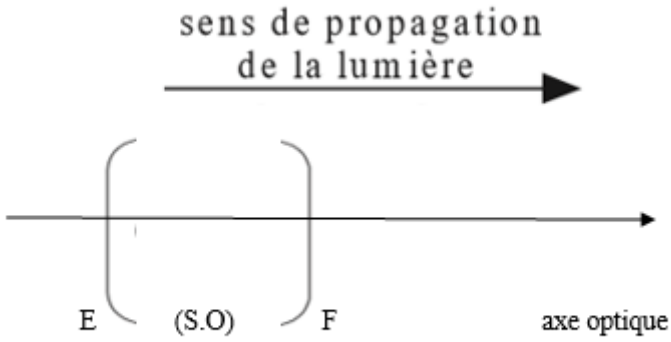
Système optique et ses propriétés :

Le Système optique est constitué d'un ensemble d'instruments d'optique tels que des lentilles ou des miroirs etc., plus généralement de milieux transparents et homogènes séparés de dioptres, comportant une face entrée (E) et une face sortie.

Un système optique est dit centré s'il présente un axe de symétrie appelé axe optique, orientée selon le sens de la lumière incidente par convention de gauche à droite.

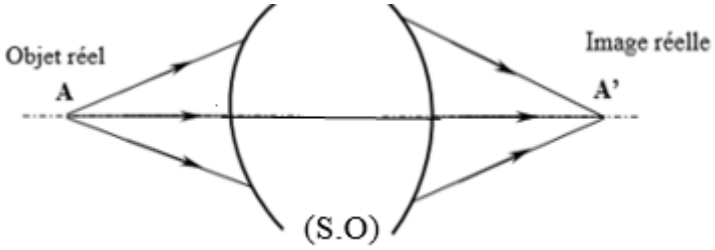


Système optique centré ayant une face entrée et une face sortie.

Notion objet et image :

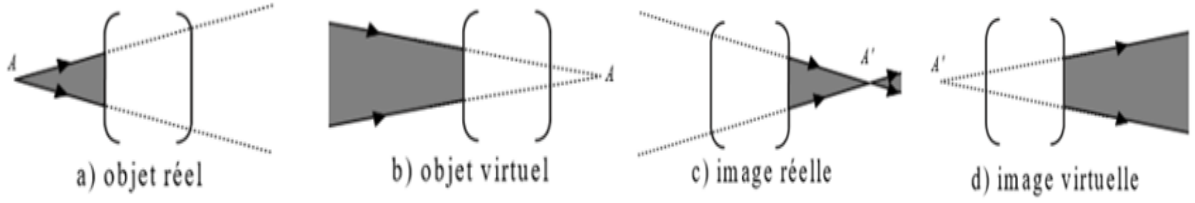
Si les rayons issus d'un point objet A qui traversent (S.O) et convergent vers A'.

A'est appelé image de A (A et A' sont conjugués par rapport au système optique.



Objet est réel si la lumière provient réellement de A (on peut toucher A)

Objet est virtuel si les prolongements des rayons émergents passent par A.

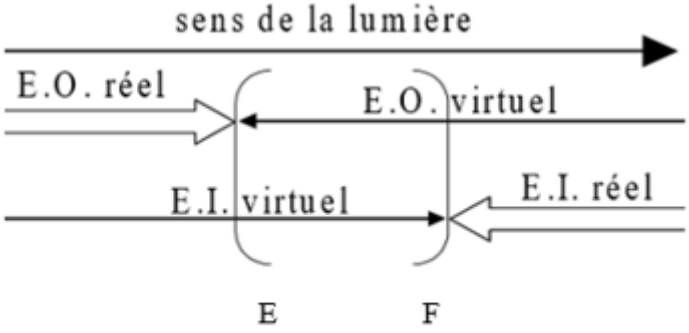


Objets réel ou virtuel

Image réelle ou virtuelle

L’image est réelle si les rayons émergents passent effectivement par A’ (on peut visualiser A’ sur un écran).

L’image est virtuelle si les prolongements des faisceaux émergents passent par A’.

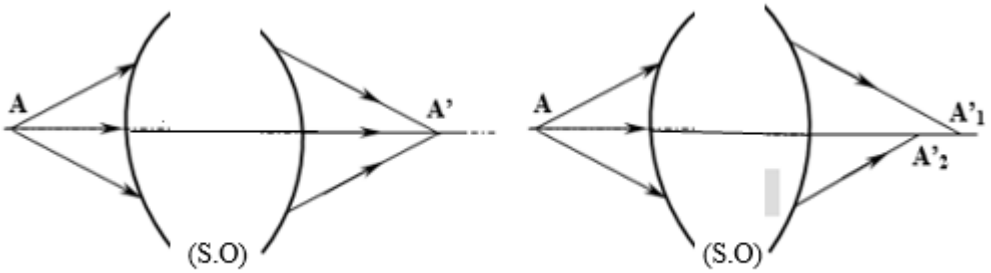


Espace objet et espace image pour un système optique

Notion de stigmatisme :

Un système optique (S.O) est stigmatisme lorsqu’à chaque point A d’un objet correspond un point A’ d l’image. On dit que A et A’ sont conjugués dans (S.O).

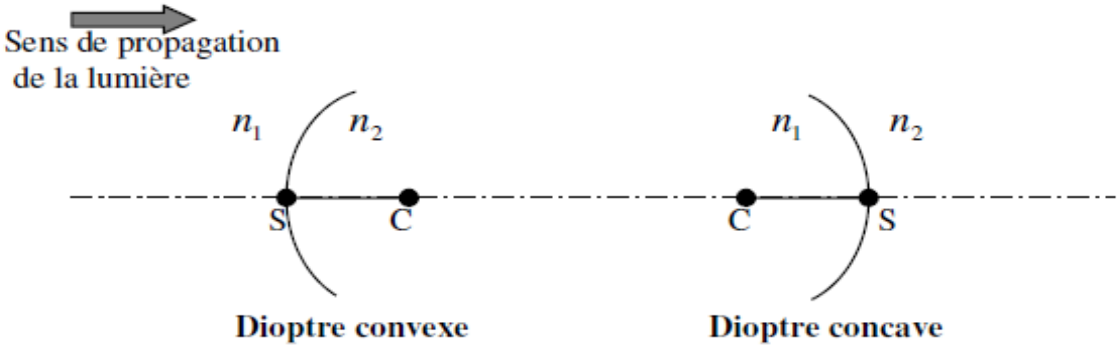
1. **Stigmatisme absolu (rigoureux) :** si les rayons issus de A qui traversent (S.O) passent par A’.
2. **Stigmatisme approché :** si les rayons issus de A qui traversent (S.O) passent au voisinage de A’.



Stigmatisme absolu — stigmatisme approché

Les dioptres sphérique et plans*:*

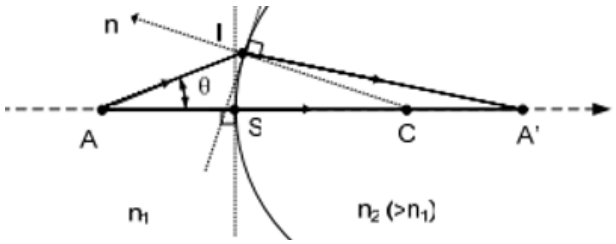
- **Les dioptres sphériques :**



Un dioptre sphérique est constitué par deux milieux transparents homogènes séparés par une surface sphérique de rayon de courbure R. Le sommet du dioptre est noté S et le centre de courbure est noté C. L'axe optique est maintenant un axe orienté dans le sens de la lumière incidente. Son origine est le sommet S du dioptre sphérique.
Si $\overline{SC} < 0$ le dioptre est concave
Si $\overline{SC} > 0$ le dioptre est convexe

Relation de conjugaison du dioptre sphérique:

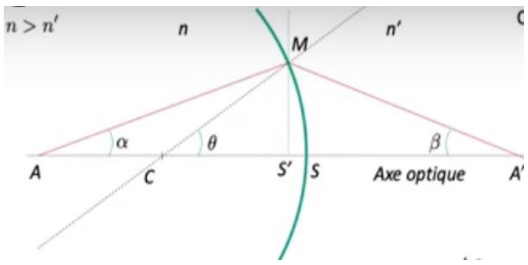
Un dioptre sphérique de centre C et de rayon de courbure R, de sommet S et séparant deux milieux transparents homogènes d'indices n_1 et n_2.



L'objet A et l'image A' sont liés par la relation de conjugaison suivante :

$$\frac{n_2}{\overline{SA'}} - \frac{n_1}{\overline{SA}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$$

Prenant l'exemple d'un dioptre sphérique concave avec n>n'



Dans le triangle ACM :$\alpha + i + \pi - \theta = \pi \Longrightarrow i = \theta - \alpha$

Dans le triangle A'CM : $\theta + \pi - r + \beta = \pi \Longrightarrow r = \theta + \beta$

Si on est dans les conditions de Gauss (les angles sont petits et S'coïncide avec S)

$$tan\theta = \frac{\overline{MS}}{\overline{SC}} \approx \theta$$

$$tan\alpha = \frac{\overline{MS}}{\overline{SA}} \approx \alpha$$

$$tan\beta = \frac{\overline{MS}}{\overline{SA'}} \approx \beta$$

D'autre part, nous avons : $n_1 sini = n_2 sinr$;

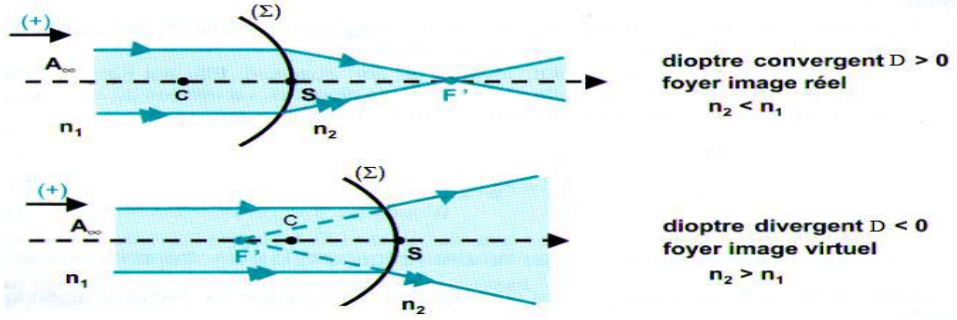
On est dans les condition de Gauss : $n_1 i = n_2 r \implies n_1(\theta - \alpha) = n_2(\theta + \beta)$

$$n_1 \frac{\overline{MS}}{\overline{SC}} - n_1 \frac{\overline{MS}}{\overline{SA}} = n_2 \frac{\overline{MS}}{\overline{SC}} - n_2 \frac{\overline{MS}}{\overline{SA'}}$$

Alors on obtient : $\frac{n_2}{\overline{SA'}} - \frac{n_1}{\overline{SA}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$

$\frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}} = D$: Vergence du dioptre sphérique (appelée également puissance du dioptre)
Son unité est dioptrie $\delta: m^{-1}$
Si D>0: Dioptre convergent
($n_2 - n_1 > 0$ et $\overline{SC} > 0$) ou ($n_2 - n_1 < 0$et $\overline{SC} < 0$
Si D<0: Dioptre divergent
($n_2 - n_1 > 0$ et $\overline{SC} < 0$) ou ($n_2 - n_1 < 0$ et $\overline{SC} > 0$)
Foyers et distances focales :

Un foyer image F': est le point où convergent, après traversée du système optique, les rayons d'un faisceau parallèle. Il est dit principal sur l'axe principal, et secondaire en dehors de cet axe.



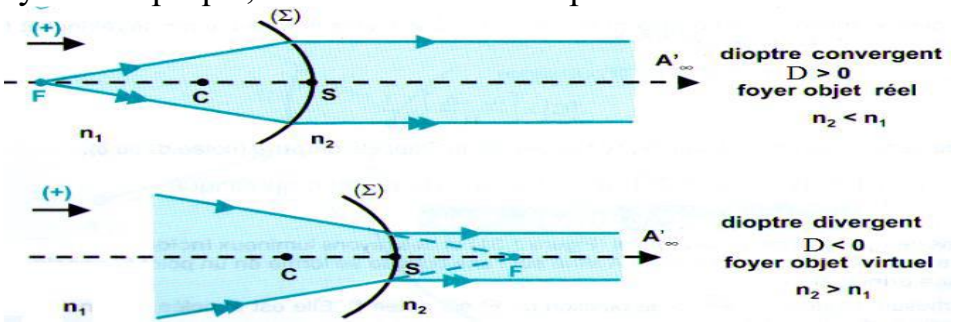
Si l'image A' d'un point ponctuel objet A se trouvant à l'infini se forme en un point F' alors ce
point est appelé Foyer image principal
Distance Focale image: la mesure algébrique $\overline{SF'}$de la position F' est noté f'

$$\frac{n_2}{\overline{SA'}} - \frac{n_1}{\overline{SA}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$$

$\overline{SA} \to \infty$ d'où $\frac{1}{\overline{SA}} \to 0$ et A' coïncide avec F' c.-à-d. $\overline{SA'} = \overline{SF'}$

Alors $\overline{SF'} = \frac{n_2}{n_2 - n_1}\overline{SC} = f'$

Un foyer objet: est le point d'où partent les rayons qui, après traversée du système optique, forment un faisceau parallèle.



Si un objet ponctuel A est situé au point Foyer objet F, son image A' se trouve à l'infini.

Distance Focale objet: la mesure algébrique $\overline{SF}$ de la position F est noté f

$$\frac{n_2}{\overline{SA'}} - \frac{n_1}{\overline{SA}} = \frac{n_2 - n_1}{\overline{SC}}$$

$\overline{SA'} \to \infty$ d'où $\frac{1}{\overline{SA'}} \to 0$ et A coïncide avec F c.-à-d. $\overline{SA} = \overline{SF}$

Alors $\overline{SF} = \frac{n_1}{n_1 - n_2}\overline{SC} = f$

$$\frac{f}{f'} = -\frac{n_1}{n_2} < 0$$

Le foyer image F' est le conjugué du foyer objet F

Relation entre distance focale et vergence:

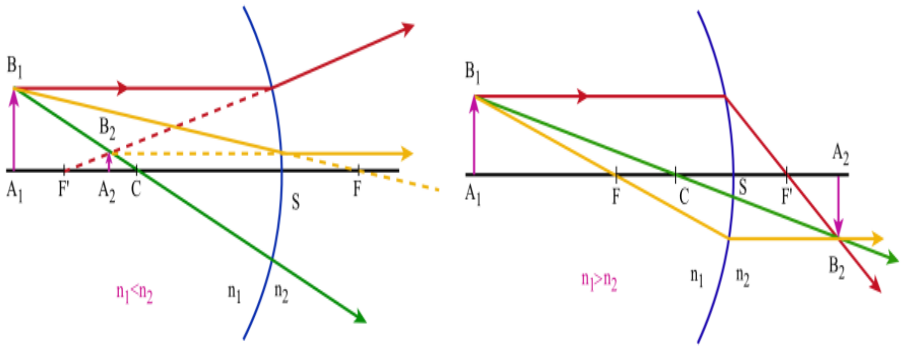
$$D = -\frac{n_1}{f} \text{ ou } D = \frac{n_2}{f'}$$

Si D > 0 donc f' > 0 et les foyers objets et images sont réels

Si D < 0 donc f' > 0 et les foyers objets et images sont virtuels

Image A'B' d'un objet AB:

• Dans les conditions de Gauss
• Tout rayon passant par le centre de courbure C n'est pas dévié,
• Tout rayon incident parallèle à l'axe optique donne un rayon émergent passant par F',
• Tout rayon incident passant par F donne un rayon émergent parallèle à l'axe optique,
• L'image A'B' est PERPENDICULAIRE à l'axe optique,



Relation de Newton: $\overline{F'S}.\overline{FS} = \overline{F'A'}.\overline{FA} = f.f' = f^2$

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

- Si γ>0 alors l'image est et l'objet ont le même sens c.-à-d. l'image est dite « droite »
- Si γ <0 alors l'image est et l'objet ont deux sens opposé c.-à-d. l'image est dite « renversée »
- Si $|\gamma| > 1$ l'image est plus grande que son objet
- Si $|\gamma| < 1$ l'image est plus petite que son objet

- **Les dioptres plans :**

Un dioptre plan est une surface plane séparant deux milieux transparents homogènes d'indices n_1 et n_2

Relation de conjugaison du dioptre plan :

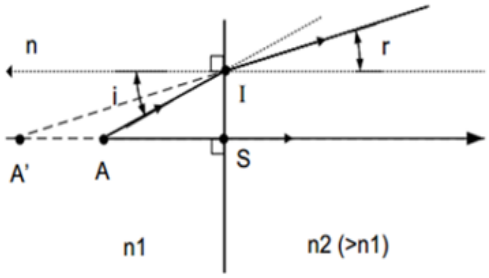


Image virtuelle A' par réfraction d'un objet A à travers un dioptre plan

Triangle ASI $\tan i = \frac{\overline{SI}}{\overline{SA}}$

Triangle A'SI $\tan r = \frac{\overline{SI}}{\overline{SA'}}$

D'après la loi de Snell et Descartes : $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$ et d'autre part si on suppose que i et r sont petits : $\cos i \approx \cos r \approx 1$

On obtient la loi de conjugaison des dioptres plans :

$$\frac{n_1}{\overline{SA}} = \frac{n_2}{\overline{SA'}}$$

Ce rapport est toujours positif, l'objet A et son image A' sont du même côté par rapport à l'axe optique.

Les miroirs plans et sphériques :

On appelle miroir une surface de verre recouverte d'un mince dépôt métallique qui la rend parfaitement réfléchissante.

1)Miroirs plans :

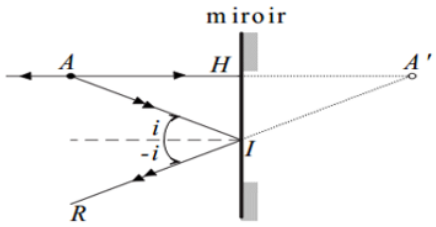
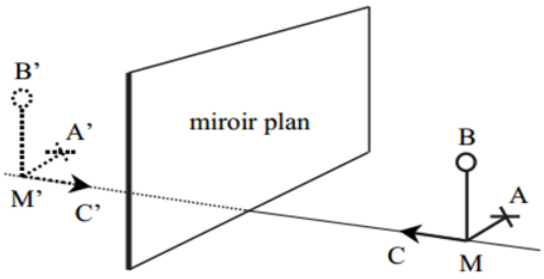


Image d'un point objet réel sur un miroir plan



L'image d'un objet étendu par un miroir plan

Les triangles AHI et A'HI sont identiques or le point objet A et le point image A' sont symétrique par rapport au plan du miroir. Donc le miroir plan est rigoureusement stigmatisme.

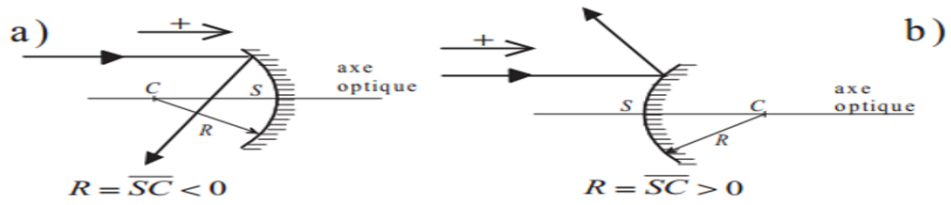
A et A' sont de nature différente ⇔ Si A est réelle (virtuelle), A' est virtuelle (réelle).

Si l'objet étendu MB est parallèle au miroir ; alors M' et B' sont respectivement symétriques de M et B par rapport au miroir ⇒ M'B'=MB l'image a même taille que son objet.

D'après la loi de conjugaison : $\overline{SA} = \overline{SA'}$

2)Miroirs sphériques :

Un miroir sphérique est une portion de sphère parfaitement réfléchissante sur l'une de ces faces. On distingue de types de miroirs sphériques



a) Miroir concave b) Miroir convexe

Miroir concave si la matière réfléchissante se trouve du côté extérieur de la portion de sphère, Miroir convexe c'est l'inverse c.-à-d. la matière réfléchissante se trouve à l'intérieur de la portion sphère.

Un miroir sphérique est caractérisé par :

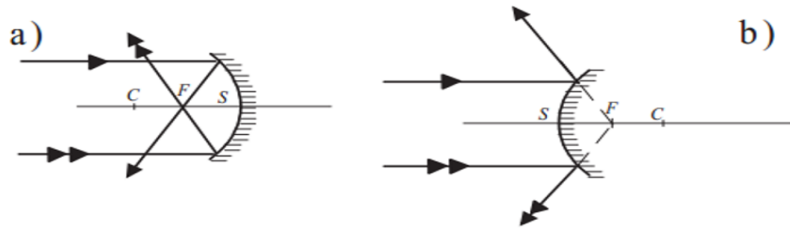
- Le centre C de la sphère qui est le Centre du miroir.
- Le point S qui est le Sommet du miroir.
- L'axe optique qui passe par les points C et S.
- Le rayon de la sphère $R = \overline{SC}$ qui est la rayon de courbure du miroir ;

Si $R = \overline{SC} < 0$ le miroir est concave ;

Si $R = \overline{SC} > 0$ le miroir est convexe ;

Le foyer d'un miroir sphérique (point foyer) :

Un point de l'axe optique est dit Foyer de telle manière, si tout objet placé en F son image se forme à l'infini sur l'axe optique, et inversement tout image formée en F son objet est à l'infini sur l'axe optique.



a) Foyer d'un miroir concave b) Foyer d'un miroir convexe

Propriétés du foyer :

Tout rayon parallèle à l'axe optique d'un miroir sphérique est réfléchi vers le point foyer ;

Tout rayon incident passant le point foyer d'un miroir sphérique est réfléchi parallèlement à l'axe optique ;

On a également $\overline{SF} = \frac{\overline{SC}}{2} = \frac{R}{2}$;

Si $\overline{SF} = \frac{\overline{SC}}{2} < 0$ le miroir est concave

Si $\overline{SF} = \frac{\overline{SC}}{2} > 0$ le miroir est convexe

Autres propriétés des rayons lumineux principaux:

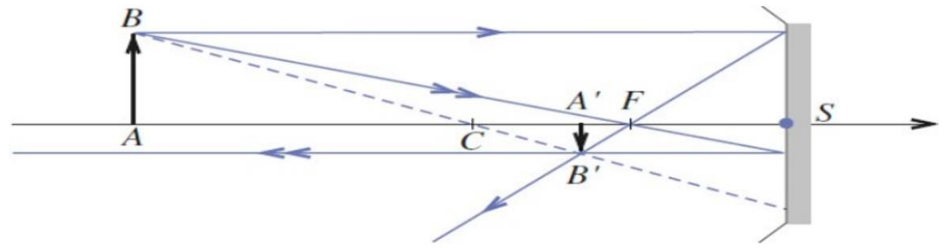
Un rayon passant par le centre optique C n'est pas dévié ;

Un rayon passant par le sommet S d'un angle αest réfléchi par le même angle.

Constructions d'image d'un objet :

Miroir concave :

- $-\infty < \overline{SA} < \overline{SC}$



Objet réel image réelle, renversée, plus petite

- $\overline{SC} < \overline{SA} < \overline{SF}$

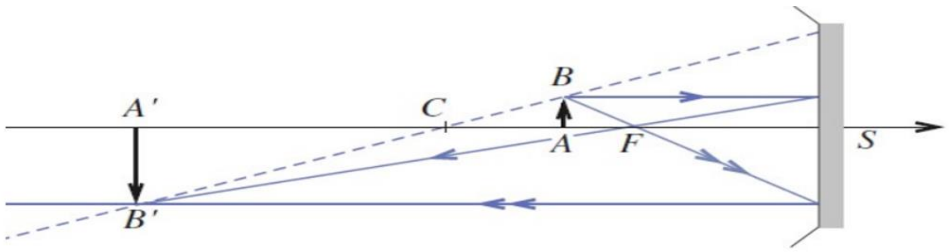
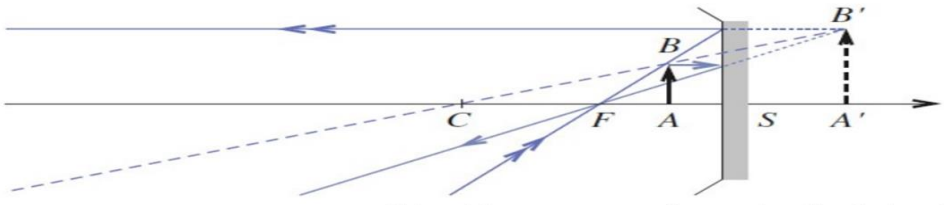


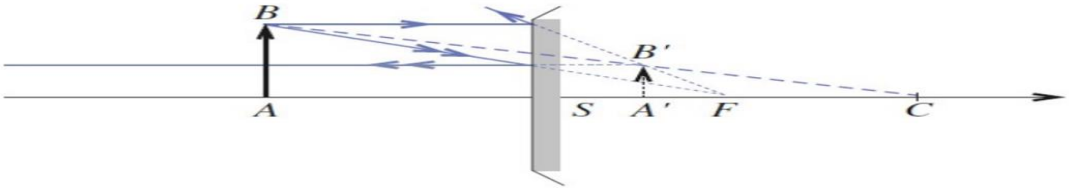
Image réelle, renversée, plus grande objet réel

- $\overline{SF} < \overline{SA}$



Objet réel Image virtuelle, droite, plus grande

Miroir convexe :



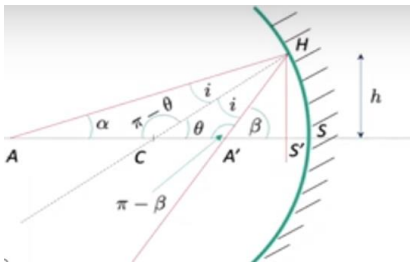
Objet réel image virtuelle, droite, plus petite

Les relations de conjugaison :

$\frac{1}{\overline{SA\prime}} + \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{2}{\overline{SC}}$ (Par rapport au Sommet)

$\overline{SA'} < 0 \Longrightarrow$ L'image est réelle ;

$\overline{SA'} > 0 \Longrightarrow$ L'image est virtuelle ;



Dans le triangle ACH :$\alpha + i + \pi - \theta = \pi \Longrightarrow \alpha = \theta - i$

Dans le triangle A'CH : $\theta + i + \pi - \beta = \pi \Longrightarrow \beta = \theta + i$

Si on est dans les conditions de Gauss (les angles sont petits et S'coïncide avec S)

$tan\theta = \frac{h}{\overline{SC}}$

$tan\alpha = \tan(\theta - i) = \frac{h}{\overline{SA}} \approx \theta - i$

$tan\beta = \tan(\theta + i) = \frac{h}{\overline{SA'}} \approx \theta + i$

$\frac{h}{\overline{SA}} + \frac{h}{\overline{SA\prime}} = 2\theta \Rightarrow \frac{h}{\overline{SA}} + \frac{h}{\overline{SA'}} = 2\frac{h}{\overline{SC}}$

Alors on obtient : $\frac{1}{\overline{SA}} + \frac{1}{\overline{SA\prime}} = \frac{2}{\overline{SC}}$

Autres relations de conjugaisons :

$\frac{1}{\overline{CA\prime}} + \frac{1}{\overline{CA}} = \frac{2}{\overline{CS}}$ (Par rapport au Centre)

$\frac{1}{\overline{SA\prime}} + \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{1}{\overline{SF}}$ (Par rapport au Foyer)

Le grandissement :

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

Si $\boldsymbol{\gamma > 0}$ l'image est droite

Si $\boldsymbol{\gamma < 0}$ l'image est renversée

Si $\boldsymbol{|\gamma| > 1}$ l'image est plus grande que son objet

Si $\boldsymbol{|\gamma| < 1}$ l'image est plus petite que son objet