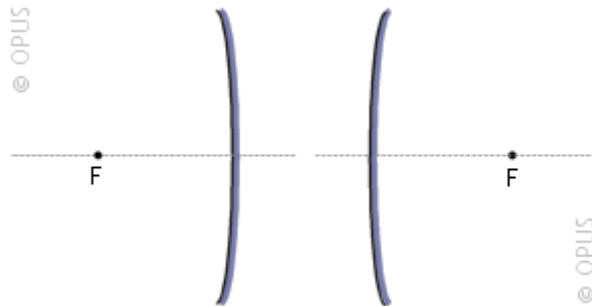


Les types de miroirs courbes

Les formes les plus courantes des miroirs courbes sont celles dont le profil s'apparente aux sections coniques (ellipse, cercle, parabole et hyperbole). Les miroirs courbes ont cependant une forme tridimensionnelle, bien qu'on les représente généralement par une coupe passant par leur sommet (voir la définition ci-dessous).

Un miroir courbe peut être concave ou convexe. Le miroir est dit concave (ou convergent) s'il apparaît creusé lorsqu'on le regarde de face, et il est dit convexe (ou divergent) s'il apparaît bombé.



Représentation schématique d'un miroir concave (à gauche) et d'un miroir convexe (à droite).

Les miroirs courbes les plus couramment utilisés sont les miroirs sphériques à cause de leur facilité de fabrication. Les miroirs sphériques sont constitués uniquement d'une portion d'une sphère creuse, et non de la sphère en son entier.

Quelques définitions

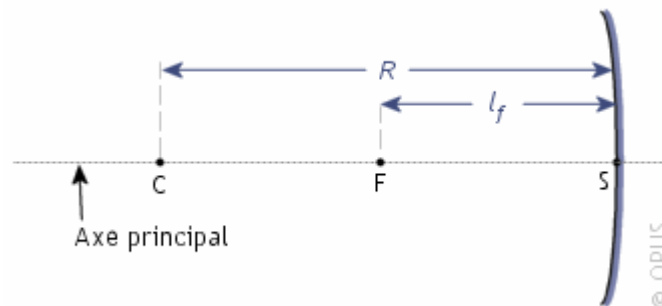


Schéma représentant les cinq définitions suivantes

Centre de courbure

Si l'on pouvait prolonger un miroir sphérique jusqu'à former une sphère complète, on constaterait que son centre de courbure coïncide avec le centre géométrique de la sphère ainsi obtenue. Tous les points de la surface du miroir se situent à la même distance du centre de courbure. Le centre de courbure est identifié par la lettre C sur le schéma.

Le centre de courbure d'un miroir concave se situe devant le miroir, alors que celui d'un miroir convexe se situe derrière.

Rayon de courbure

Le rayon de courbure d'un miroir sphérique est la distance entre son centre de courbure et tout point de sa surface. Le rayon de courbure du miroir est identifié par la variable R sur le schéma.

Le rayon de courbure d'un miroir concave est positif, alors que celui d'un miroir convexe est négatif.

Il est à noter que plus le rayon de courbure d'un miroir est grand, en valeur absolue, plus celui-ci se rapproche d'un miroir plan. À la limite, un miroir plan pourrait être considéré comme un miroir courbe ayant un rayon de courbure infini.

Foyer

Le foyer du miroir est le point vers lequel les rayons parallèles à l'axe principal (voir ci-dessous) sont déviés. Il se situe à mi-chemin entre le sommet du miroir et son centre de courbure. Il est identifié par la lettre F sur le schéma.

La distance entre le foyer et le miroir est appelée longueur focale et est identifiée l_f . Elle est égale à la moitié du rayon de courbure du miroir :

$$l_f = \frac{R}{2}$$

Le foyer d'un miroir concave est dit réel, alors que celui d'un miroir convexe est dit virtuel.

Axe principal

L'axe principal d'un miroir courbe est l'axe passant à la fois par le centre de courbure du miroir et son foyer. On l'appelle parfois axe optique.

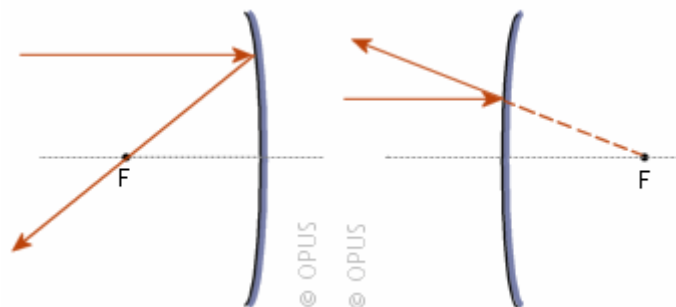
Sommet

Le sommet est le point d'intersection entre la surface du miroir et son axe principal. Il est identifié sur le schéma par la lettre S.

Rayons principaux

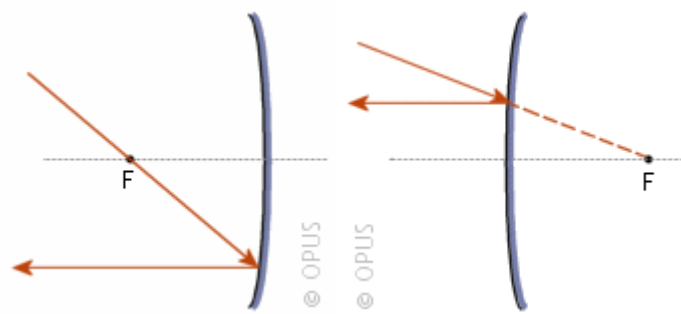
Les rayons principaux sont les rayons de lumière dont on peut facilement prédire le comportement après une réflexion à la surface d'un miroir sphérique. Ces rayons, au nombre de trois, sont très pratiques pour déterminer rapidement la position de l'image formée par le miroir.

1. Le premier rayon principal est parallèle à l'axe principal du miroir. Pour un miroir concave, ce rayon est réfléchi vers le foyer du miroir. Pour un miroir convexe, ce rayon est réfléchi de telle façon que son prolongement derrière le miroir passe par le foyer.



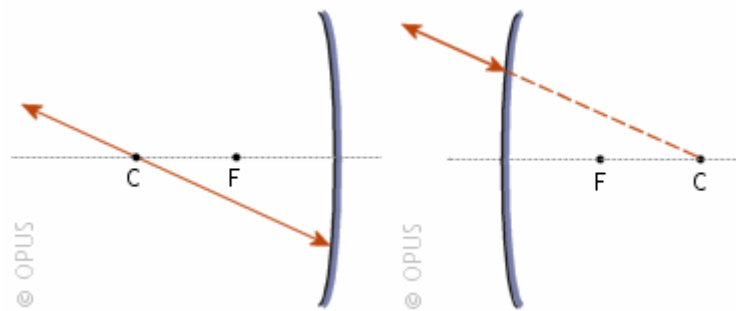
Tracé du premier rayon principal

2. Le deuxième rayon principal est celui qui passe par le foyer du miroir ou dont le prolongement passe par le foyer. Ce rayon est réfléchi parallèlement à l'axe principal du miroir.



Tracé du deuxième rayon principal

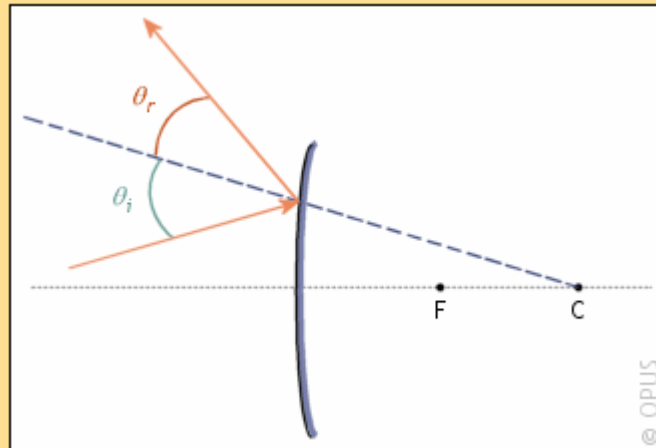
3. Le troisième rayon principal est dirigé vers le centre de courbure du miroir (le rayon lui-même ou son prolongement passe par le centre de courbure du miroir). Ce rayon est réfléchi sur lui-même.



Tracé du troisième rayon principal

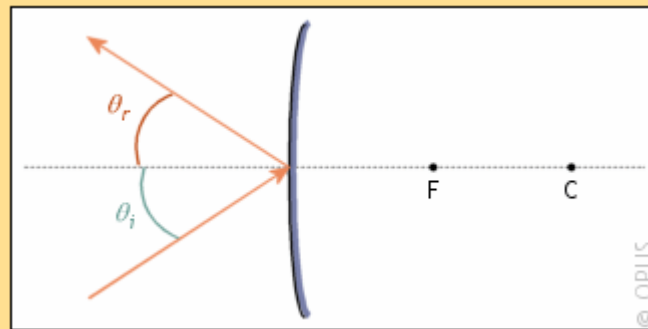
La loi de la réflexion et les miroirs courbes

Il est possible d'appliquer la 2^e loi de la réflexion pour un rayon incident quelconque (autre qu'un rayon principal). Pour ce faire, on doit pouvoir tracer la normale à la surface au point d'incidence. Cette dernière est obtenue en traçant une droite passant à la fois par le centre de courbure du miroir et le point d'incidence considéré. Il reste alors à appliquer la 2^e loi de la réflexion en mesurant l'angle d'incidence avec la normale tracée et de déterminer l'angle de réflexion.



Réflexion à la surface d'un miroir courbe.

Cette approche nous permet de trouver un quatrième rayon pratique pour déterminer la position de l'image formée par un miroir courbe. Puisque l'axe principal passe par le centre de courbure du miroir, il est normal à la surface du miroir au sommet. Ainsi, un rayon frappant le miroir en son sommet avec un i par rapport à l'axe principal, est réfléchi avec un angle d'incidence de réflexion $\theta_i = \theta_r$.

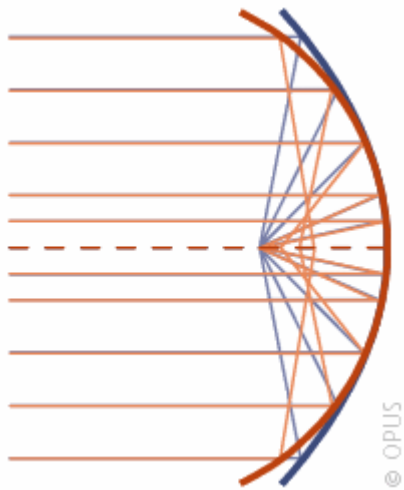


Tracé du quatrième rayon pour un miroir convexe

Aberration

Une **aberration** est une **dégradation de la qualité de l'image**. Elle peut entre autres être causée par des imperfections à la surface du miroir.

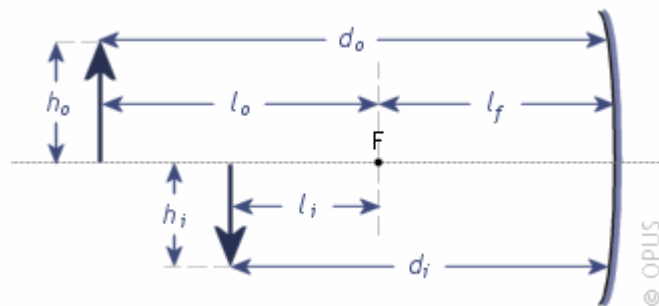
L'utilisation de miroirs sphériques entraîne une forme d'aberration inévitable : l'**aberration sphérique**. Cette aberration se manifeste par l'étalement de la lumière focalisée par le miroir. Au lieu de tous se croiser au foyer, des rayons incidents sur un miroir sphérique et parallèles à l'axe principal vont croiser l'axe principal à différents points, selon leur hauteur par rapport à l'axe. Ce type d'aberration donne donc lieu à des images floues. Un moyen de contrer cette aberration est d'utiliser un miroir parabolique plutôt qu'un miroir sphérique.



Aberration sphérique. La lumière n'est pas focalisée en un point par un miroir sphérique (en orangé) alors qu'elle est complètement focalisée au foyer par un miroir parabolique (en bleu).

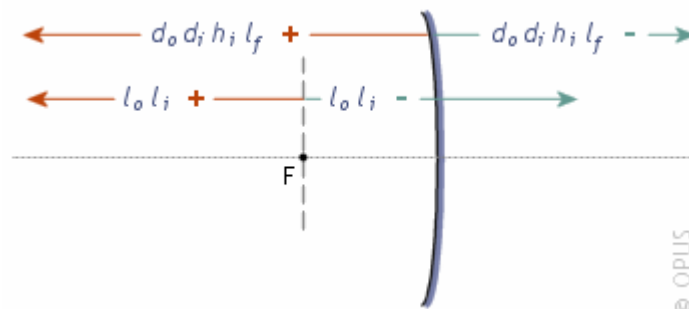
On remarque, à la figure ci-dessus, que le miroir sphérique se comporte de manière identique au miroir parabolique pour les rayons incidents qui sont près de l'axe principal du miroir. Cela s'explique par la forme presque identique des deux types de miroirs près de leur sommet.

Les variables des miroirs courbes



- h_o : hauteur de l'objet
- h_i : hauteur de l'image
- l_o : distance entre le foyer et l'objet
- l_i : distance entre le foyer et l'image
- l_f : distance entre le foyer et le miroir (longueur focale)
- d_o : distance entre l'objet et le miroir
- d_i : distance entre l'image et le miroir

Convention des signes



Convention de signes pour un miroir concave. La convention est la même pour un miroir convexe.

Toutes les distances sont positives si elles sont mesurées vers la gauche, et elles sont négatives si elles sont mesurées vers la droite.

La hauteur de l'image est positive si celle-ci est réelle, et est négative si elle est virtuelle. Cette convention s'applique aussi à la hauteur de l'objet.

Par convention, les rayons lumineux incidents se propagent toujours de la gauche vers la droite sur les schémas de systèmes optiques.

Il faut noter que cette convention n'est pas universelle. Si vous adoptez une autre convention de signes, il vous faudra ajuster les relations présentées ci-après afin d'en tenir compte.

Les équations du miroir courbe

$$\frac{h_i}{h_o} = \frac{l_f}{l_o} = \frac{l_i}{l_f}$$

$$l_i l_o = l_f^2$$

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{l_f}$$

Le grandissement

La première équation de miroir courbe représente le grandissement.

$$Gr = \frac{h_i}{h_o}$$

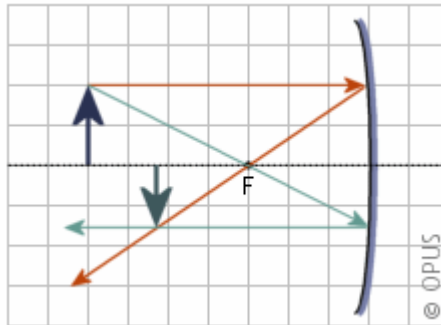
Si le grandissement est supérieur à un, en valeur absolue, l'image est plus grande que l'objet. Si, au contraire, le grandissement est inférieur à un, toujours en valeur absolue, l'image est alors plus petite que l'objet.

Les images de miroirs courbes

Construction d'une image

Il est possible de reconstruire, graphiquement, l'image d'un objet produite par un miroir courbe. Pour ce faire, il faut faire un schéma à l'échelle représentant le miroir courbe, avec son foyer, et l'objet. On doit ensuite tracer au moins deux rayons principaux à partir de l'extrémité de l'objet pour déterminer la position du point correspondant de l'image. L'extrémité de l'image se situe effectivement à l'intersection des deux rayons réfléchis ou de leur prolongement derrière le miroir. Considérons quelques exemples de tracé de rayons.

Exemple 1 : Déterminez graphiquement la position de l'image d'un objet de 2 cm de hauteur situé 7 cm devant un miroir concave de 3 cm de longueur focale.



Tracé des rayons pour déterminer la position de l'image

On peut aussi vérifier numériquement la position et la grandeur de l'image à partir des équations des miroirs.

Données du problème

$$\begin{aligned} h_o &= 2 \text{ cm} \\ d_o &= 7 \text{ cm} \\ l_f &= 3 \text{ cm} \end{aligned}$$

Position de l'image

$$\begin{aligned} \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} &= \frac{1}{l_f} \\ \frac{1}{d_i} &= \frac{1}{l_f} - \frac{1}{d_o} \\ \frac{1}{d_i} &= \frac{1}{3 \text{ cm}} - \frac{1}{7 \text{ cm}} = 0,19 \text{ cm}^{-1} \\ d_i &= 5,25 \text{ cm} \end{aligned}$$

Calcul de l_o

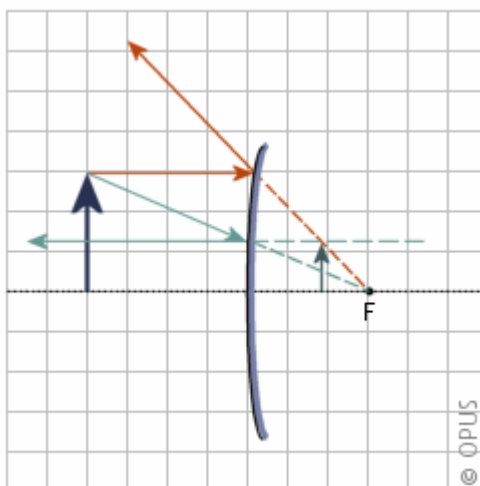
$$\begin{aligned} d_o &= l_o + l_f \\ l_o &= d_o - l_f = 7 \text{ cm} - 3 \text{ cm} \\ l_o &= 4 \text{ cm} \end{aligned}$$

Grandeur de l'image

$$\begin{aligned} \frac{h_i}{h_o} &= \frac{l_f}{l_o} \\ h_i &= h_o \frac{l_f}{l_o} = 2 \text{ cm} \times \frac{3 \text{ cm}}{4 \text{ cm}} \\ h_i &= 1,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

Ces résultats concordent bien avec le résultat graphique obtenu précédemment.

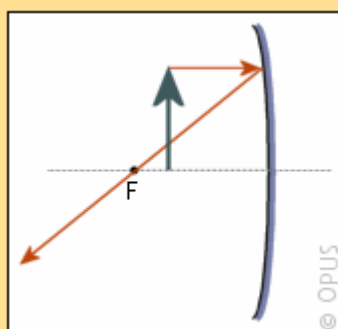
Exemple 2 : Déterminez graphiquement la position de l'image d'un objet de 3 cm de hauteur situé 4 cm devant un miroir convexe de 3 cm de longueur focale.



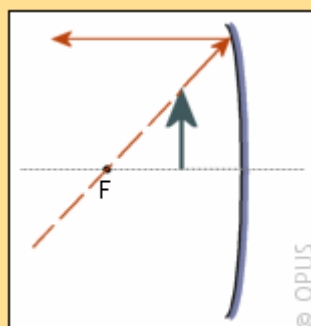
Que faire lorsque l'objet est situé entre un miroir concave et son foyer?

Lorsque l'objet se trouve devant un miroir concave à une distance inférieure à la distance focale du miroir, il peut sembler impossible de tracer deux rayons principaux afin de déterminer la position de l'image. Il n'est en effet pas possible de tracer un rayon passant par le foyer ou le centre de courbure. Cependant, si on relit attentivement la description des rayons principaux, on se rend compte qu'il n'est pas nécessaire que le rayon lui-même passe par le foyer, mais que son prolongement est suffisant, et ce, même pour un miroir concave.

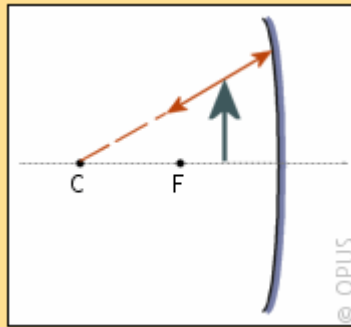
Les schémas suivants illustrent le tracé des rayons principaux lorsque l'objet se trouve entre le miroir et son foyer. L'exemple qui suit cet encadré démontre quant à lui comment appliquer ces tracés.



Premier rayon principal

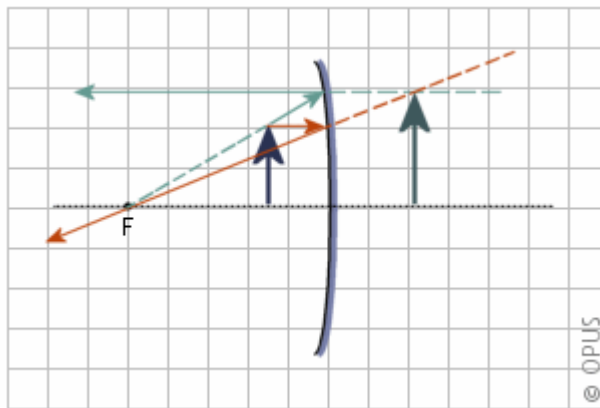


Deuxième rayon principal



Troisième rayon principal

Exemple 3 : Déterminez graphiquement la position de l'image d'un objet de 2 cm de hauteur situé 1,5 cm devant un miroir concave de 5 cm de longueur focale.



Images formées par un miroir concave

Distance de l'objet par rapport au miroir	Distance de l'image par rapport au miroir	Nature de l'image	Sens de l'image	Grandissement
$d_o \rightarrow \infty$	$d_i = l_f$	réelle	indéterminé	$ Gr = 0$
$\infty > d_o > 2l_f$	$2l_f > d_i > l_f$	réelle	inversée	$ Gr < 1$
$d_o = 2l_f$	$d_i = 2l_f$	réelle	inversée	$ Gr = 1$
$2l_f > d_o > l_f$	$\infty > d_i > 2l_f$	réelle	inversée	$ Gr > 1$
$d_o = l_f$	$d_i \rightarrow \infty$	indéterminée	indéterminé	indéterminé
$l_f > d_o > 0$	$d_i < 0$	virtuelle	droite	$ Gr > 1$

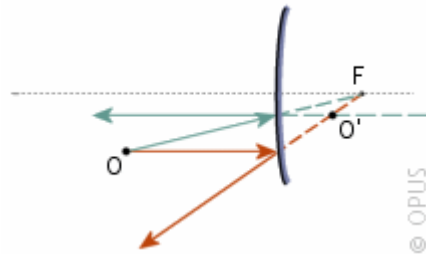
Images formées par un miroir convexe

Distance de l'objet par rapport au miroir	Distance de l'image par rapport au miroir	Nature de l'image	Sens de l'image	Grandissement
$d_o > 0$	$d_i < 0$	virtuelle	droite	$ Gr < 1$

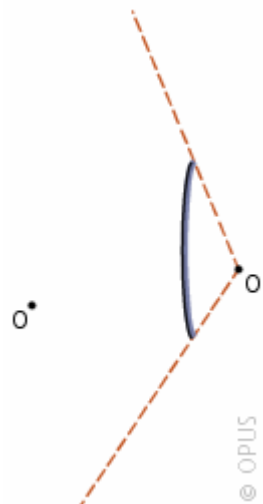
Champ de vision d'un miroir courbe

Il est possible de déterminer le champ de vision d'un observateur placé devant un miroir courbe par la même méthode que pour un miroir plan. À l'étape de la localisation de l'image de l'observateur, il faut cependant tenir compte du fait que nous sommes en présence d'un miroir courbe, et non d'un miroir plan.

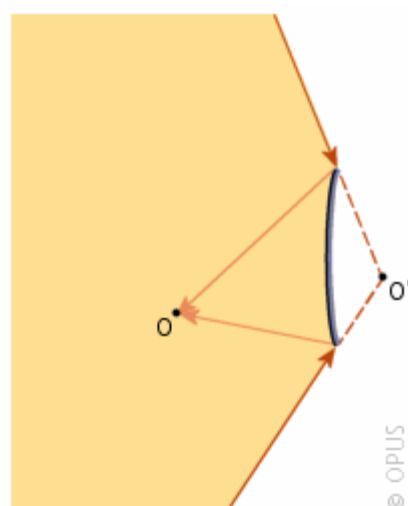
1. Déterminer la position de l'image (O') de l'observateur (O).



2. Tracer deux droites ayant pour origine l'image de l'observateur et passant par les extrémités du miroir.



3. Ces deux droites délimitent le champ de vision de l'observateur (en jaune).



On constate, avec l'exemple ci-dessus, que **le champ de vision d'un miroir convexe est plus grand que celui d'un miroir plan** de même dimension.

Des utilisations des miroirs courbes

Les miroirs concaves sont principalement utilisés pour leur capacité à concentrer la lumière. C'est pourquoi on les retrouve dans les télescopes (voir [Histoire du télescope](#)), les lampes de poche et les phares d'automobiles. Ils sont aussi utiles dans les applications où il est pratique d'obtenir une image plus grande que l'objet. Les miroirs concaves sont donc utilisés comme miroir grossissant dans les troussees de maquillage.

Les miroirs convexes sont quant à eux généralement utilisés pour leur grand champ de vision. On les retrouve alors dans les boutiques comme miroirs de surveillance, dans les automobiles comme rétroviseur du côté passager ou au coin des rues pour permettre aux automobilistes de voir ce qui se passe derrière un obstacle visuel encombrant.