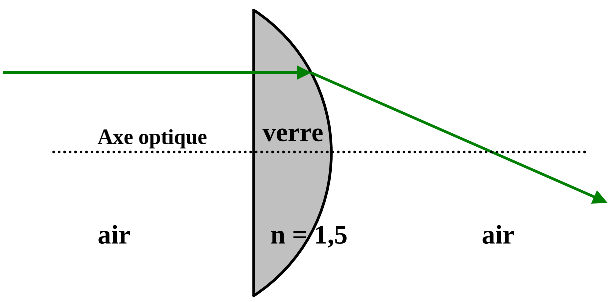


Figure 1

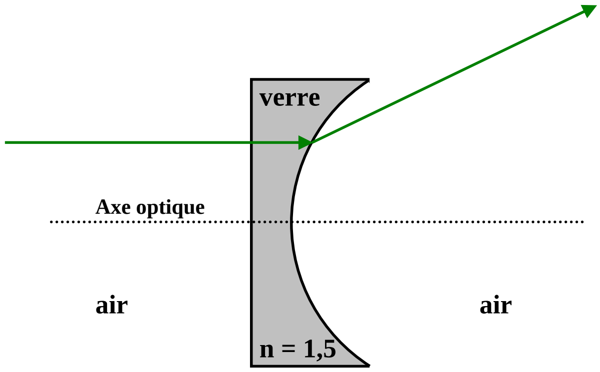


Figure 2

Il existe trois types de lentilles convergentes dont les représentations en coupe sont données en Figure 3. Les bords de chaque lentille sont minces par rapport à son épaisseur au centre.

On rencontre trois types de lentilles divergentes dont les représentations en coupe sont données en Figure 4. Les bords de chaque lentille sont épais par rapport à leur épaisseur au centre.

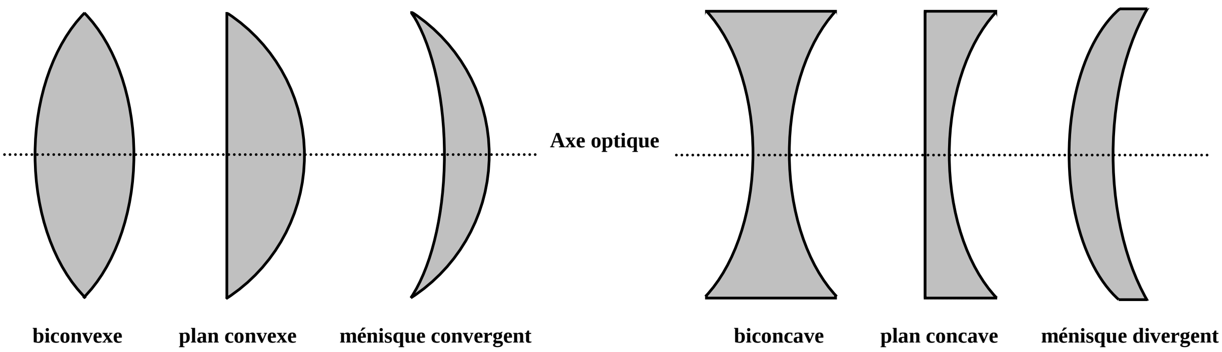


Figure 3 **Figure 4**

Propriété d'un point particulier, appelé centre optique de la lentille sphérique réelle, noté O.

- Ce point est situé entre S_1 et S_2 pour une lentille biconvexe.
- Tout rayon dont le trajet intérieur à la lentille passe par le centre optique, ressort de la lentille parallèlement à la direction du rayon incident.

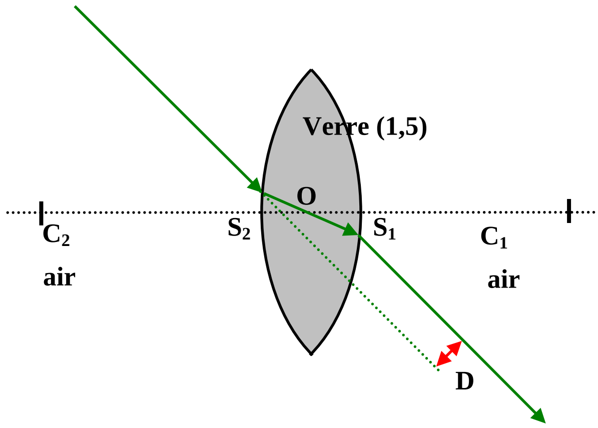


Figure 5

1.2 Approximation de la lentille mince sphérique

Une lentille sphérique est dite mince si son épaisseur e est très petite devant les rayons de courbure R_1 et R_2 des dioptres délimitant la lentille.

$$e \ll |R_1|;\; e \ll |R_2|;\; e \ll |R_1 - R_2|$$

On emploie ici des valeurs absolues du fait que les rayons de courbure soient des grandeurs algébriques.

$$\frac{e}{|R_1 - R_2|} < 0{,}01$$

Les symboles pour les deux types de lentilles minces sont données par la Figure 6.

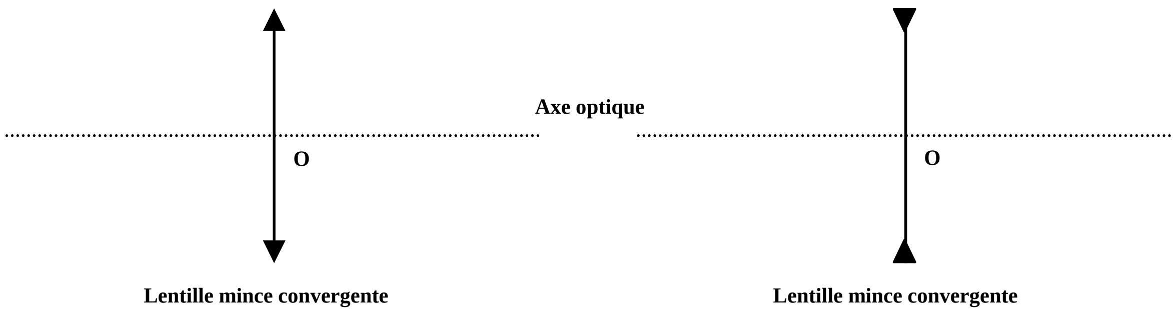


Figure 6

2. Algébrisation – Espace objet et image

Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, les relations de conjugaison sont algébriques. Une convention existe, qui fixe le sens positif : ce sens est celui de la lumière incidente.

Traditionnellement, en optique, les figures sont faites avec la lumière progressant de la gauche vers la droite.

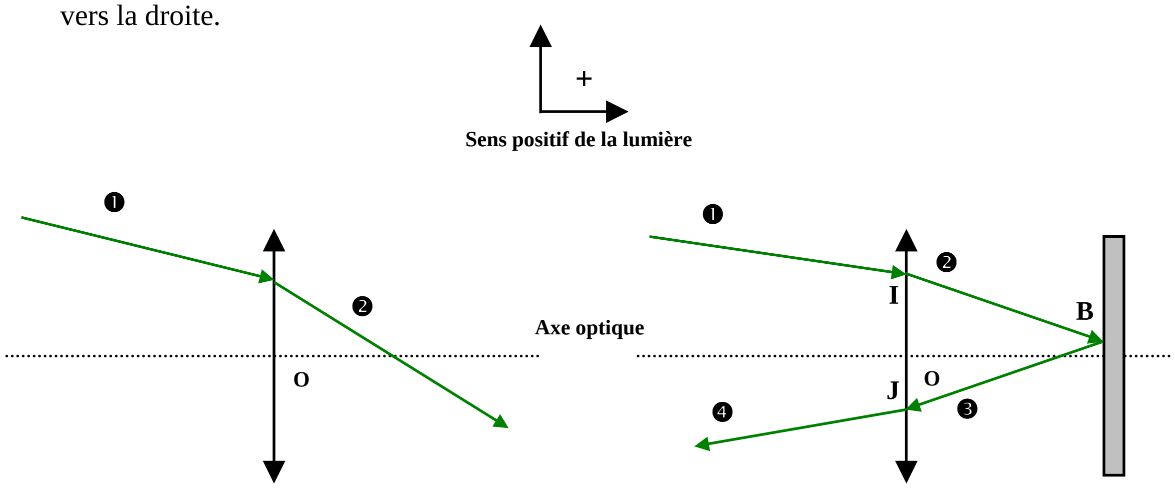


Figure 7

Espaces objet et image

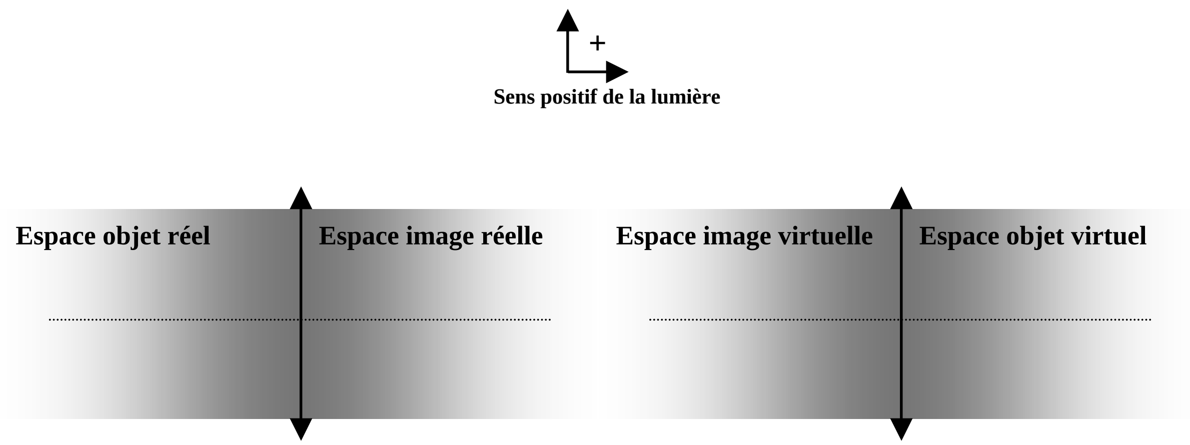


Figure 8

3. Stigmatisme et aplanétisme

On admettra les conclusions suivantes :

Une lentille sphérique peut être considérée stigmatique et aplanétique au sens du stigmatisme et de l'aplanétisme approchés :

- **Si les rayons sont parallèles à l'axe et peu éloignés de l'axe.**
- **Si les rayons sont peu inclinés sur l'axe optique.**

Ces conditions du stigmatisme et de l'aplanétisme approchés sont les conditions de Gauss.

Dans la suite, tous les systèmes optiques à base de lentilles que nous envisagerons seront utilisés dans les conditions de Gauss (on négligera entre autres les effets dus à la diffraction introduite par la monture de la lentille).

4. Propriétés des lentilles minces

4.1 Centre optique d'une lentille mince

Si la lentille représentée en Figure 5 peut être considérée comme mince, alors les sommets S_1 et S_2 qui délimitent le dioptre sont confondus avec le centre optique O. Le décalage latéral D est alors nul.

Tout rayon lumineux passant par le centre optique O d'une lentille mince n'est pas dévié.

Le point O est donc à l'intersection de l'axe optique

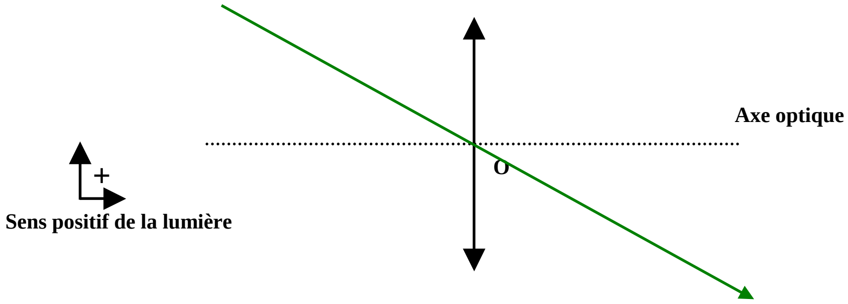


Figure 9

4.2 Foyers, plans focaux, distances focales

Le foyer principal image F' est le point de l'axe optique dont l'objet est à l'infini sur l'axe

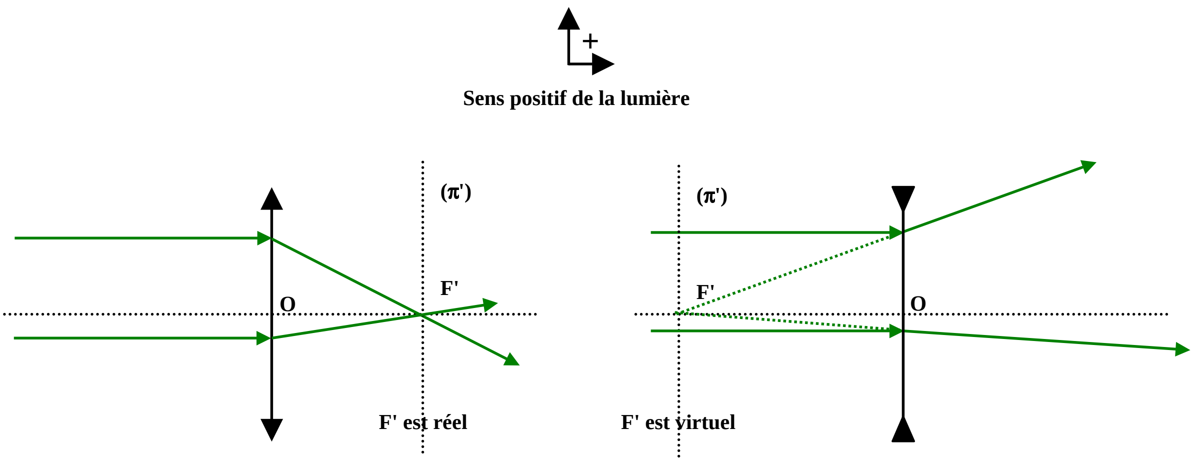


Figure 10

Le foyer principal objet F est le point objet de l'axe optique dont l'image est à l'infini sur l'axe.

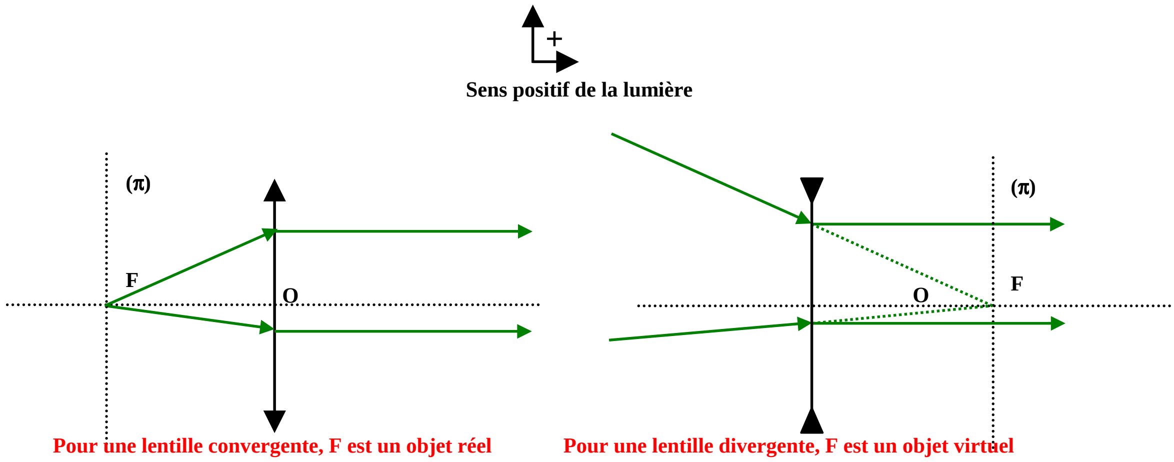


Figure 11

Lorsque le milieu optique possède le même indice de chaque côté de la lentille, F et F' sont symétrique par rapport au centre optique.

Sauf mention contraire, il en sera ainsi pour toute la suite du programme.

Le plan perpendiculaire à l'axe optique en F est appelé plan focal objet (plan π). Le plan perpendiculaire à l'axe optique en F' est appelé plan focal image (plan π').

Un faisceau de rayons parallèles issus de l'espace objet, inclinés sur l'axe optique, donne un faisceau émergent de rayons dont les supports se croisent en un point image Φ' du plan focal image. Φ' est obtenu par intersection du plan focal image et du rayon non dévié, parallèle au faisceau incident et passant par le centre optique.

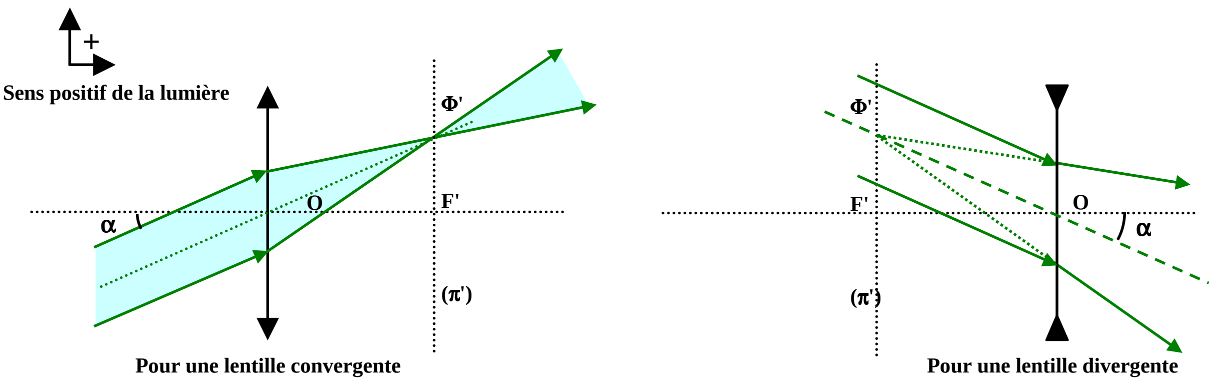


Figure 12

L'image d'un point Φ, appartenant au plan focal objet et situé hors de l'axe optique, est rejeté à l'infini dans la direction du support passant par Φ et O.

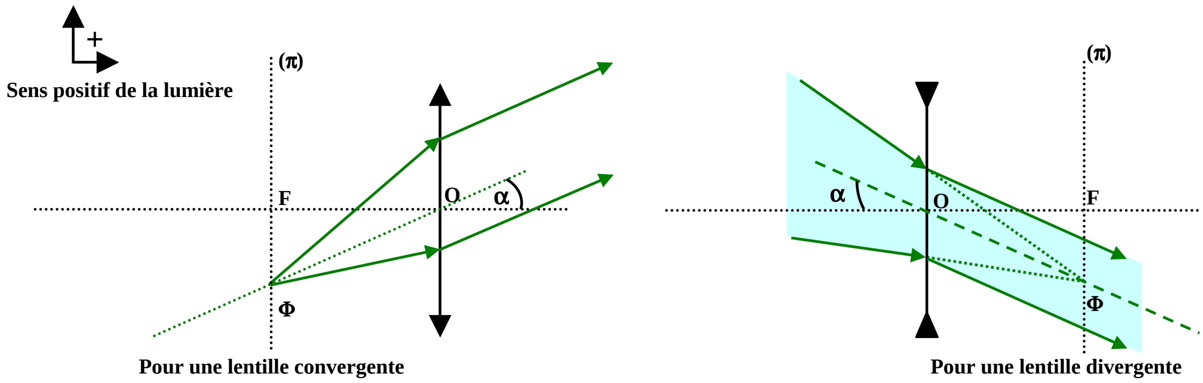


Figure 13

Les mesures algébriques $\overline{OF}$ et $\overline{OF'}$ sont appelées respectivement distance focale objet et distance focale image de la lentille. On note $f = \overline{OF}$; $f' = \overline{OF'}$ et on a la relation f = – f', lorsque le milieu est le même des deux côtés de la lentille.

Pour une lentille convergente : f' > 0 (c'est à dire f < 0)

Pour une lentille divergente : f' < 0 (c'est à dire f > 0)

La distance focale s'exprime en mètre (m). Attention, il s'agit d'une grandeur algébrique.

4.3 Vergence

La vergence V d'une lentille est l'inverse de la distance focale image.

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

La vergence s'exprime de dioptrie (δ) avec 1 δ = 1 m^{-1}

Une lentille de vergence de – 5 δ est divergente et sa distance focale image vaut – 0,2 m

5. Construction géométrique d'une image

Nous supposons dans la suite du cours que la position du centre et des foyers des lentilles étudiées sont connus.

5.1 Trajet d'un rayon lumineux quelconque

5.1.1 Le rayon incident est connu

5.1.1.1 Cas d'une lentille convergente

Le rayon incident ❶ passe nécessairement par un point Φ du plan focal objet (π). On peut distinguer plusieurs méthodes :

1. On imagine ensuite un support incident ❷ parallèle à l'axe passant par Φ. Ce support émerge (❸) de la lentille en passant par F'. L'émergent ❹ recherché est donc parallèle à ce support (❸) dans la continuité de ❶.

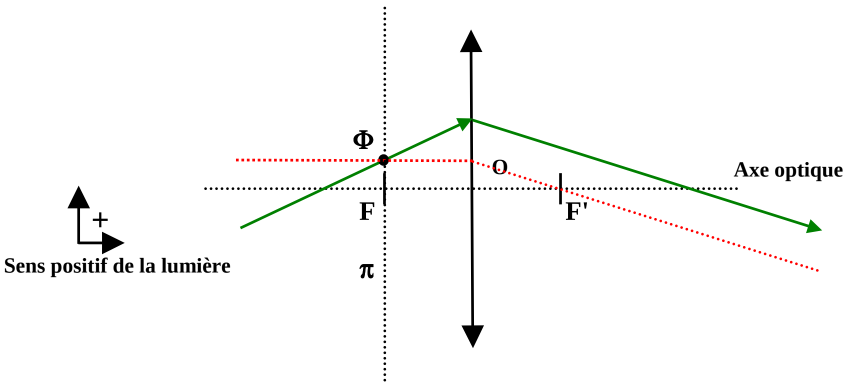


Figure 14a

2. On imagine un support incident ❷ passant par Φ et par le centre de la lentille : ce rayon n'est pas dévié. L'émergent recherché ❸ est donc parallèle à ce support dans la continuité de l'incident ❶.

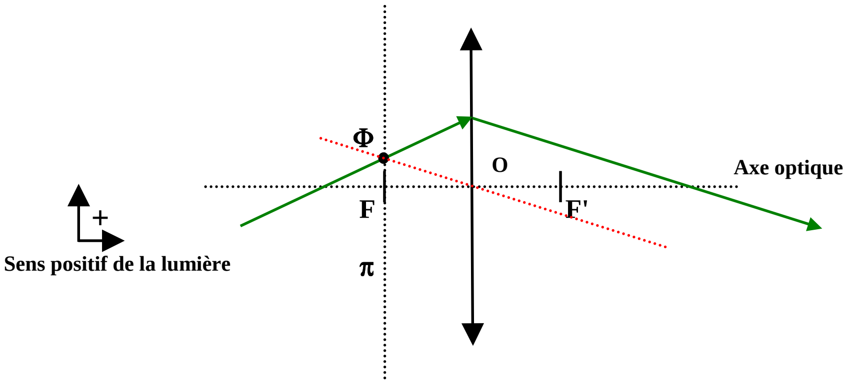


Figure 14b

Le rayon incident ❶ arrive sur la lentille. On peut distinguer deux autres méthodes en considérant le point Φ':

3. On imagine un support incident ❷ parallèle à l'incident ❶ et passant par le foyer F de la lentille. L'incident ❷ ressort de la lentille parallèle à l'axe optique et coupe nécessairement le plan focal image (π') en Φ'. L'émergent ❹ recherché est donc la continuité du rayon incident ❶ passant par Φ'.

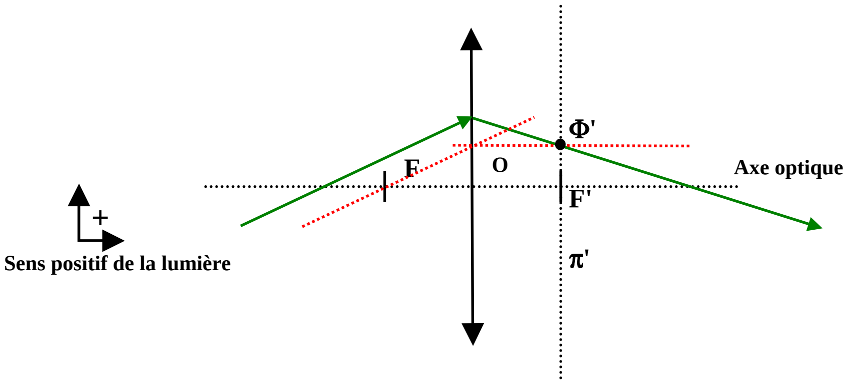


Figure 14c

4. On imagine un support incident ❷ parallèle à l'incident ❶ et passant par le centre de la lentille. L'incident ❷ ressort de la lentille non dévié et coupe nécessairement le plan focal image (π') en Φ'. L'émergent ❹ recherché est donc la continuité du rayon incident ❶ passant par Φ'.

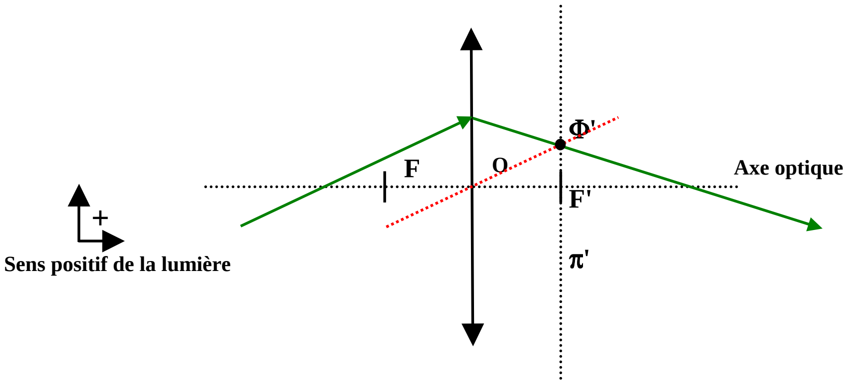


Figure 14d

5.1.1.2 Cas d'une lentille divergente

Sur le même principe, on peut tracer le rayon qui émerge d'une lentille divergente à partir d'un rayon incident par plusieurs constructions géométriques.

Le rayon incident ❶ arrive sur la lentille et son prolongement passe nécessairement par un point Φ du plan focal objet (π). On peut distinguer plusieurs méthodes :

1. On imagine ensuite un support ❷ passant par le centre O de la lentille et par le point Φ. L'émergent ❸ recherché est donc parallèle au support ❷ dans la continuité de ❶.

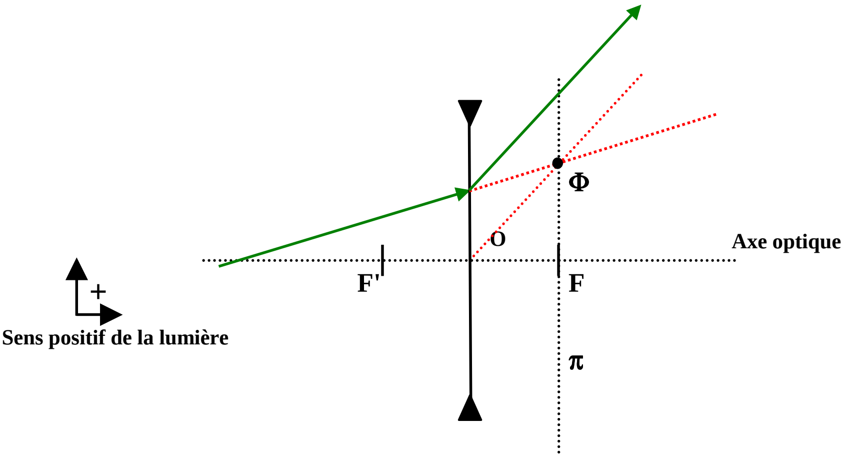


Figure 15a

2. On imagine ensuite un support ❷ parallèle à l'axe optique et passant par le point Φ. Ce support coupe la lentille au point J. On trace ensuite le support ❸ passant par le foyer image F' et par le point J. L'émergent ❹ recherché est donc parallèle au support ❸ dans la continuité de ❶.

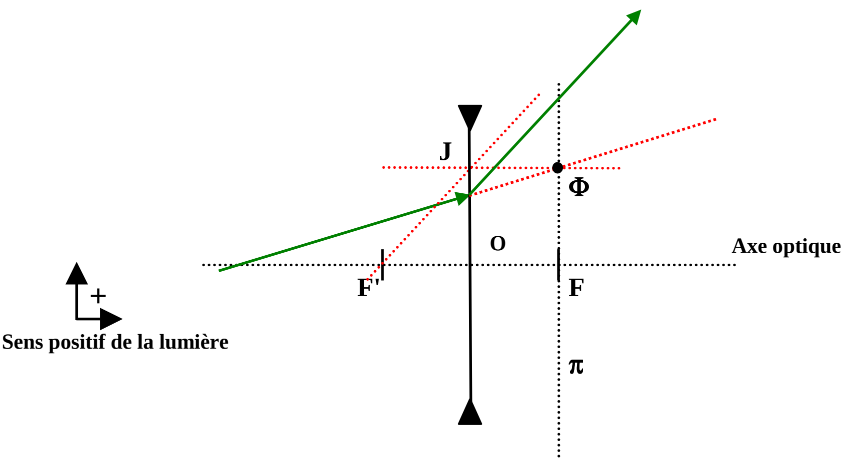


Figure 15b

Le rayon incident ❶ arrive sur la lentille. On peut distinguer deux autres méthodes en considérant le point Φ':

3. On imagine ensuite un support incident ❷ parallèle au rayon incident ❶ et passant par le centre de la lentille. Ce support ❷ (non dévié) coupe le plan focal image au point Φ'. L'émergent ❸ recherché est alors tracé dans la continuité de ❶ et passant par le point Φ'.

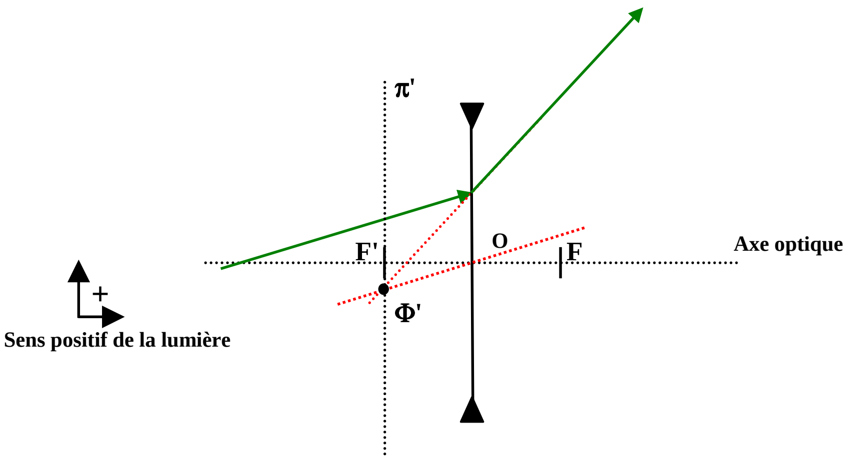


Figure 15c

4. On imagine un support incident ❷ parallèle au rayon incident ❶ et passant par le foyer objet F de la lentille. Ce support ❷ coupe la lentille au point J. On trace ensuite le support ❸ passant par le point J et parallèle à l'axe optique. Ce support ❸ coupe nécessairement le plan focal image au point Φ'. L'émergent ❹ recherché est alors tracé dans la continuité de ❶ et passant par le point Φ'.

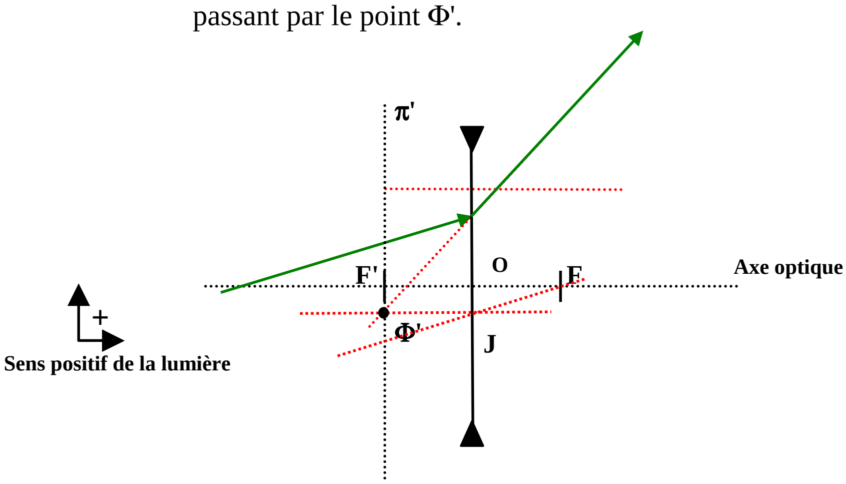


Figure 15d

5.1.2 Le rayon émergent est connu

5.1.2.1 Cas d'une lentille convergente

1. On trace un rayon ❷ (parallèle au rayon émergent ❶ connu) passant par le foyer image F' de la lentille. On en déduit alors un rayon incident ❸ parallèle à l'axe optique et coupant le plan focal objet (π) en Φ. Le rayon incident recherché ❹ passe alors par le point Φ et se trouve prolongé par le rayon émergent ❶.

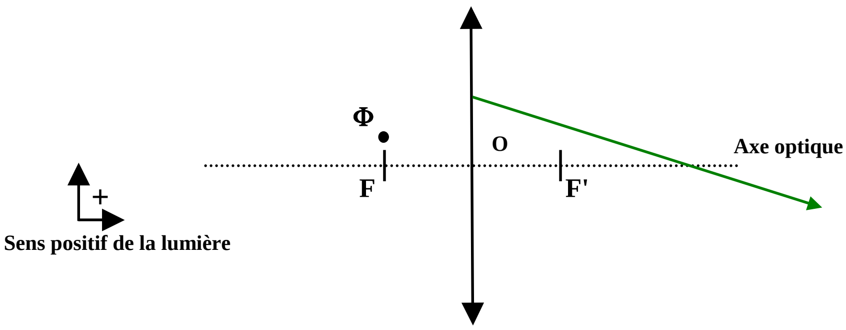


Figure 16a

2. On trace un rayon ❷ (parallèle au rayon émergent ❶ connu) passant par le centre O de la lentille. Ce rayon non dévié coupe nécessairement le plan focal objet en Φ. Le rayon incident recherché ❸ passe alors par le point Φ et se trouve prolongé par le rayon émergent ❶.

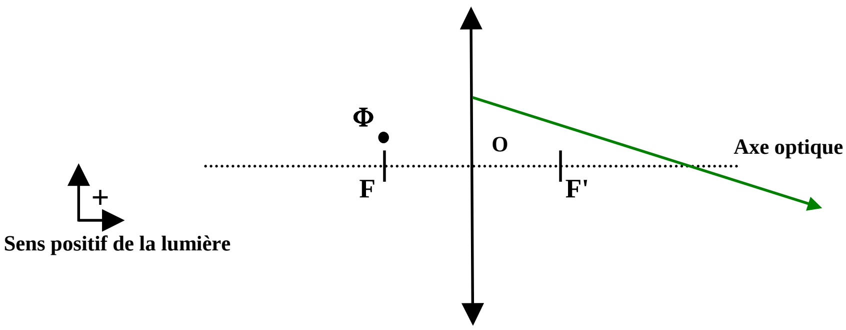


Figure 16b

3. Le rayon émergent ❶, connu, coupe forcément le plan focal image (π') en Φ'. On imagine un support ❷ parallèle à l'axe optique, passant par le point Φ' et coupant la lentille en un point J. Ce rayon émergent ❷ est donc issu d'un rayon incident ❸ passant par le foyer F de la lentille. L'incient ❹ recherché est alors parallèle au rayon incident ❸ et est finalement continué par le rayon émergent ❶.

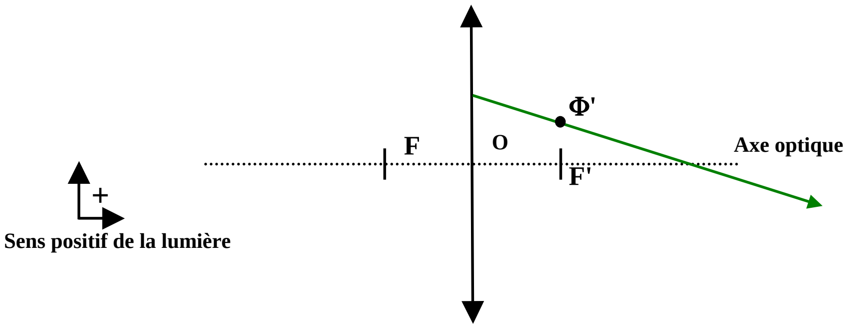


Figure 16c

4. Le rayon émergent ❶, connu, coupe forcément le plan focal image (π') en Φ'. On imagine un support ❷ passant par le point Φ' et coupant la lentille en son centre optique O. Ce rayon émergent ❷ est donc issu d'un rayon incident ❸ non dévié. L'incident ❹ recherché est alors parallèle au rayon incident ❸ et est finalement continué par le rayon émergent ❶.

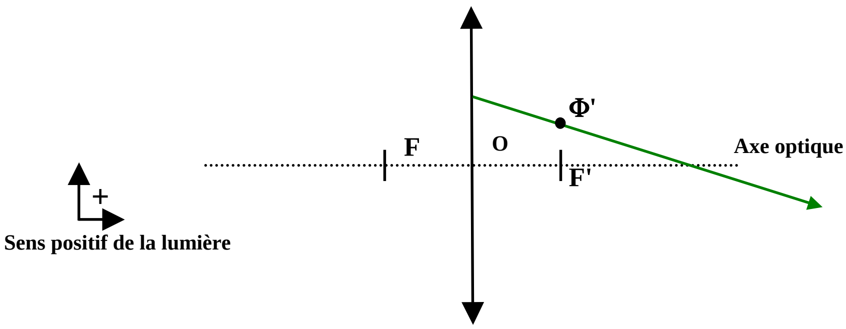


Figure 16d

5.1.2.2 Cas d'une lentille divergente

1. On trace un support ❷, parallèle au rayon émergent ❶ connu, passant par le centre optique de la lentille. Ce rayon ❷ coupe le plan focal objet (π) en Φ. On trace alors le rayon ❸ joignant le point Φ au point d'émergence de ❶ sur la lentille. L'incident ❹ recherché est donc le rayon prolongé par le support ❸.

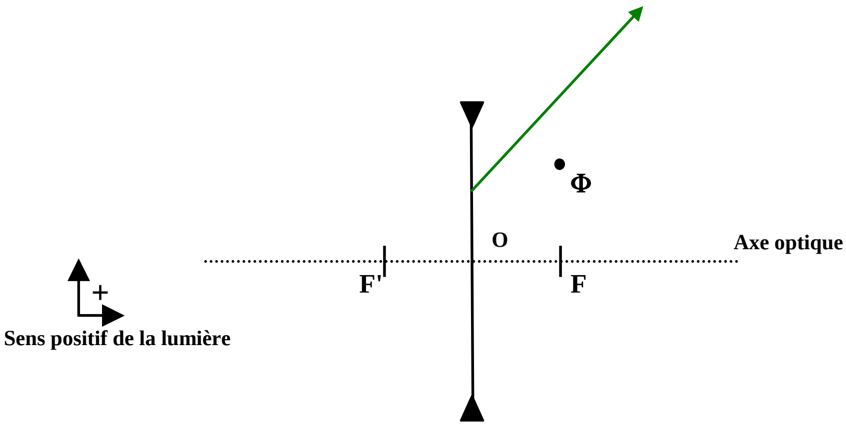


Figure 17a

2. On trace un support ❷, parallèle au rayon émergent ❶ connu, passant par le foyer image F' de la lentille. Ce rayon ❷ coupe la lentille au point J. On trace alors le rayon ❸ parallèle à l'axe optique, passant par le point J. Le rayon ❸ coupe alors le plan focal objet (π) en Φ. On trace alors le rayon ❹ joignant le point Φ au point d'émergence de ❶ sur la lentille. L'incident ❺ recherché est donc le rayon prolongé par le support ❹.

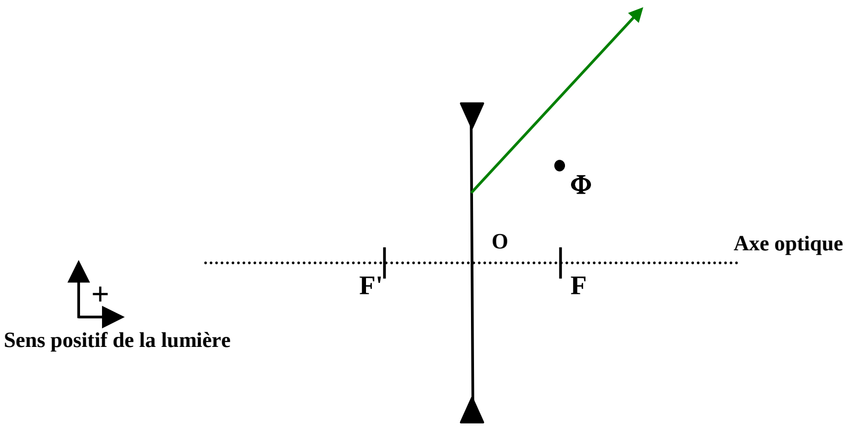


Figure 17b

3. On prolonge le rayon émergent connu ❶ jusqu'au point d'intersection Φ' avec le plan focal image (π'). On imagine ensuite un support ❷ passant par le centre O de la lentille et le point Φ'. L'incident ❸ recherché est alors parallèle au rayon ❷ et est continué par ❶.

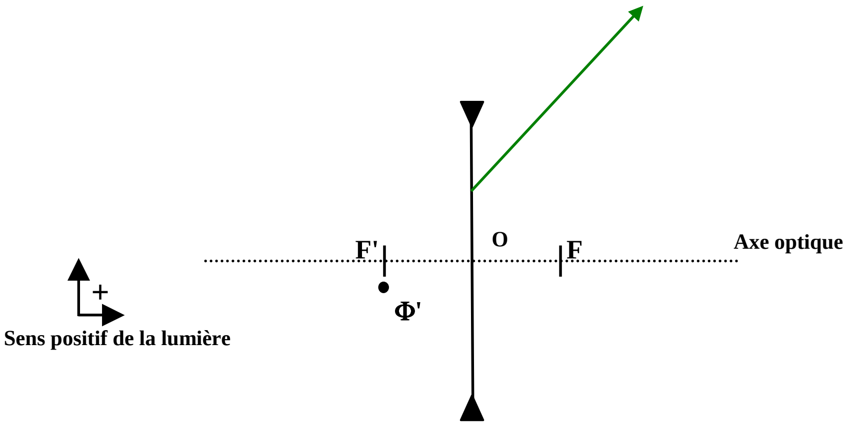


Figure 17c

4. On prolonge le rayon émergent connu ❶ jusqu'au point d'intersection Φ' avec le plan focal image (π'). On imagine ensuite un support ❷ parallèle à l'axe optique, passant par le point Φ'. Ce support ❷ coupe la lentille au point J. On trace un support ❸ reliant le point J au foyer objet F de la lentille Ce support ❸ est donc nécessairement le prolongement d'un rayon incident ❹. L'incident ❺ recherché est alors parallèle au rayon ❹ et est continué par ❶.

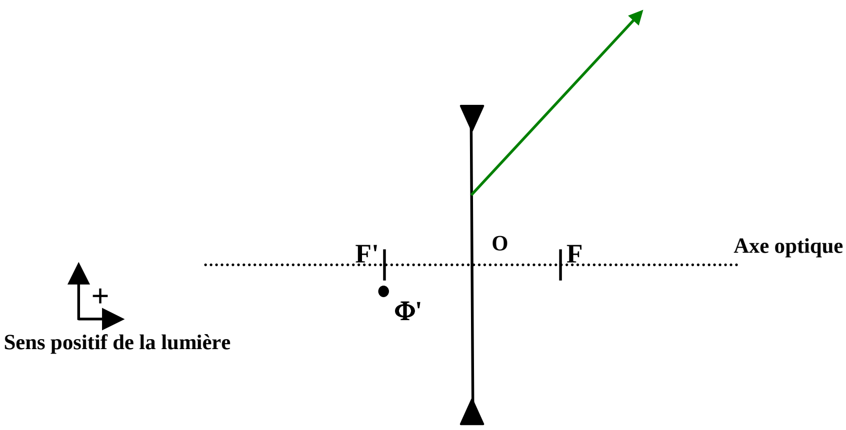


Figure 17d

5.2 Image d'un objet perpendiculaire à l'axe optique

Nous souhaitons déterminer l'image A'B' d'un objet AB, perpendiculaire à l'axe optique d'une lentille convergente.

Nous construisons dans un premier temps l'image A' de A en utilisant un rayon incident quelconque passant par A.

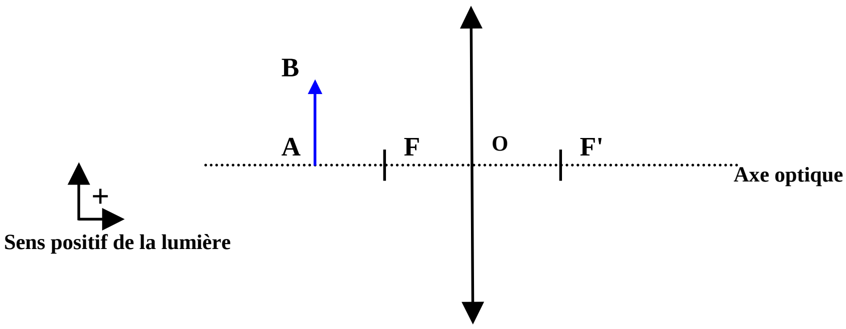


Figure 18

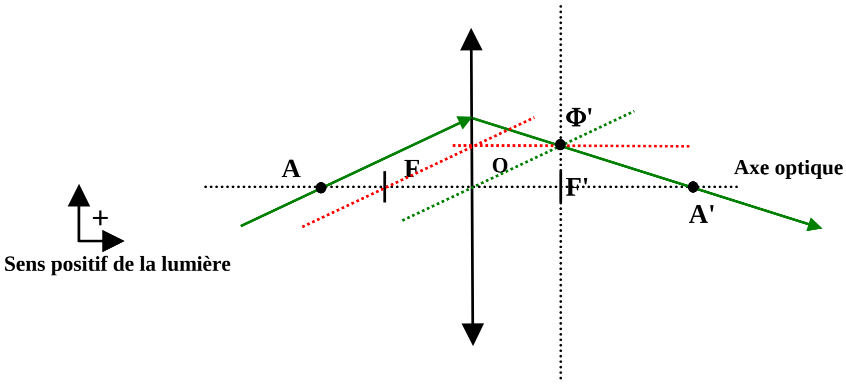


Figure 19

Pour construire l'image de B, deux des trois rayons particuliers suivants sont suffisants :

- Celui qui passe par le centre de la lentille et qui n'est pas dévié,
- Celui qui passe par F et qui ressort parallèle à l'axe optique,
- Celui qui arrive sur la lentille parallèle à l'axe optique et qui émerge en passant par F'.

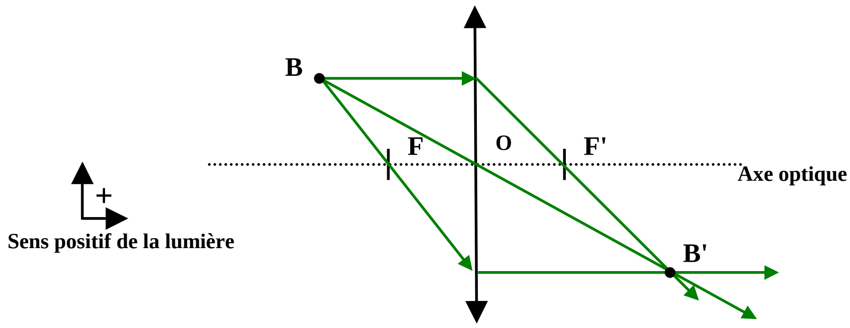


Figure 20

Finalement on obtient :

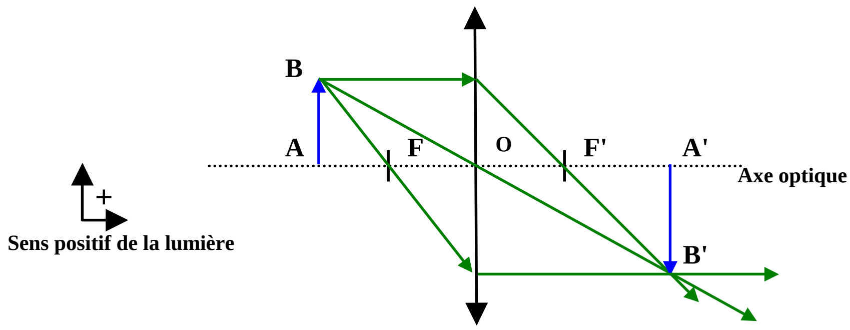


Figure 21

On peut s'affranchir du calcul de l'image A' de l'objet A du fait du caractère aplanétique (conditions de Gauss) de la lentille.

Pour trouver A', il suffit alors de projeter B' sur l'axe optique.

6. Relations de conjugaison et de grandissement

On considère ici le cas d'une lentille convergente, mais les résultats restent valables dans le cas d'une lentille divergente.

6.1 Avec origine au centre (Descartes)

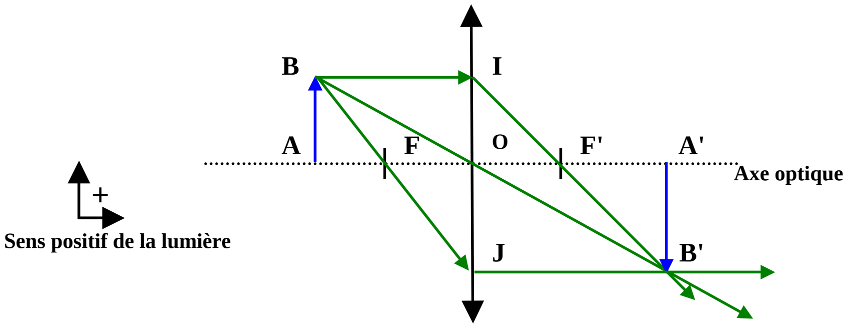


Figure 22

Les triangles OAB et OA'B' sont des triangles semblables dans lesquels nous pouvons appliquer le théorème de Thalès ce qui nous conduit immédiatement à l'expression du grandissement transversal γ :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \qquad (1)$$

D'autre part :

$$\frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{OI}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \qquad (2)$$

Car les triangles F'OI et F'A'B' sont aussi semblables.

De plus,

$$\frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}} = \frac{\overline{F'O} + \overline{OA'}}{\overline{F'O}} = 1 + \frac{\overline{OA'}}{\overline{F'O}} \qquad (3)$$

Les égalités (1), (2) et (3) donnent donc :

$$\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = 1 + \frac{\overline{OA'}}{\overline{F'O}}$$

Et en divisant les deux membres de cette égalité par $\overline{OA'}$ nous obtenons :

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

Enfin,

$$\boxed{\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{\overline{OF'}} = -\frac{1}{\overline{OF}}}$$

Cette relation de conjugaison fait intervenir le centre optique : **c'est la relation de Descartes**.

Application :

Dans une expérience d'optique, l'image d'un objet virtuel est formé à l'aide d'une lentille divergente de distance focale $|f'| = 20\ \text{cm}$. L'objet est à 25 cm de la lentille. Calculer la distance entre la lentille et l'image en précisant sa nature.

Solution :

Appliquons la relation de conjugaison précédente. Ainsi, $\overline{OA'} = -100$ cm.

$\overline{OA'} < 0$ donc A' est dans l'espace objet, c'est à dire avant la lentille : l'image est virtuelle et renversée.

6.2 Avec origine aux foyers (Newton)

Nous allons montrer que le grossissement transversal peut s'exprimer en fonction de $\overline{FA}$ ou $\overline{F'A'}$, puis en déduire une relation de conjugaison liant $\overline{FA}$ et $\overline{F'A'}$.

La relation (2) fournit immédiatement une expression du grandissement qui fait intervenir le foyer image de la lentille :

$$\frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{OI}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} \qquad (2)$$

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}} = -\frac{\overline{F'A'}}{\overline{OF'}} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}$$

Cherchons alors une relation qui contienne $\overline{FA}$; en remarquant que les triangles FOJ et FAB sont semblables, on peut écrire :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OJ}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}} = \frac{f'}{\overline{FA}}$$

Par conséquent :

$$\gamma = -\frac{\overline{F'A'}}{f'} = \frac{f'}{\overline{FA}}$$

Cette dernière égalité fournit également la relation de conjugaison cherchée :

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

Cette relation de conjugaison fait intervenir les foyers de la lentille : c'est la **relation de Newton**.

Application :

La distance minimale d_m de vision nette d'un œil sans défaut est égale à 25 cm. Un individu ayant cette faculté place son œil au foyer image d'une loupe de vergence = 25 δ et observe un insecte.

A quelle distance de la loupe se trouve l'insecte si l'image est nette et se forme au plus près de l'œil ?

Solution :

Commencer par effectuer une construction géométrique en utilisant le fait que l'image formée par une loupe est nécessairement virtuelle et agrandie

L'insecte représenté par AB se situe entre le foyer objet et le centre de la lentille (en avant).

$$\overline{F'A'} = -d_m$$

$$f' = \frac{1}{25}\ \text{m} = 4\ \text{cm}$$

On applique le théorème de Newton : $\overline{FA} = 0{,}64$ cm

D'où : $\overline{OA} = -3{,}36$ cm

L'insecte représenté par AB doit donc être placé à 3,36 cm en avant de la lentille.

Remarque :

Les formules de conjugaison ne sont utilisables que pour des points objets ou image situés exclusivement sur l'axe optique.

7. Association de lentilles minces

Nous nous limiterons au cas où les lentilles ont même axe optique.

Lorsque les lentilles **sont accolées**, on considère que les **centres optiques** O_1 et O_2 sont c**onfondus**.

Lorsque les lentilles **ne sont pas accolées**, on considère **d**, la **distance constante** séparant O_1 et O_2.

7.1 Lentilles accolées

Un objet AB a une image A_1B_1 au travers de la première lentille L_1. A_1B_1 est un objet pour la lentille L_2 qui en donne l'image A_2B_2.

A_2B_2 est aussi l'image de AB à travers l'ensemble des deux lentilles.

$$A \xrightarrow{L_1} A_1 \xrightarrow{L_2} A_2$$

On peut écrire les relations de Descartes pour chacune des deux lentilles :

Lentille L_1 $$\frac{1}{\overline{OA_1}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'_1} \quad \text{et} \quad \gamma_1 = \frac{\overline{A_1B_1}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA_1}}{\overline{OA}}$$

Lentille L_2 $$\frac{1}{\overline{OA_2}} - \frac{1}{\overline{OA_1}} = \frac{1}{f'_2} \quad \text{et} \quad \gamma_2 = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_1}} = \frac{\overline{OA_2}}{\overline{OA_1}}$$

D'où :

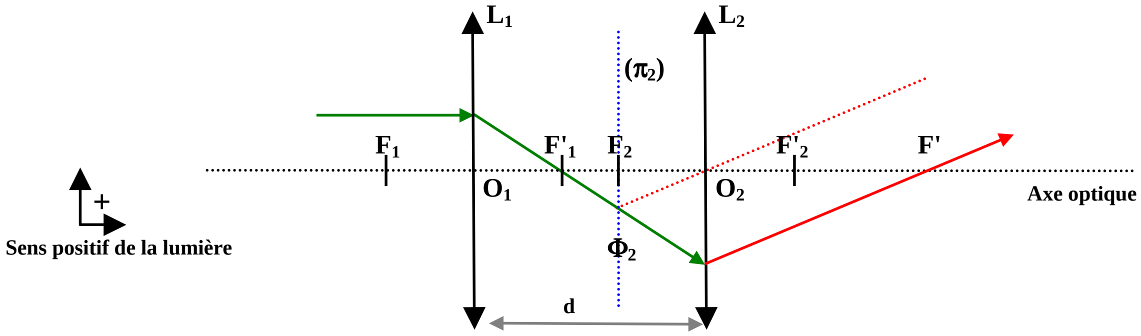
$$\frac{1}{\overline{OA_2}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} \quad \text{et} \quad \gamma_1\gamma_2 = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA_2}}{\overline{OA}}$$

L'ensemble des deux lentilles accolées est donc équivalent à une lentille unique L de distance focale f' telle que :

$$\boxed{\frac{1}{\overline{OA_2}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} = \frac{1}{f'}}$$

7.2 Lentilles non accolées

On va déterminer la position du foyer image F' de cet ensemble de deux lentilles, non accolées.



A la sortie de L_1, le rayon lumineux passe par F'_1, foyer image de L_1.

En utilisant par exemple le point Φ_2, on construit le rayon sortant de L_2 dont l'intersection avec l'axe optique définit le foyer image F' de l'ensemble du système optique. F' est donc le conjugué de F'_1 pour la lentille L_2.

On peut également déterminer la position de ce foyer image F' par un calcul algébrique en appliquant la relation de Newton pour la lentille L_2 :

$$\overline{F_2F'_1}.\overline{F'_2F'} = -f'^2_2$$

Avec

$$\overline{F_2F'_1} = \overline{F_2O_2} + \overline{O_2O_1} + \overline{O_1F'_1} = f'_2 - d + f'_1$$

Ainsi :

$$\boxed{\overline{F'_2F'} = \frac{f'^2_2}{d - f'_1 - f'_2}} \qquad (4)$$

Les paramètres d, f'_1 et f'_2 étant connus, la relation (4) permet donc de trouver la position du foyer image du doublet de lentilles.

<u>**Cas particulier :**</u>

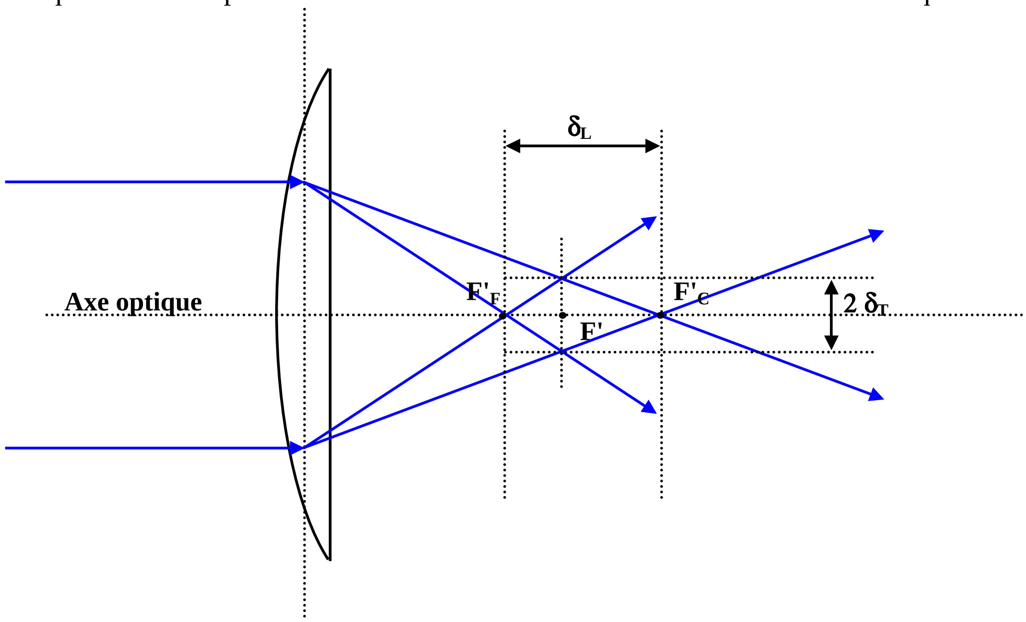
Si le foyer image de la lentille d'entrée est confondu avec le foyer objet de la lentille de sortie, tout rayon incident parallèle à l'axe optique ressort du doublet parallèlement à l'axe optique. De même, l'image d'un faisceau parallèle incident sur le système optique est un faisceau émergent parallèle : **le système optique est dit afocal**.

8. Aberration chromatique d'une lentille

Uniquement pour les lentilles (non pour les miroirs).

8.1 Mise en évidence

Pour illustrer ce point du cours, on considère une lentille mince supposée sans aberration géométrique et éclairée par une source lumineuse blanche donc non monochromatique.



On note ici l'aberration chromatique transversale principale δ_T à titre indicatif.

On observe que selon la longueur d'onde de la radiation lumineuse traversant la lentille, le point de convergence (foyer image) ne se situe pas à la même position sur l'axe optique. On fait apparaître les foyers F'_F (radiation bleue) et F'_C (radiation rouge) correspondant à deux longueurs d'onde de référence du spectre visible

La distance δ_L séparant ces deux foyers est appelée ***aberration chromatique longitudinale principale***.

En notant f'_C, f'_F et f'_D les distances focales images associées respectivement aux radiations C, F et D définies au chapitre I et le nombre d'Abbe η, on montre que :

$$\delta_L = f'_C - f'_F = \frac{f'_D}{\eta}$$

Plus le nombre d'Abbe est élevé, plus l'aberration chromatique longitudinale est petite.

8.2 Correction de l'aberration

En pratique, l'aberration chromatique peut être réduite voire même supprimée par combinaison de lentilles de nature et de matériaux différents afin de réaliser ce que l'on nomme un système achromatique.

Dans le cas particulier où les deux lentilles L_1 et L_2 sont accolées nous savons que les distances focales f'_C, f'_F et f'_D pour les raies C, D et F de l'association vérifient :

$$\frac{1}{f'_C} = \frac{1}{f'_{1C}} + \frac{1}{f'_{2C}} \quad (1) \qquad \text{et} \qquad \frac{1}{f'_F} = \frac{1}{f'_{1F}} + \frac{1}{f'_{2F}} \quad (2)$$

Nous trouvons après simplifications :

$$\frac{f'_C - f'_F}{f'^2_D} = \frac{f'_{1C} - f'_{1F}}{f'^2_{1D}} + \frac{f'_{2C} - f'_{2F}}{f'^2_{2D}} = \frac{1}{\eta_1 f'_{1D}} + \frac{1}{\eta_2 f'_{2D}}$$

Cette dernière relation montre qu'il est possible d'annuler ou au moins fortement atténuer l'aberration longitudinale.

Pour annule l'aberration longitudinale, il faut que :

$$\frac{1}{\eta_1 f'_{1D}} + \frac{1}{\eta_2 f'_{2D}} = 0 \qquad (3)$$

Le nombre d'Abbe des verres transparents constituant les deux lentilles étant toujours positif, il suffit de choisir une lentille divergente et l'autre convergente puisque leurs distance focales sont de signe contraire. Ainsi, la quantité $\frac{1}{\eta_1 f'_1} + \frac{1}{\eta_2 f'_2}$ peut être nulle.

<u>Application :</u>

On souhaite élaborer à l'aide de deux lentilles accolées L_1 et L_2, une lentille achromatique, de vergence égale à une dioptrie. L_1 est réalisée à l'aie d'un verre de type flint ($\eta_1 = 33$) et L_2 avec un verre de type crown ($\eta_2 = 64$). Comment choisir les deux lentilles ?

<u>Solution :</u>

Il y a deux inconnues, f'_1 et f'_2, il faut donc poser deux équations :

$$\frac{1}{33 f'_1} + \frac{1}{64 f'_2} = 0 \qquad \text{et} \qquad \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} = 1$$

La résolution numérique conduit à :

$f'_1 = -94$ cm et $f'_2 = 48{,}5$ cm. L_1 est donc divergente et L_2 convergente.

9. Ce qu'il faut retenir

Axe optique, centre optique, espaces image ou objet, foyers objets ou images, plans focaux, distances focales f et f' (mètre m) et vergence V (dioptrie δ)

$f' = \overline{OF'}$ représente la distance focale image algébrique (m).

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

Relation de conjugaison et de grandissement

Origine au centre optique

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

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

Origine au foyer

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

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{f}{\overline{FA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}$$

Nature des foyers

Les foyers sont symétriques par rapport au centre optique et sont :

- Réels pour une lentille convergente,
- Virtuels pour une lentilles divergente.