

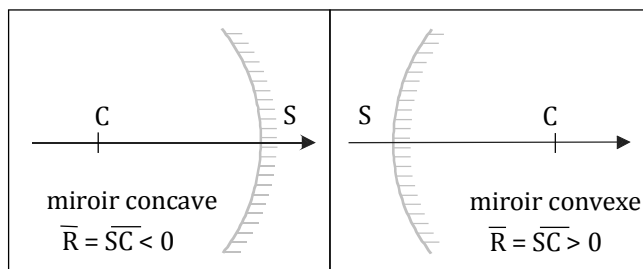
LES MIROIRS SPHERIQUES

Dans ce dernier chapitre, nous analyserons le fonctionnement des miroirs sphériques en nous appuyant sur tout ce que nous avons déjà appris : les lois de la réflexion, le stigmatisme et l'aplanétisme, les définitions des relations de conjugaison et de grandissement, la définition des foyers et des plans focaux, les notions de réalité et de virtualité.

C'est donc à la fois un chapitre sur les miroirs sphériques, nouvel instrument d'optique, et une synthèse de notre programme. Bon courage !

A. Définitions

1. Miroir sphérique



Un miroir sphérique est une portion de sphère réfléchissante. On distingue les miroirs sphériques concaves (creux) des miroirs sphériques convexes (bombés).

Figure 13. 1 : Les deux types de miroirs sphériques.

Histoire : Les miroirs concaves, en bronze, en argent ou en or, sont connus dès l'Antiquité. On raconte qu'au 3^e siècle avant notre ère, Archimède aurait mis le feu aux navires romains attaquant Syracuse à l'aide de « miroirs ardents » c'est-à-dire de miroirs concaves qui réfléchissaient et concentraient la lumière du Soleil sur les vaisseaux ennemis.

2. Caractéristiques géométriques

a) Centre du miroir

Le centre C de la sphère est aussi appelé centre du miroir.

b) Axe de symétrie

Tout miroir sphérique possède un axe de symétrie de révolution : le miroir peut être engendré par rotation autour de cet axe. Celui-ci est orienté dans le sens de la lumière incidente.

Le centre du miroir appartient à cet axe.

c) Sommet du miroir

L'intersection de l'axe de symétrie et du miroir s'appelle le sommet du miroir, noté S .

d) Rayon du miroir

Le rayon de la sphère est aussi appelé rayon du miroir. On définit encore le rayon algébrique mesuré sur l'axe du miroir orienté dans le sens de la lumière incidente :

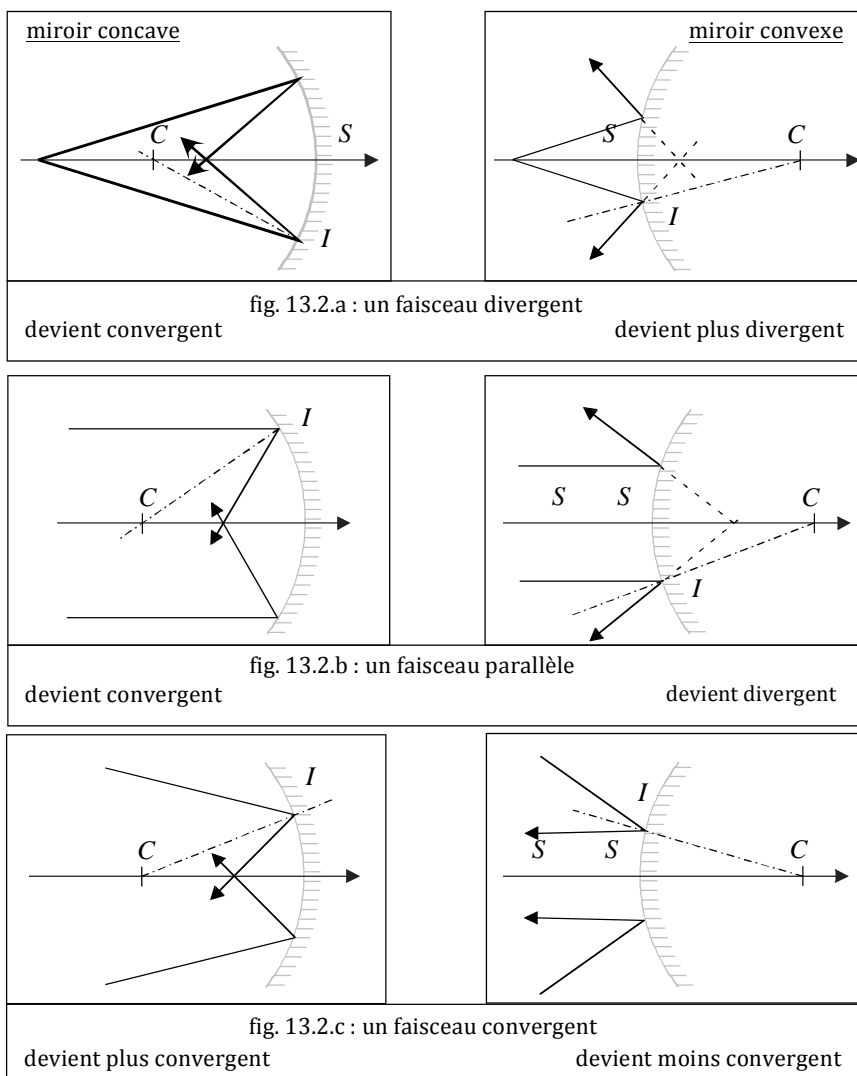
$$\overline{R} = \overline{SC}$$

Pour un miroir concave, il est négatif et pour un miroir convexe, positif.

C'est la seule grandeur qui décrit le miroir alors que pour décrire une lentille il faut donner deux rayons de courbure et trois indices (des deux milieux extrêmes et de la lentille).

B. Analyse qualitative de l'effet des miroirs sphériques sur un faisceau lumineux

Figure 13.2 : Etude qualitative de la marche d'un faisceau lumineux.



Dans les schémas ci-contre, le rayon réfléchi est tracé grâce aux lois de la réflexion¹. La normale au miroir (CI) est mise en évidence pour visualiser l'égalité des angles d'incidence et de réflexion. Ces schémas montrent qu'un miroir sphérique concave est un dispositif optique convergent tandis qu'un convexe est divergent.

¹ Sur les lois de la réflexion, voir chapitre III Réflexion, réfraction, paragraphe B.2.

C. Stigmatisme et aplanétisme²

1. Les deux cas de stigmatisme rigoureux³

a) Au centre

Nous considérons un point objet lumineux placé au centre C d'un miroir concave.

Le rayon lumineux CI émis par C arrive perpendiculairement au miroir car c'est un rayon de la sphère. L'angle d'incidence est donc nul, $i = 0$. Donc l'angle de réflexion aussi, $i' = 0$. Donc IC est le rayon réfléchi.

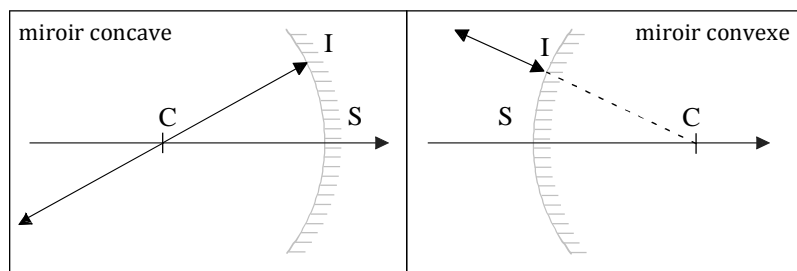


Figure 13.3 : Stigmatisme rigoureux des miroirs sphériques en leur centre.

Ce résultat est vrai quel que soit le rayon incident CI , c'est à dire quel que soit le point d'incidence I . Donc tout rayon lumineux issu de C repasse par C après réflexion. En d'autres termes, C est exactement le point image du point objet C .

Il y a stigmatisme rigoureux du miroir sphérique en son centre.

Dans le cas du miroir concave, C est objet réel et image réelle.

Dans le cas du miroir convexe, le rayon lumineux se dirigeant vers C est réfléchi en semblant provenir de C ; C est objet virtuel et image virtuelle.

b) Au sommet

Nous considérons maintenant un point objet placé au sommet S du miroir.

La normale en S au miroir est l'axe du miroir. Un rayon lumineux incident IS , passant par S , forme avec l'axe un angle d'incidence i . Il se réfléchit en un rayon SR appartenant au plan d'incidence et formant avec l'axe du miroir l'angle $i' = i$.

² Pour les notions de stigmatisme et d'aplanétisme rigoureux ou approché, voir les chapitres V et VI sur la formation des images dans l'exemple du miroir plan puis du dioptré plan.

³ Pour les notions de stigmatisme et d'aplanétisme rigoureux, voir le chapitre V sur la formation des images dans l'exemple du miroir plan.

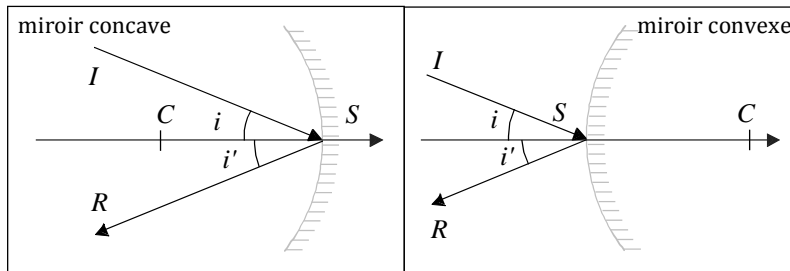


Figure 13. 4 : Stigmatisme rigoureux des miroirs sphériques en leur sommet.

Ce résultat est vrai quel que soit le rayon incident c'est à dire quel que soit l'angle d'incidence i . De ce fait tout rayon lumineux incident arrivant en S se réfléchit en partant de S . Donc S est exactement le point image du point objet S .

Le miroir sphérique est rigoureusement stigmatique en son sommet.

c) Marche des rayons lumineux

Nous avons ainsi rencontré deux types de rayons incidents particuliers et nous pouvons extraire de ce qui précède que :

Un rayon incident passant par le centre est réfléchi sur lui-même.

Un rayon incident passant par le sommet est réfléchi symétriquement à l'axe optique.

2. Stigmatisme et aplanétisme approchés⁴

Nous admettrons que pour les autres points et dans les conditions de Gauss⁵, les miroirs sphériques sont stigmatiques et aplanétiques de façon approchée.

Dans ces conditions, la calotte sphérique utilisée est peu étendue par rapport au rayon du miroir, donc les miroirs sont représentés par les schémas⁶ ci-dessous :

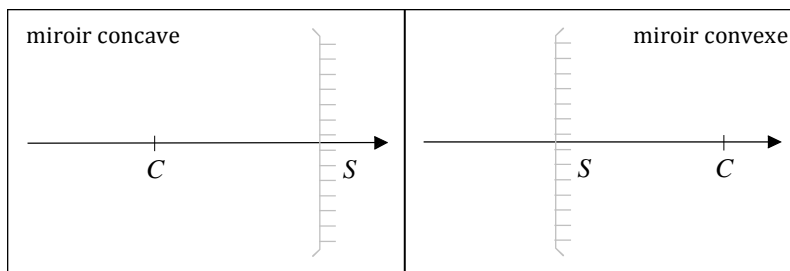


Figure 13. 5 : Schémas conventionnels des miroirs sphériques.

On indique la concavité ou la convexité du miroir par des tirets inclinés en haut et en bas de la surface réfléchissante, ainsi qu'en plaçant son centre.

⁴ Pour plus de détails sur les notions de stigmatisme et d'aplanétisme approchés, voir le chapitre VI Formation des images dans l'exemple du dioptré plan.

⁵ Sur les conditions de Gauss, voir le chapitre VII Les lentilles sphériques, paragraphe D.1.

⁶ Ce type de schéma a déjà été utilisé pour les lentilles sphériques minces, chapitre VII.

D. Relations de conjugaison et de grandissement avec origine au sommet ou au centre⁷

1. Construction de l'image

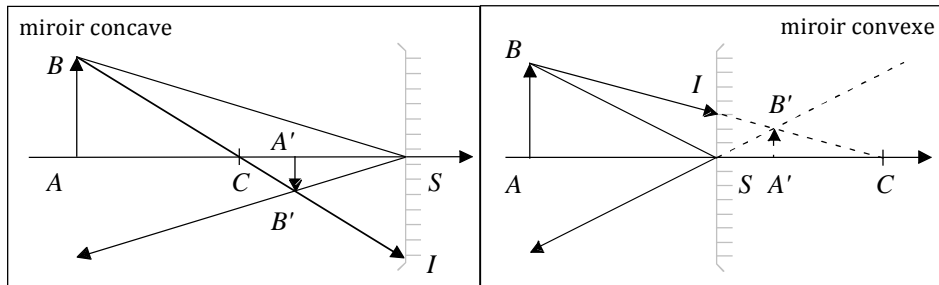


Figure 13. 6 : Construction de l'image utilisant le centre et le sommet.

Un rayon lumineux issu de B et passant par le centre est réfléchi sur lui-même. Un rayon lumineux issu de B et passant par le sommet est réfléchi symétriquement par rapport à l'axe du miroir.

Le stigmatisme approché nous assure que l'image B' de B est à l'intersection de ces deux rayons réfléchis. L'image A' de A est alors obtenue par aplanétisme.⁸

Remarque : le schéma des miroirs sphériques ne respecte pas la même échelle le long de l'axe optique et perpendiculairement à celui-ci. Cela a pour conséquence que les figures ne montrent pas l'égalité des angles d'incidence et de réflexion, sauf au sommet. Pour visualiser cela, il suffit de se rappeler qu'un rayon CI de la sphère miroir lui est en réalité normal.

2. Les deux paires de triangles semblables

Dans le schéma du miroir concave précédent, les triangles $SA'B'$ et SAB sont semblables. Donc :

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{SA'}{SA}$$

De plus, $\overline{SA'}$ et \overline{SA} sont de même signe tandis que $\overline{A'B'}$ et \overline{AB} sont de signes contraires (les triangles sont inversement semblables) donc :

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}} \quad (1)$$

Dans le schéma précédent, les triangles $CA'B'$ et CAB sont semblables donc :

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{CA'}{CA}$$

⁷ Pour la définition d'une relation de conjugaison et du grandissement, leurs propriétés et les conventions d'orientation, voir le chapitre V Formation des images dans l'exemple du miroir plan.

⁸ Pour plus de détails sur ce raisonnement, voir le chapitre IX sur les lentilles minces convergentes.

De plus, $\overline{CA'}$ et \overline{CA} sont de signes contraires ainsi que $\overline{A'B'}$ et \overline{AB} donc :

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{CA'}}{\overline{CA}} \quad (2)$$

Nous avons établi ces relations sur le cas d'un objet réel situé avant le centre d'un miroir concave ; mais elles sont valables dans tous les cas de figures. (Par exemple dans le cas d'un objet réel et d'un miroir convexe comme sur la figure 13.6 de droite, mais aussi avec un objet virtuel, etc.) C'est l'intérêt fondamental des relations algébriques.

3. Relations de grandissement

Les deux relations précédentes donnent immédiatement les relations de grandissement avec origine au sommet puis au centre :

$$\boxed{\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}} \quad \text{et} \quad \boxed{\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{CA'}}{\overline{CA}}}$$

4. Relation de conjugaison avec origine au sommet

En rassemblant les deux relations précédentes, nous obtenons :

$$-\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}} = \frac{\overline{CA'}}{\overline{CA}}$$

En arrangeant le deuxième quotient grâce à la relation de Chasles, nous obtenons :

$$-\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}} = \frac{\overline{CS} + \overline{SA'}}{\overline{CS} + \overline{SA}}$$

Grâce au produit en croix, il vient :

$$\begin{aligned} -\overline{SA'} \overline{CS} + \overline{SA} &= \overline{SA} \overline{CS} + \overline{SA'} \\ -\overline{SA'} \overline{CS} - \overline{SA'} \overline{SA} &= \overline{SA} \overline{CS} + \overline{SA} \overline{SA'} \\ -\overline{SA} \overline{CS} - \overline{SA'} \overline{CS} &= 2 \overline{SA} \overline{SA'} \\ \overline{SA} \overline{SC} + \overline{SA'} \overline{SC} &= 2 \overline{SA} \overline{SA'} \end{aligned}$$

En divisant les deux membres par $\overline{SA} \overline{SA'} \overline{SC}$, nous obtenons la relation de conjugaison :

$$\boxed{\frac{1}{\overline{SA'}} + \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{2}{\overline{SC}}}$$

5. Relation de conjugaison avec origine au centre

Nous commençons comme pour la précédente, mais nous utilisons la relation de Chasles pour introduire C et non S :

$$-\frac{\overline{SC} + \overline{CA'}}{\overline{SC} + \overline{CA}} = \frac{\overline{CA'}}{\overline{CA}}$$

$$\begin{aligned}
 -\overline{SC} + \overline{CA'} \overline{CA} &= \overline{SC} + \overline{CA} \overline{CA'} \\
 -\overline{SC} \cdot \overline{CA} - \overline{CA'} \cdot \overline{CA} &= \overline{SC} \cdot \overline{CA'} + \overline{CA} \cdot \overline{CA'} \\
 -\overline{SC} \cdot \overline{CA} - \overline{SC} \cdot \overline{CA'} &= 2 \overline{CA} \cdot \overline{CA'} \\
 \overline{CS} \cdot \overline{CA} + \overline{CS} \cdot \overline{CA'} &= 2 \overline{CA} \cdot \overline{CA'}
 \end{aligned}$$

En divisant les deux membres par $\overline{CA} \cdot \overline{CA'} \cdot \overline{CS}$, nous obtenons la relation de conjugaison :

$$\boxed{\frac{1}{\overline{CA'}} + \frac{1}{\overline{CA}} = \frac{2}{\overline{CS}}}$$

En fait, cette relation est moins utile que la précédente car le sommet du miroir est aisément repérable tandis que son centre l'est moins.

6. Remarques

Pour un objet situé au sommet, la relation de conjugaison avec origine au sommet donne :

$$\frac{1}{\overline{SA'}} = \frac{2}{\overline{SC}} - \frac{1}{\overline{SS}} = \pm\infty \quad \text{donc} \quad \overline{SA'} = 0 : \text{l'image de } S \text{ est en } S.$$

La relation de grandissement avec origine au sommet est alors inopérante car elle conduit à la forme indéterminée $0/0$. Il faut alors utiliser l'autre relation qui donne $\gamma = +1$.

Pour un objet situé au centre, cette remarque se transpose immédiatement ; son image est située au centre (la relation de conjugaison avec origine au centre donne immédiatement $\overline{CA'} = 0$) ; la relation de grandissement avec origine au sommet donne $\gamma = -1$.

E. Foyers, plans focaux

1. Positions des foyers image et objet⁹

a) Foyer image

Le diagramme ci-dessous résume la définition du foyer image F' :

$$A_\infty \xrightarrow{(M)} F'$$

En remplaçant A par A_∞ et A' par F' dans la relation de conjugaison origine au sommet, nous obtenons :

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{\overline{SF'}} + \frac{1}{\infty} &= \frac{2}{\overline{SC}} \\
 \frac{1}{\overline{SF'}} &= \frac{2}{\overline{SC}}
 \end{aligned}$$

⁹ Pour la définition des foyers ainsi que la notion d'objet ou d'image à l'infini, voir le chapitre VIII Foyers des lentilles sphériques minces.

$$\overline{SF'} = \frac{1}{2} \overline{SC}$$

Cette égalité montre que le foyer image est au milieu du segment SC .

Avec la relation de conjugaison origine au centre, nous aurions obtenu :

$$\overline{CF'} = \frac{1}{2} \overline{CS}$$

égalité qui s'interprète de la même façon.

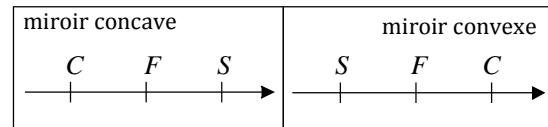


Figure 13. 7 : Positions relatives du centre, du foyer et du sommet.

b) Foyer objet

Le diagramme ci-dessous résume la définition du foyer objet F :

$$F \xrightarrow{(M)} A'_\infty$$

En remplaçant A' par A'_∞ et A par F dans la relation de conjugaison avec origine au sommet, nous obtenons :

$$\frac{1}{\infty} + \frac{1}{SF} = \frac{2}{SC}$$

$$\frac{1}{SF} = \frac{2}{SC}$$

$$\overline{SF} = \frac{1}{2} \overline{SC}$$

Cette égalité montre que le foyer objet est au milieu du segment SC . Par conséquent les deux foyers sont situés en un même point.

De la relation de conjugaison avec origine au centre, nous aurions obtenu :

$$\overline{CF} = \frac{1}{2} \overline{CS}$$

égalité qui s'interprète de la même façon.

c) Distance focale

Les distances focales image et objet sont égales :

$$f' = \overline{SF'} = f = \overline{SF} = \frac{1}{2} \overline{SC} = \frac{1}{2} \overline{R}$$

Un miroir concave est convergent et sa distance focale est négative ; un miroir convexe est divergent et sa distance focale est positive.

Cette situation est différente de celle des lentilles. Cela est dû à la réflexion de la lumière qui reploie l'axe optique sur lui-même ; pour retrouver les mêmes signes qu'avec les lentilles, il faudrait compter positivement les positions objets dans le sens de la lumière incidente puis compter positivement les positions images dans le sens de la lumière réfléchie.

Remarque : La distance focale dépend de la seule longueur caractéristique du miroir, son rayon.

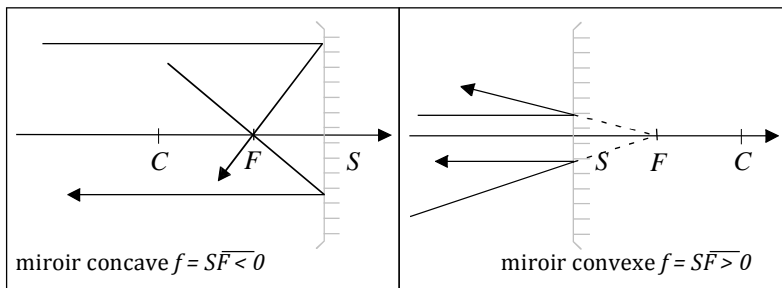
d) Marche des rayons lumineux passant par un foyer

Comme pour les lentilles sphériques, nous venons donc de rencontrer deux types de rayons incidents particuliers :

Le rayon réfléchi d'un rayon incident parallèle à l'axe optique passe par le foyer.

Un rayon incident passant par le foyer est réfléchi parallèlement à l'axe optique.

Figure 13. 8 : Marche des rayons lumineux passant par un foyer.



(Pour chaque miroir, les deux cas de rayons lumineux se correspondent par la loi du retour inverse de la lumière.)

e) Foyers secondaires, plans focaux¹⁰

Les diagrammes ci-dessous résument les définitions des foyers image et objet secondaires :

$$B_{\infty} \xrightarrow{(M)} F'_S \quad \text{et} \quad F_S \xrightarrow{(M)} B'_{\infty}$$

L'ensemble des foyers images secondaires forme le plan focal image tandis que les foyers objets secondaires forment le plan focal objet. Pour les miroirs sphériques, ces deux plans sont confondus. Le plan focal est le plan perpendiculaire à l'axe du miroir contenant le foyer F .

f) Marche des rayons passant par un foyer secondaire

Un rayon lumineux passant par un foyer objet secondaire F_S est réfléchi parallèlement à l'axe secondaire CF_S qui joint le centre du miroir au foyer secondaire.

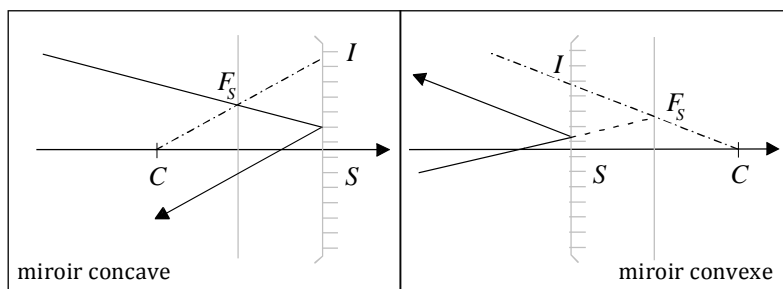
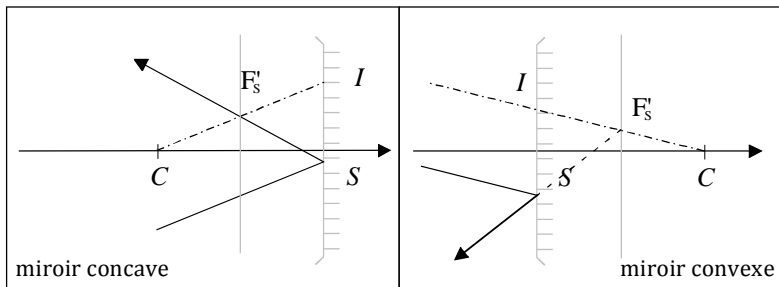


Figure 13. 9 : Marche d'un rayon passant par un foyer objet secondaire.

¹⁰ Pour plus de détails sur les foyers secondaires et les plans focaux, voir le chapitre VIII sur les foyers des lentilles.

Un rayon lumineux parallèle à un axe secondaire CI passe, après réflexion, par le foyer image secondaire correspondant F'_s .

Figure 13. 10 : Marche d'un rayon passant par un foyer image secondaire.

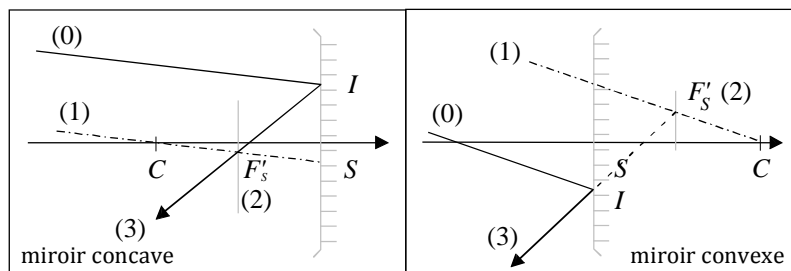


(Pour chaque type de miroir, les deux rayons lumineux (fig. 13.9 et 13.10) se correspondent par la loi du retour inverse.)

2. Construction du rayon réfléchi ou du rayon incident¹¹

a) Méthode de l'objet à l'infini

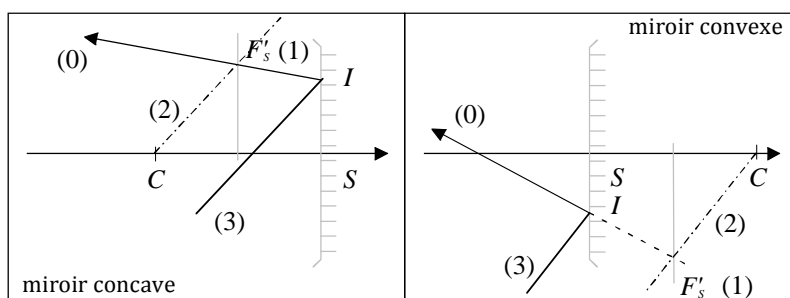
Figure 13. 11 : Construction du rayon réfléchi par la méthode de l'objet à l'infini.



Les schémas ci-contre présentent la construction du rayon réfléchi lorsque le rayon incident (0) est connu. Les étapes successives de la construction sont numérotées.

Le rayon incident (0) est donné. Nous traçons la parallèle (1) au rayon incident passant par le centre. Celle-ci coupe le plan focal image en F'_s (2). Le rayon réfléchi (3) passe par le point d'incidence I et par F'_s .

Figure 13. 12 : Construction du rayon incident par la méthode de l'objet à l'infini.



Les schémas ci-contre présentent la construction du rayon incident lorsque le rayon réfléchi (0) est connu.

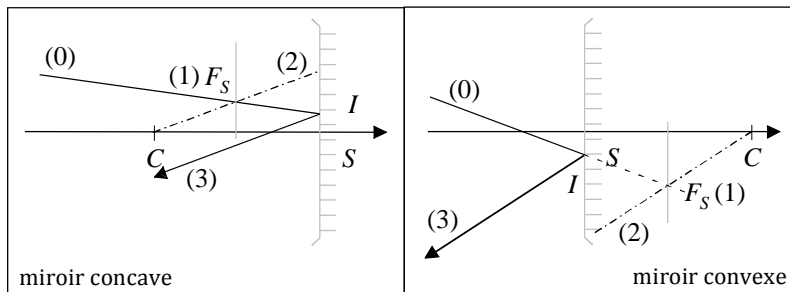
Le rayon réfléchi (0) est donné. Il coupe le plan focal image en F'_s (1). Nous traçons l'axe secondaire (CF'_s) (2). Le rayon incident (3) est la parallèle à (CF'_s) passant par le point d'incidence I .

¹¹ Pour plus de détails sur ces constructions, voir le chapitre foyers des lentilles sphériques minces.

b) Méthode de l'image à l'infini

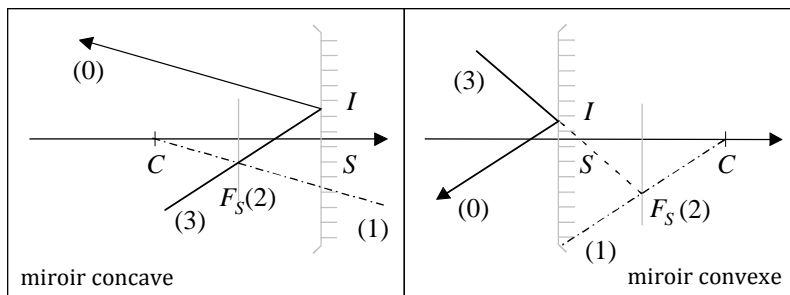
Maintenant, les deux groupes de schémas suivants présentent les constructions par la méthode de l'image à l'infini.

Figure 13. 13 : Construction du rayon réfléchi par la méthode de l'image à l'infini.



Le rayon incident (0) est donné. Celui-ci coupe le plan focal objet en F_S (1). Nous traçons l'axe secondaire (CF_S) (2). Le rayon réfléchi (3) est la parallèle à (CF_S) passant par le point I d'incidence.

Figure 13. 14 : Construction du rayon incident par la méthode de l'image à l'infini.



Le rayon réfléchi (0) est donné. Nous traçons l'axe secondaire parallèle (1) au rayon réfléchi. Celui-ci coupe le plan focal objet en F_S (2). Le rayon incident (3) passe par le point d'incidence I et par F_S .

F. Relations de conjugaison et de grandissement avec origine au foyer¹²

1. Construction de l'image

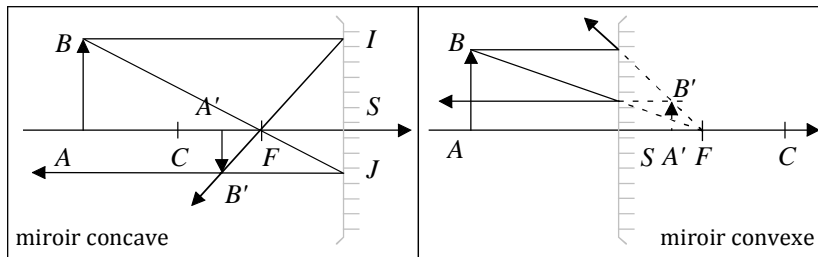


Figure 13.13 : Construction de l'image utilisant les foyers.

2. Les deux paires de triangles semblables

Dans les schémas ci-dessus, les triangles FSJ et FAB sont semblables. Cela est vrai que le miroir soit concave ou convexe. La relation suivante est donc vérifiée :

$$\frac{\overline{SJ}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{FS}}{\overline{FA}} \quad \text{Or } \overline{SJ} = \overline{A'B'}, \text{ donc :} \quad \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{FS}}{\overline{FA}} \quad (1)$$

De même, les triangles FSI et $FA'B'$ sont semblables, donc :

$$\frac{\overline{A'B'}}{\overline{SI}} = \frac{\overline{FA'}}{\overline{FS}} \quad \text{Or } \overline{SI} = \overline{AB}, \text{ donc :} \quad \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{FA'}}{\overline{FS}} \quad (2)$$

3. Relation de grandissement avec origine au foyer

Les relations (1) et (2) donnent immédiatement les deux relations de grandissement :

$$\boxed{\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{FS}}{\overline{FA}}} \quad \text{et} \quad \boxed{\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{FA'}}{\overline{FS}}}$$

4. Relation de conjugaison avec origine au foyer

L'égalité des relations de grandissement conduit à la relation de conjugaison :

$$\frac{\overline{FS}}{\overline{FA}} = \frac{\overline{FA'}}{\overline{FS}}$$

$$\boxed{\overline{FA'}. \overline{FA} = \overline{FS}^2}$$

G. Discussion des différents cas possibles selon la position de l'objet pour un miroir concave

Sur l'axe optique, trois points particuliers délimitent la position des objets : le centre, le foyer et le sommet du miroir. Il y a donc quatre cas généraux (avant le centre, entre le centre et le foyer,

¹² Pour la définition des relations de conjugaison et de grandissement et les conventions d'orientation, voir le chapitre V Formation des images dans l'exemple du miroir plan.

entre le foyer et le sommet, après le sommet) plus quatre cas particuliers (à l'infini, au centre, au foyer, au sommet).

Deux remarques :

Rappelons qu'un objet est considéré comme à l'infini dès que sa distance est grande devant la distance focale.¹³

Nous allons voir que ces différents cas se correspondent deux à deux par la loi du retour inverse de la lumière.

Cette discussion mettra en évidence les diverses utilisations des miroirs sphériques concaves : télescope, miroirs de maquillage ou de dentiste.

1. Les deux cas objet ou image à l'infini

a) Schémas

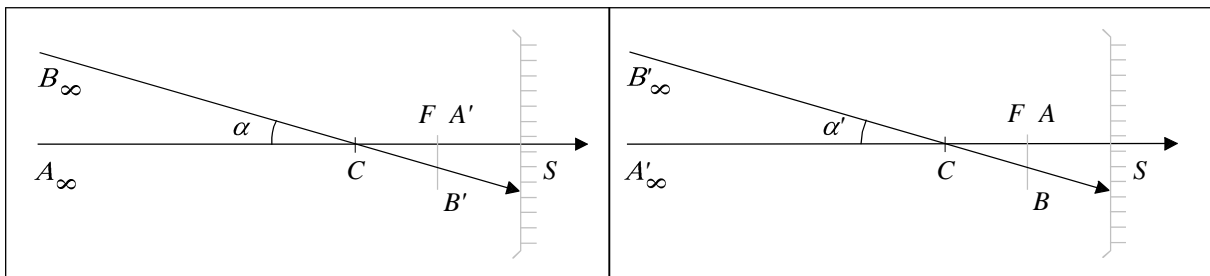


Figure 13. 14.a : Image d'un objet étendu situé à l'infini. Figure 13. 16.b : Image d'un objet étendu situé au foyer.

(Remarquons que le cas objet à l'infini correspond au cas objet au foyer par la loi du retour inverse de la lumière.)

b) Objet étendu situé à l'infini, image dans le plan focal

Voir figure 13.16.a. Le faisceau lumineux émis par le point A_∞ se réfléchit sur le miroir en donnant un faisceau qui converge vers le foyer image F , milieu du segment CS . L'image A' est au foyer.

Le faisceau lumineux émis par le point B_∞ se réfléchit en convergeant vers le foyer image secondaire, intersection de $(B_\infty C)$ et du plan focal. Ce point est le point image B' .

Dans le triangle $A'B'C$, nous calculons la taille de l'image en fonction du diamètre angulaire α de l'objet :

$$\tan \alpha = \frac{A'B'}{CF}$$

$$\boxed{A'B' = CF \tan \alpha}$$

¹³ Voir Chapitre IX Image d'un objet par une lentille sphérique mince convergente, paragraphe D.4.c.

C'est ainsi que fonctionne un télescope : le miroir sphérique concave donne une image située dans le plan focal. (L'observateur peut regarder cette image à l'aide d'un oculaire formé d'une association de lentilles sphériques.)

Lorsque l'angle α est petit, on peut le confondre avec sa tangente et écrire :

$$A'B' = CF \alpha \quad \text{avec } \alpha \text{ en radians.}$$

c) Objet étendu situé au foyer, image à l'infini

Voir figure 13.16.b. Le faisceau lumineux émis par le point A se réfléchit sur le miroir en donnant un faisceau parallèle à l'axe optique. L'image A'_∞ est à l'infini sur l'axe optique.

Le faisceau lumineux émis par le point B se réfléchit en donnant un faisceau parallèle à l'axe secondaire (BC). L'image B'_∞ est à l'infini sur cet axe secondaire.

Dans le triangle $A'B'C$, nous calculons le diamètre angulaire α' de l'image en fonction de la taille de l'objet :

$$\tan \alpha' = \frac{AB}{CF}$$

De même, lorsque l'angle α' est petit, on peut le confondre avec sa tangente et écrire :

$$\alpha' = \frac{AB}{CF} \quad \text{avec } \alpha' \text{ en radians.}$$

2. Objet situé avant le centre ou entre le centre et le foyer

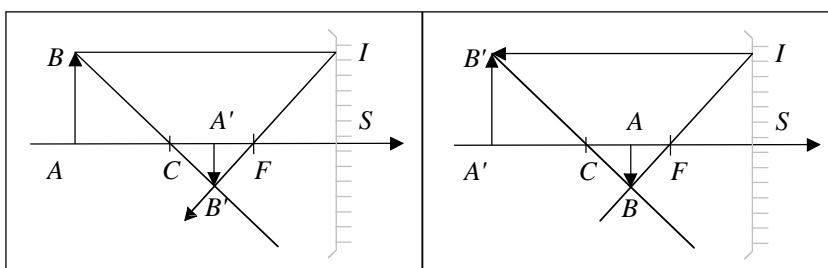
Dans la figure 13.17 de droite, le rayon lumineux issu de B et parallèle à l'axe optique est réfléchi par le miroir puis passe par le foyer image. Le rayon passant par le centre est réfléchi sur lui-même. Leur intersection est l'image B' .

Dans la figure 13.17 de gauche, l'objet AB est choisi de façon inhabituelle : il est renversé. Le rayon issu de B et passant par le foyer objet est réfléchi parallèlement à l'axe optique. Le rayon passant par C est réfléchi sur lui-même. Leur intersection est l'image B' .

D'après le schéma de gauche, l'image d'un objet étendu situé avant le centre est réelle, renversée, réduite et située entre le centre et le foyer.

D'après le schéma de droite, l'image d'un objet étendu situé entre le centre et le foyer est réelle, renversée, agrandie et située avant le centre.

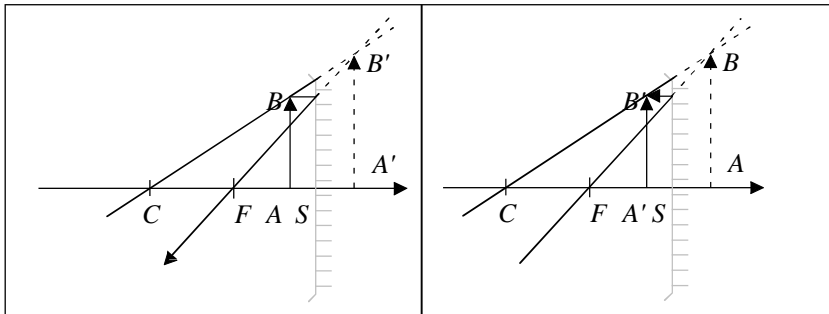
Figure 13. 17 : Image d'un objet situé avant le centre puis entre le centre et le foyer.



(De plus ces deux schémas montrent que ces deux cas se correspondent par la loi du retour inverse de la lumière.)

3. Objet situé entre le foyer et le sommet ou objet virtuel

Figure 13. 18 : Image d'un objet situé entre le foyer et le sommet puis après le sommet.



Les schémas sont construits comme dans le cas précédent.

D'après la figure 13.18 de gauche, l'image d'un objet situé entre le foyer et le sommet est virtuelle, droite, agrandie. Cette situation est celle des miroirs de maquillage ou de dentiste.

D'après la figure 13.18 de droite, l'image d'un objet virtuel – donc situé après le sommet – est réelle, droite, réduite.

(De plus ces deux schémas montrent que ces deux cas se correspondent par la loi du retour inverse de la lumière.)

4. Cas particuliers : au centre et au sommet

Il reste deux cas particuliers : objet étendu situé au centre, et au sommet. Les deux figures 13.19 ci-dessous montrent les constructions des images.

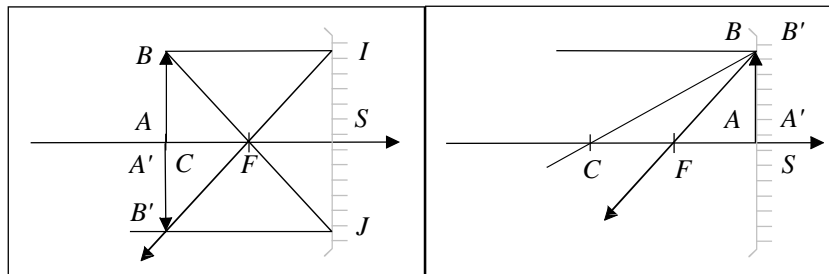


Figure 13. 19 : Image d'un objet situé au centre puis au sommet.

Dans le cas d'un objet étendu situé au centre (figure 13.19 de gauche), nous utilisons le rayon émis par B qui donne un rayon réfléchi passant par le foyer image. Et le rayon émis par B qui passe par le foyer objet est réfléchi parallèlement à l'axe optique. Leur intersection est l'image B' de B . Cette construction montre que l'image d'un objet étendu situé au centre est réelle, renversée, de même taille que l'objet.

Dans le cas d'un objet étendu situé au sommet (fig. 13.19 de droite), nous utilisons le rayon émis par B et passant par le centre qui est réfléchi sur lui-même. Et le rayon allant vers B parallèlement à l'axe optique est réfléchi puis passe par le foyer. Leur intersection est l'image B' de B , elle est confondue avec B . Cette construction montre que l'image d'un objet étendu situé au sommet se superpose à l'objet.

H. Discussion des différents cas possibles selon la position de l'objet pour un miroir convexe

La discussion se conduit comme pour les miroirs concaves. Les différents cas se correspondent encore deux à deux par la loi du retour inverse. Nous verrons dans quel cas ces miroirs peuvent servir de rétroviseurs (de voiture ou pour sortir d'un endroit sans visibilité).

1. Les deux cas objet ou image à l'infini

a) Schémas

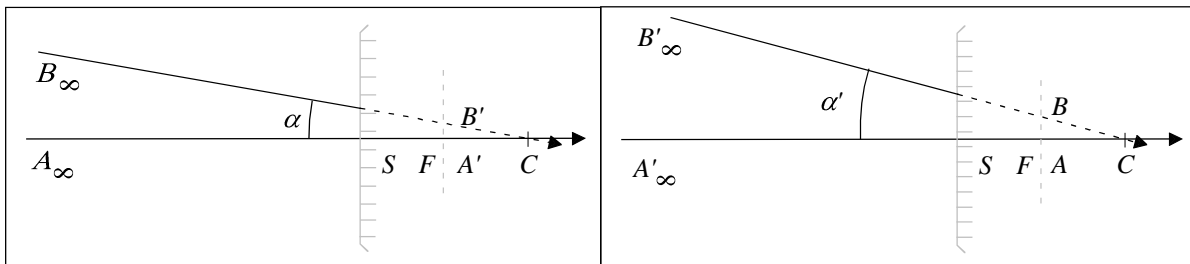


Figure 13. 20.a : Objet étendu situé à l'infini.

Figure 13. 20.b : Objet étendu situé au foyer.

(Les constructions ci-dessus montrent que le cas objet à l'infini correspond au cas objet au foyer par la loi du retour inverse de la lumière.)

b) Objet étendu situé à l'infini, image dans le plan focal

Voir figure 13.20.a. Le faisceau lumineux émis par le point A_∞ se réfléchit sur le miroir en donnant un faisceau semblant provenir du foyer image, milieu du segment CS . L'image A' est au foyer F . Le faisceau lumineux émis par le point B_∞ se réfléchit en semblant provenir du foyer image secondaire, intersection de $(B_\infty C)$ et du plan focal. Ce point est le point image B' . L'image est située dans le plan focal et elle est virtuelle.

Dans le triangle $A'B'C$, nous calculons la taille de l'image en fonction du diamètre angulaire α de

l'objet :

$$\tan \alpha = \frac{A'B'}{CF}$$

$$\boxed{A'B' = CF \cdot \tan \alpha}$$

Lorsque l'angle α est petit, on peut le confondre avec sa tangente et écrire :

$$A'B' = CF \alpha \quad \text{avec } \alpha \text{ en radians.}$$

c) Objet étendu situé au foyer, image à l'infini

Voir figure 13.20.b. Un faisceau lumineux convergeant vers le point A se réfléchit sur le miroir en donnant un faisceau parallèle à l'axe optique. L'image A'_∞ est à l'infini sur l'axe optique. Un faisceau lumineux convergeant vers le point B se réfléchit en donnant un faisceau parallèle à l'axe secondaire (BC) . L'image B'_∞ est à l'infini sur cet axe secondaire.

Dans le triangle $A'B'C$, nous calculons le diamètre angulaire α' de l'image en fonction de la taille

de l'objet :
$$\tan \alpha' = \frac{AB}{CF}$$

Lorsque l'angle α' est petit, on peut le confondre avec sa tangente et écrire :

$$\alpha' = \frac{AB}{CF} \quad \text{avec } \alpha' \text{ en radians.}$$

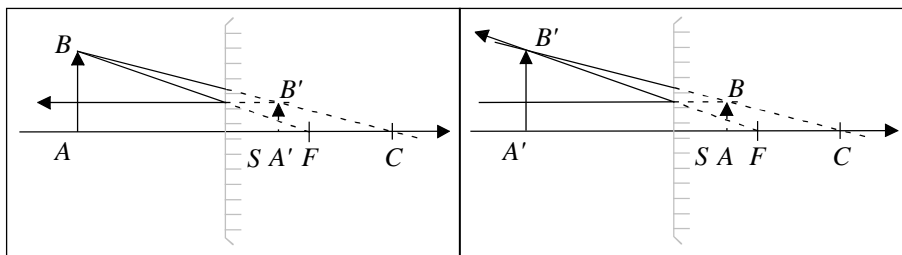
2. Objet situé avant le sommet ou entre le sommet et le foyer

Dans la figure 13.21 de gauche, le rayon lumineux issu de B et se dirigeant vers le centre est réfléchi sur lui-même ; celui qui se dirige vers le foyer est réfléchi parallèlement à l'axe optique. Leur intersection est l'image B' de B .

Cette construction montre que l'image d'un objet réel - donc situé avant le sommet pour un miroir convexe - est virtuelle, droite, réduite et située entre le sommet et le foyer.

C'est ainsi que fonctionnent certains rétroviseurs et les miroirs qui aident à sortir d'un garage sans visibilité ainsi que les boules de décoration des sapins de Noël.

La figure 13.21 de droite montre que l'image d'un objet virtuel situé entre le sommet et le foyer est réelle, droite, agrandie.



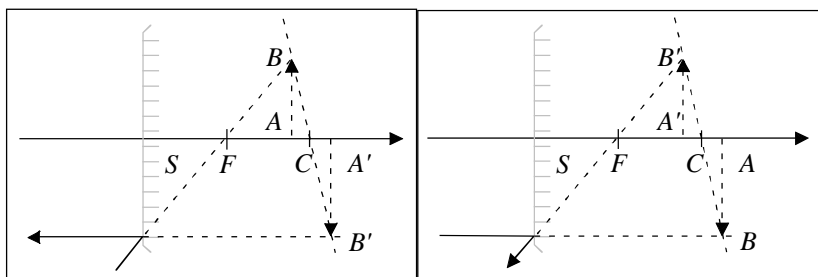
(Les deux schémas montrent que les deux cas se correspondent par la loi du retour inverse.)

Figure 13. 21 : Image d'un objet situé avant le sommet puis entre le sommet et le foyer.

3. Objet situé entre le foyer et le centre ou après le centre

D'après la figure 13.22 de gauche, l'image d'un objet virtuel situé entre le foyer et le centre est virtuelle, renversée, agrandie et située après le centre.

D'après la figure 13.22 de droite, l'image d'un objet virtuel situé après le centre est virtuelle, renversée, réduite et située entre le foyer et le centre.



(De plus ces deux cas se correspondent par la loi du retour inverse.)

Figure 13. 22 : Image d'un objet situé entre le foyer et le centre puis après le centre.

4. Cas particuliers : au sommet ou au centre

D'après la figure 13.23 de gauche, l'image d'un objet situé au sommet est confondue avec l'objet. (Ce schéma est obtenu avec les mêmes rayons que précédemment.)

D'après la figure 13.23 de droite, l'image d'un objet virtuel situé au centre est virtuelle, renversée, de même taille que l'objet et située au centre. (Ce schéma est obtenu avec les rayons passant par les foyers.)

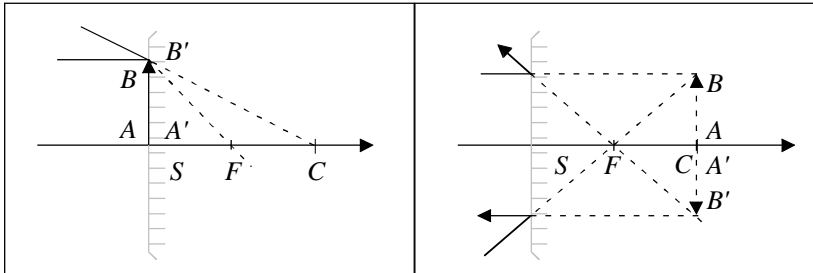


Figure 13. 23 : Image d'un objet situé au sommet puis au centre.

Les situations physiques sont toutes différentes, pour chaque cas de miroir et de position de l'objet, mais les méthodes et raisonnements utilisés sont toujours les mêmes, simplement adaptés, et nous les avons déjà rencontrés auparavant en étudiant le miroir plan, le dioptre plan ou les lentilles sphériques.

J'espère, tout au long de ce livre, vous avoir convaincus de l'impérieuse nécessité d'apprendre les méthodes et les raisonnements c'est à dire de ne pas se satisfaire de quelques formules ! Bien qu'il faille aussi les savoir.

*Résumé**Définitions, premières propriétés*

Un miroir sphérique est une portion de sphère réfléchissante. S'il est concave, il est convergent ; s'il est convexe, divergent. Il est caractérisé par son rayon.

Intérêts pratiques

Les télescopes utilisent des miroirs concaves comme objectif. Les miroirs de maquillage et de dentiste sont également des miroirs concaves. Les miroirs convexes forment certains rétroviseurs de voiture et facilitent la sortie de lieux où la visibilité est réduite.

Stigmatisme et aplanétisme

Il y a stigmatisme rigoureux du miroir sphérique en son centre et en son sommet. Il y a stigmatisme et aplanétisme approchés dans les conditions de Gauss.

Foyers, plans focaux

Les deux foyers sont au milieu du segment SC . Le plan focal est le plan perpendiculaire à l'axe du miroir et passant par le foyer.

Rayons particuliers

Un rayon incident passant par le centre est réfléchi sur lui-même.

Un rayon incident passant par le sommet est réfléchi symétriquement à l'axe optique.

Le rayon réfléchi d'un rayon incident parallèle à l'axe optique passe par le foyer.

Un rayon incident passant par le foyer est réfléchi parallèlement à l'axe optique.

Constructions

Ces rayons permettent de construire le rayon réfléchi connaissant le rayon incident. La méthode de l'image à l'infini consiste à tracer un rayon auxiliaire parallèle au rayon réfléchi, celle de l'objet à l'infini consiste à tracer un rayon auxiliaire parallèle à l'incident.

Les rayons particuliers permettent aussi de construire l'image d'un point objet B donné hors de l'axe : elle se situe à l'intersection, après réflexion, de deux rayons émis par B .

Relations de conjugaison et de grandissement :

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

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

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

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

$$\frac{1}{\overline{SA'}} + \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{2}{\overline{SC}}$$

$$\frac{1}{\overline{CA'}} + \frac{1}{\overline{CA}} = \frac{2}{\overline{CS}}$$

$$\overline{FA'} \cdot \overline{FA} = \overline{FS}^2$$

Pour une image au foyer : $\overline{A'B'} = \overline{CF} \cdot \tan \alpha$

Pour une image à l'infini : $\tan \alpha' = \frac{\overline{AB}}{\overline{CF}}$