

Chap.4 – Miroirs sphériques

1. **Miroirs sphériques concaves ou convexes**
2. **Stigmatisme et aplanétisme**
 - 2.1. Stigmatisme rigoureux - Points particuliers
 - 2.2. Stigmatisme et aplanétisme approchés dans les conditions de Gauss
3. **Foyers d'un miroir sphérique**
 - 3.1. Foyer principal – Distance focale
 - 3.2. Les foyers secondaires - Plan focal
4. **Constructions géométriques**
 - 4.1. Construction de l'image d'un point hors de l'axe
 - 4.2. Construction de l'image d'un point sur l'axe
 - 4.3. Construction d'un rayon réfléchi
5. **Relations de conjugaison - Grandissement**
 - 5.1. Relation de conjugaison - Formule de Newton
 - 5.2. Relation de conjugaison - Formules de Descartes
 - 5.3. Expressions du grandissement
 - 5.4. Comment retenir toutes ces formules ?
6. **Retour sur le miroir plan : un miroir sphérique particulier**
 - 6.1. Un miroir sphérique de rayon de courbure infini, système afocal
 - 6.2. Constructions graphiques
 - 6.3. Un cas particulier fréquent : miroir incliné à 45°
7. **Champ d'un miroir (sphérique ou plan)**
 - 7.1. Définition
 - 7.2. Comment connaître le champ d'un miroir ?

Intro :

Après avoir étudié le miroir plan et les lentilles minces sphériques, on aborde dans ce chapitre le dernier système optique au programme : les miroirs sphériques.

Les miroirs sphériques sont stigmatiques et aplanétiques dans les conditions de Gauss, et peuvent être utilisés pour former des images de qualité. Ils sont utilisés dans certains télescopes par exemple. L'absence d'aberrations chromatiques est une propriété très avantageuse des miroirs sphériques comparés aux lentilles. On étudie ici leurs caractéristiques : centre, sommet, foyer, distance focale.

L'objectif principal de ce chapitre est de savoir manier les constructions graphiques, ainsi que les relations de conjugaison pour expliquer et comprendre le fonctionnement de systèmes optiques constitués de miroirs sphériques.

1. Miroirs sphériques concaves ou convexes

Définition

Un miroir sphérique est constitué d'une surface sphérique réfléchissante.
Il se caractérise par son *centre C*, son *sommet S* et son *rayon R = SC*.

Il existe deux types de miroirs sphériques : les miroirs concaves et les miroirs convexes. On retiendra que :

- un miroir concave présente un creux
- un miroir convexe n'en présente pas

On peut vérifier par un tracé qualitatif du chemin suivi par les rayons lumineux que :

- un miroir concave est convergent
- un miroir convexe est divergent

Dans les conditions de Gauss – localement autour de l'axe optique – la forme du miroir s'écarte peu du plan tangent, d'où ce choix de la représentation symbolique de ces miroirs sur un schéma.

2. Stigmatisme et aplanétisme

2.1. Stigmatisme rigoureux - Points particuliers

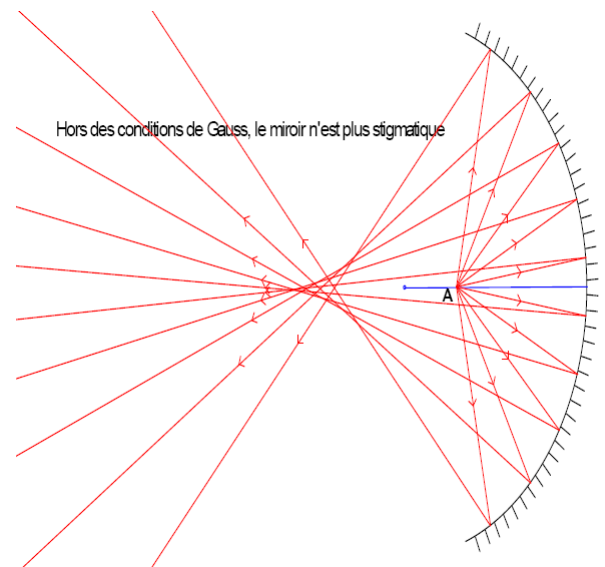
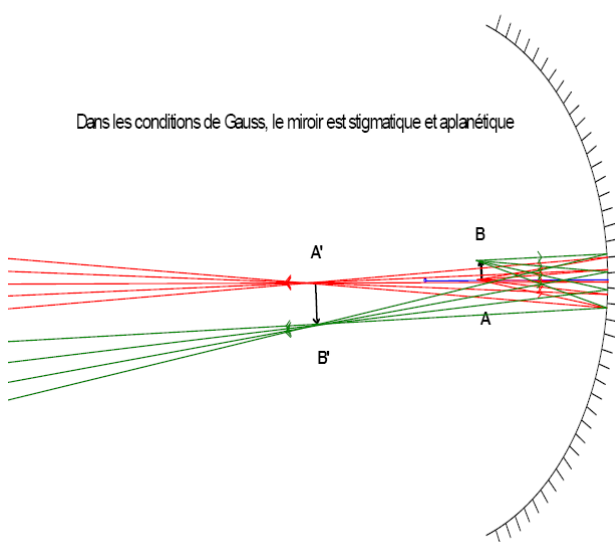
Contrairement aux lentilles minces sphériques, un miroir sphérique est rigoureusement stigmatique pour quelques points particuliers :

- le centre *C* est son propre conjugué
- tout point du miroir (dont *S*) est son propre conjugué

2.2. Stigmatisme et aplanétisme approchés dans les conditions de Gauss

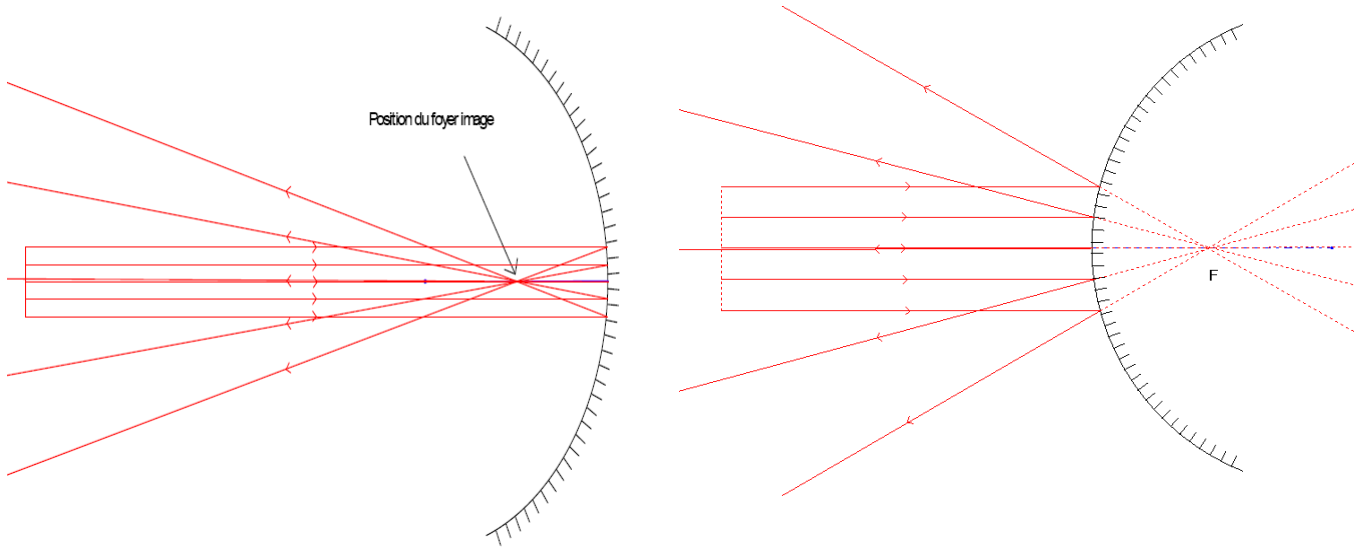
Les miroirs sphériques sont des systèmes centrés. Dans les conditions de Gauss, ils sont donc approximativement *stigmatiques* et *aplanétiques* :

- l'image d'un point *A* est un point *A'*. Tout rayon lumineux passant par *A* passe par *A'* après réflexion.
- l'image d'un plan (*P*) orthogonal à l'axe optique est un plan (*P'*) orthogonal à l'axe optique.



3. Foyers d'un miroir sphérique

3.1. Foyer principal – Distance focale



Les définitions des foyers principaux objets et images ont été données dans le chapitre précédent, elles restent valables pour les miroirs sphériques.

- Rappeler ces différentes définitions (en utilisant les notions d'objet et d'image)
- Que peut-on dire des rayons lumineux passant par les foyers ?

Dans les conditions de Gauss, les miroirs sphériques sont stigmatiques. Par conséquent, l'image d'un point à l'infini sur l'axe est un point sur l'axe. On montre qualitativement sur un schéma que ce point est nécessairement à distance finie du miroir (cf. les figures précédentes, tracées avec OptGeo).

Sur ces tracés, en invoquant le principe du retour inverse de la lumière, on montre que le foyer objet et le foyer image sont confondus.

Foyer principal d'un miroir sphérique

Le foyer principal image et le foyer principal objet sont confondus. On note ce point « F ».
Le foyer principal est situé au milieu du segment [CS].

Remarques :

- on admet ce dernier résultat comme étant issu de l'expérience. On peut le démontrer à partir des lois de Descartes, en se plaçant dans les conditions de Gauss
- le foyer est *réel* pour un miroir *concave*, et *virtuel* pour un miroir *convexe*

Définition

La distance focale, notée f , est définie par la relation :

$$f \stackrel{\text{def}}{=} \overline{SF}$$

Elle vaut $\pm \frac{R}{2}$ selon le type de miroir.

En orientant l'axe horizontal dans le sens de propagation des RL incidents, on notera que :

- $f < 0$ pour un miroir concave
- $f > 0$ pour un miroir convexe

Comme pour les lentilles, on utilise parfois la *vergence* V du miroir Elle s'exprime en m^{-1} (ou dioptrie δ).

$$V \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{f}$$

3.2. Les foyers secondaires - Plan focal

Les définitions des foyers secondaires et des plans focaux ont été données au chapitre précédent. Elle restent valables pour les miroirs sphériques.

- Rappeler ces différentes définitions (en utilisant les notions d'objet et d'image)
- Que peut-on dire des rayons lumineux passant par les foyers ?

4. Constructions géométriques

Les méthodes sont exactement les mêmes que celles décrites dans le cas des lentilles : on utilise les propriétés des points particuliers associés aux miroirs sphériques : C , S et F .

4.1. Construction de l'image d'un point hors de l'axe

On considère un point objet B situé hors de l'axe optique. On souhaite construire graphiquement son image B' formée par le miroir.

- Dans le cas d'un miroir concave (resp. convexe), construire l'image d'un objet réel, puis d'un objet virtuel.

4.2. Construction de l'image d'un point sur l'axe

On considère un point objet A situé sur l'axe optique. On souhaite construire graphiquement son image A' formée par le miroir. *La méthode consiste à se ramener à la construction précédente en définissant au préalable un point objet B situé dans le plan orthogonal à l'axe passant par A . Après avoir construit l'image B' , on en déduit la position de A' , qui se situe sur l'axe et dans le plan orthogonal à l'axe passant par B' .*

4.3. Construction d'un rayon réfléchi

On considère un rayon lumineux quelconque incident sur le miroir. On souhaite construire le rayon lumineux réfléchi par le miroir. On peut utiliser de nombreuses méthodes. Trouvez-en au moins trois sur l'exemple d'un miroir concave.

5. Relations de conjugaison - Grandissement

Les miroirs sont approximativement stigmatiques dans les conditions de Gauss. Ainsi, tout point objet situé sur l'axe est associé à une image ponctuelle située sur l'axe : ce sont des points *conjugués*. On va établir les formules qui relient les positions de deux points conjugués situés sur l'axe : ces sont les *relations de conjugaison*.

5.1. Relation de conjugaison - Formule de Newton

A et A' objet et image situés sur l'axe, et repérés à partir du foyer F (formule de Newton) :

$$\overline{FA} \times \overline{FA'} = \overline{SF} \times \overline{SF'}$$

Cette formule est valable quelque soit la nature de l'objet et de l'image (réel / virtuel), et pour les deux types de miroirs sphériques.

5.2. Relation de conjugaison - Formules de Descartes

Avec origine au centre :

A et A' objet et image situés sur l'axe, et repérés à partir du centre C (formule de Descartes) :

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

Avec origine au sommet :

A et A' objet et image situés sur l'axe, et repérés à partir du sommet S (formule de Descartes) :

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

5.3. Expressions du grandissement

On retiendra les différentes expressions du grandissement (avec origine au foyer, au centre, et au sommet) :

$$\gamma = -\frac{\overline{FA'}}{\overline{SF}} = -\frac{\overline{SF}}{\overline{FA}}$$
$$\gamma = \frac{\overline{CA'}}{\overline{CA}} \qquad \gamma = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$$

5.4. Comment retenir toutes ces formules ?

Ces formules ressemblent à celles des lentilles. Il faut prendre garde à ne pas les confondre.

Quelques conseils :

- Newton : partir de la formule des lentilles, remplacer O par S, et supprimer les primes ‘
- Idem pour les formules de grandissement impliquant le foyer F (les 2 premières)
- Descartes : ne pas faire le lien avec les lentilles. Tous les termes commencent par la même lettre
- Formules de grandissement (les 2 dernières) : partir de celle des lentilles en remplaçant O par S ou C. Pour le signe, vérifier sur une construction graphique simple et rapide.
- *Si l'on n'est pas sûr, vérifier que la formule est cohérente avec un construction graphique (rapide)*

6. Retour sur le miroir plan : un miroir sphérique particulier

6.1. Un miroir sphérique de rayon de courbure infini, système afocal

Lorsque le rayon de courbure d'un miroir sphérique (concave ou convexe) tend vers l'infini, le miroir sphérique tend vers un miroir plan :

- la relation de conjugaison de Descartes avec origine au sommet tend alors vers la relation de conjugaison du miroir plan
- la formule du grandissement (la dernière, avec le sommet S) donne +1
- la distance focale tend vers l'infini, et l'on retrouve le fait que le miroir plan est afocal

6.2. Constructions graphiques

Pour le tracé d'un RL réfléchi, il suffit d'appliquer les lois de Descartes de la réflexion.

Pour déterminer la position et la taille d'une image étendue, on utilisera le fait que *l'image est le symétrique de l'objet par rapport au plan du miroir*.

6.3. Un cas particulier fréquent : miroir incliné à 45°

- Vérifier par une construction graphique que l'image d'un objet vertical à travers un miroir plan incliné de 45° est horizontale.

7. Champ d'un miroir (sphérique ou plan)

7.1. Définition

Définition

Le *champ d'un miroir* est la portion de l'espace qui est visible dans le miroir, pour une position O donnée de l'œil de l'observateur

D'après la définition, il est évident que le champ d'un miroir dépend *de la position de l'œil* !

7.2. Comment connaître le champ d'un miroir ?

Pour que l'œil puisse voir un point objet A, à travers le miroir, il faut qu'il existe un RL provenant de A et passant par O après réflexion. Il revient au même de dire que le RL incident doit passer par l'image O' de l'œil à travers le miroir.

Propriété

Le champ d'un miroir est la portion de l'espace objet *délimitée par le cône de sommet O'* (image de l'œil O à travers le miroir) *s'appuyant sur les bords du miroir*.

On retrouve le fait évident que le champ dépend de la taille du miroir.

Notions clefs

Savoirs :

- Définition centre, sommet, rayon de courbure, foyers
- Propriétés des foyers (principaux et secondaires) vis-à-vis des rayons lumineux
- Définition distances focales, vergence
- Les miroirs sont stigmatiques et aplanétiques dans les conditions de Gauss
- Formules de conjugaison (Newton et Descartes)
- Définition et expressions du grandissement

Savoirs faire :

- Construire une image d'un objet hors de l'axe, d'un objet sur l'axe
- Construire un rayon transmis à travers un miroir pour un rayon incident quelconque
- Déterminer, à l'aide des formules de conjugaison, la position d'un point à partir de celle de son conjugué
- Vérifier la validité d'une formule (relation de conjugaison, grandissement) à l'aide d'un schéma (les signes notamment)