5 LA RÉFLEXION DE LA LUMIÈRE

Un objet de 2 cm de haut est à 12 cm d'un miroir sphérique. On obtient une image droite (donc qui n'est pas inversée) de 1,2 cm de haut. Quel est le type de miroir (concave, plan ou convexe) et quelle est sa distance focale ?

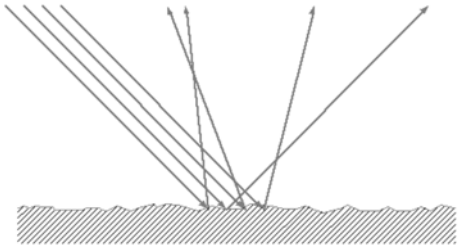
www.totalsafes.co.uk/interior-convex-mirror-900mm.html

Découvrez comment résoudre ce problème dans ce chapitre.

5.1 LA LOI DE LA RÉFLEXION

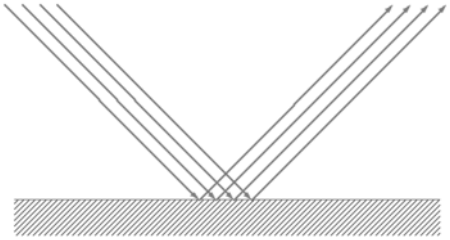
Quand la lumière arrive sur une surface ou une interface (une surface où il y a un changement de milieu), une partie ou la totalité de l'onde est réfléchie.

Si la surface n'est pas lisse (aspérités plus grandes que la longueur d'onde), la lumière sera réfléchie dans toutes les directions. C'est la réflexion diffuse.



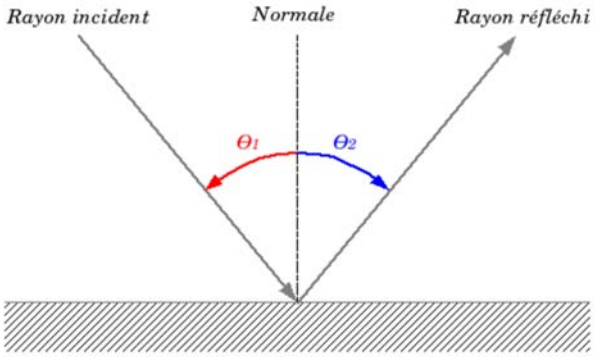
fr.wikipedia.org/wiki/Réflexion_optique

Si la surface est très lisse (aspérités beaucoup plus petites que la longueur d'onde), la lumière va se réfléchir dans une direction très précise. C'est la réflexion spéculaire (qui vient de *speculum*, qui veut dire *miroir* en latin).



fr.wikipedia.org/wiki/Réflexion_optique

La loi de la réflexion est



fr.wikipedia.org/wiki/Réflexion_optique

Loi de la réflexion

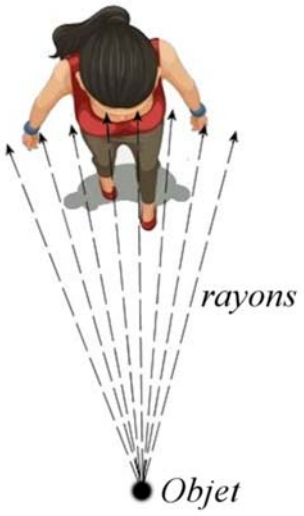
$$\theta_1 = \theta_2$$

Une loi toute simple connue au moins depuis Héron d'Alexandrie (1er siècle apr. J.-C.).

Vous pouvez voir ici une démonstration expérimentale de cette loi.
http://www.youtube.com/watch?v=5wrQchqecjA

5.2 LES MIROIRS PLANS

Comment connait-on la position d'un objet ?



Point de croisement des rayons = position de l'objet

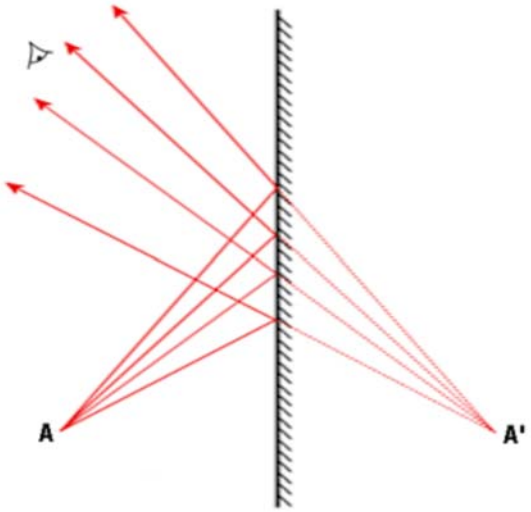
Quand on regarde un objet, on trouve sa position à partir de la direction des rayons lumineux. L'objet est une source de lumière (elle émet directement la lumière ou réfléchit simplement la lumière provenant d'une source) qui envoie des rayons dans toutes les directions. Quand un de ces rayons arrivent dans un œil, on sait de quelle direction arrive ce rayon. Or, les rayons qui arrivent dans chaque œil ne proviennent pas exactement de la même direction. On trouve la position de l'objet en déterminant où ces rayons se croisent pour ainsi savoir d'où ils sont partis. (On n'a pas vraiment conscience que c'est ça qu'on fait, mais on le fait).

En faisant ça, on applique toujours les lois de l'optique géométrique : notre cerveau va toujours supposer que les rayons sont des lignes droites.

Si les rayons ont dévié, on va quand même penser qu'ils se sont propagés en lignes droites et on pourra ainsi croire qu'il y a un objet à un endroit où il n'y en a pas. Dans le vidéo suivant, il y a un petit cochon en plastique, qu'on voit au début, et il y a une image du cochon, qu'on voit à la fin. Ce dernier cochon n'existe pas du tout. Nos yeux reçoivent des rayons qui se croisent à cet endroit, mais c'est le résultat de réflexions avec des miroirs. C'est une image de l'objet.
http://www.youtube.com/watch?v=qNG-L_iWYZo

L'image avec un miroir plan

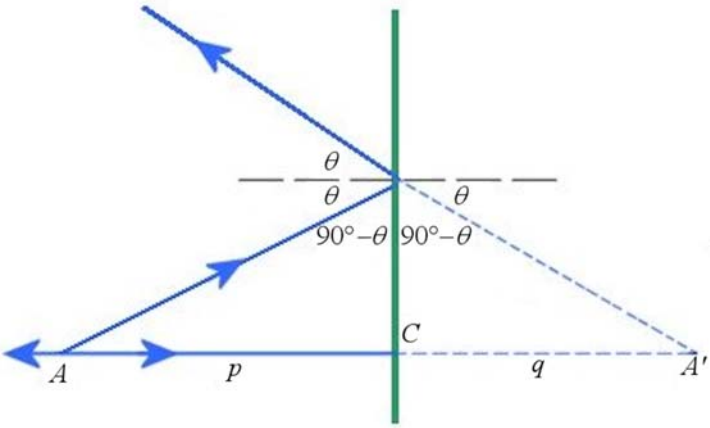
Avec un miroir, on peut croire qu'il y a un objet à un endroit où il n'y en a pas. Les rayons en provenant de l'objet A se reflète sur le miroir et sont captés par l'œil. On va interpréter ces rayons comme s'ils se propageaient en ligne droite à partir du point de croisement de ces rayons. On va donc penser qu'il y a quelque chose au point A'. On va donc voir une image de l'objet A à la position A'. Évidemment, on peut aussi voir l'objet A en le regardant directement. On peut donc voir l'objet et l'image de l'objet en même temps.



fr.wikiversity.org/wiki/Miroirs_en_optique_géométrique/Miroir_plan

Calcul de la position de l'image

Trouvons maintenant la position du point *A*' en cherchant le point de croisement de deux rayons réfléchis. Pour commencer, on va prendre un rayon qui part de *A* et qui arrive avec un angle de 90° sur le miroir (point *C*). Ce rayon se reflète et revient directement sur son trajet pour repasser par le point *A*. Prenons ensuite un deuxième rayon qui arrive avec un angle θ avec la normale au point *B*. Si on utilise la loi de la réflexion, on peut montrer assez facilement que les trois angles θ indiqués sur la figure sont égaux. Cela veut dire que le triangle *ABC* est semblable au triangle *A'BC* puisque tous les angles sont identiques et que le côté *BC* est commun aux deux triangles. Si le triangle *ABC* est semblable au triangle *A'BC,* cela veut dire que le point *A*' est à la même distance de la surface du miroir que le point *A*. Si *p* est la distance entre l'objet et le miroir et *q* est la distance entre l'image et le miroir, on a donc que



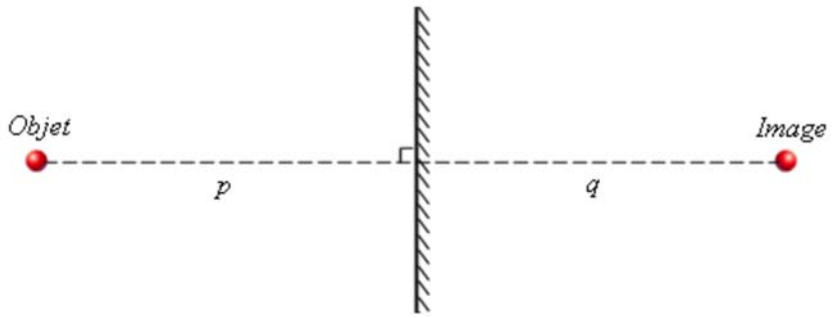
$$q = p$$

Ce n'est pas notre réponse finale puisqu'on va utiliser la convention de signes suivante : la distance entre le miroir et quelque chose est positive s'il est devant le miroir et la distance entre le miroir et quelque chose est négative s'il est derrière le miroir. On a donc

Loi des miroirs plans

$$q = -p$$

L'image est donc à même distance du miroir que l'objet, mais de l'autre côté du miroir. Une ligne reliant l'objet et l'image est perpendiculaire au miroir.



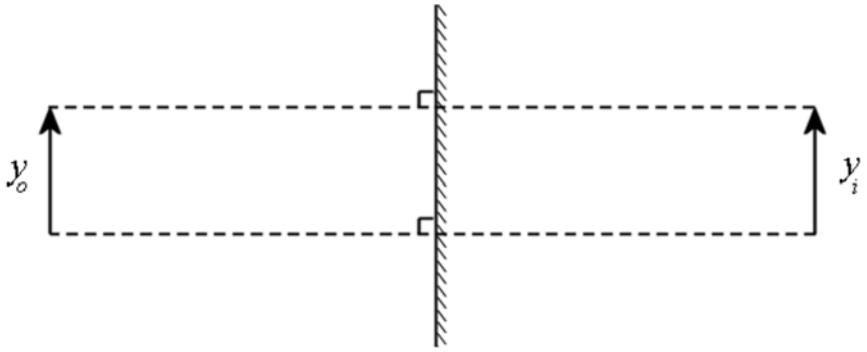
Grandissement

On va définir le grandissement (m) comme la hauteur de l'image (y_i) divisée par la hauteur de l'objet (y_o).

Définition du grandissement

$$m = \frac{y_i}{y_o}$$

Pour le miroir plan, on a la situation suivante.



L'image du bas de l'objet doit être exactement en ligne avec le bas de l'objet et l'image du haut de l'objet doit être exactement en ligne avec le haut de l'objet. Il y a donc deux lignes parallèles qui relient les deux extrémités de l'objet et de l'image. Comme ces lignes sont parallèles, l'image doit avoir exactement la même taille que l'image. On a donc

$$y_i = y_o$$

et ainsi

Grandissement avec un miroir plan

$$m = 1$$

En résumé, on peut dire que quand vous vous regardez dans le miroir, vous voyez votre image derrière le miroir. Si vous êtes à 1,5 m du miroir, votre image semblera 1,5 m derrière le miroir et elle aura les mêmes dimensions que vous.

en.wikipedia.org/wiki/Mirror

Voici un bel effet obtenu avec des miroirs plans
http://www.youtube.com/watch?v=TZkdQeevJu0

Erreur dans les films : les vitres miroirs

Il n'existe pas de vitres qui laissent passer la lumière dans un sens et qui sont des miroirs pour la lumière dans l'autre sens. On peut avoir un miroir qui laisse passer une partie de la lumière et qui réfléchit l'autre partie, mais le pourcentage de lumière réfléchie est le même dans les deux sens. On peut l'utiliser comme vitre miroir à condition d'avoir très peu de lumière dans une des pièces. Ainsi, du côté de la pièce éclairée, la lumière réfléchie par le miroir sera nettement plus intense que la lumière provenant de l'autre pièce et on ne pourra pas voir dans la pièce obscure. Du côté de la pièce obscure, il n'y a pas beaucoup de lumière réfléchie puisqu'il n'y a pas de lumière allumée dans cette pièce et il n'y aura que la lumière qui a traversé le miroir.

Si on cherche à garder l'anonymat derrière un tel miroir semi-réfléchissant, il ne faut surtout pas que quelqu'un allume la lumière dans la pièce obscure parce qu'alors, on pourra tout voir de l'autre côté.

S'il existait un miroir qui laisse passer la lumière seulement dans une direction, on pourrait obtenir de l'énergie gratuitement en construisant une boite qui laisse entrer la lumière, mais qui ne la laisse pas sortir. On accumulera sans cesse de la lumière, donc de l'énergie, sans faire aucun travail, ce qui n'est pas permis par les lois de la thermodynamique.

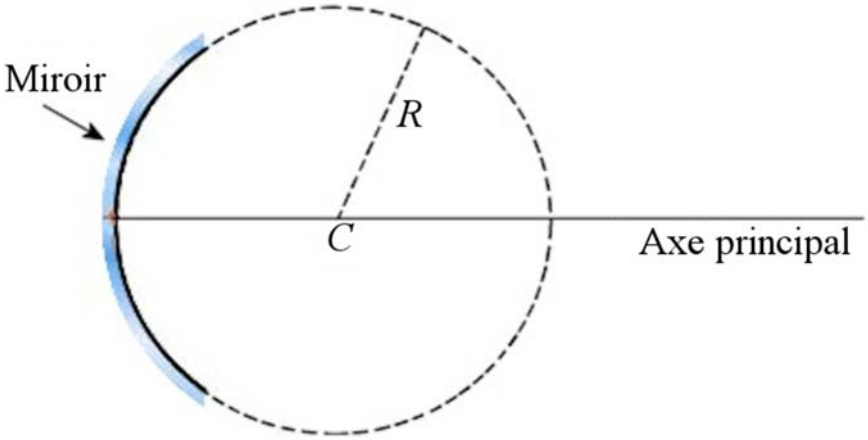
5.3 LES MIROIRS SPHÉRIQUES

On va maintenant examiner ce qui arrive si on forme une image avec un miroir courbe. Il pourrait y avoir plusieurs formes possibles pour ces miroirs courbés, mais nous allons uniquement étudier les miroirs sphériques. Ces miroirs sont formés en utilisant une portion ou la totalité d'une sphère réfléchissante.

arkadiusz.jadczyk.salon24.pl/472422,spojrz-w-lustro-najlepiej-sferyczne

Un miroir sphérique au Texas Tech University

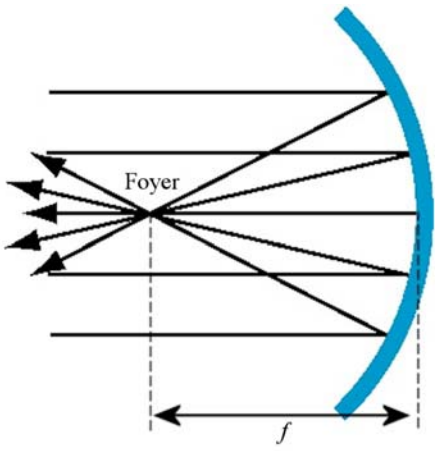
Si on utilise une portion de sphère, on aura la situation suivante.



La ligne partant du centre du miroir et qui passe par le centre de la sphère est l'axe principal du miroir. Le rayon de courbure correspond au rayon de la sphère. Deux situations peuvent se présenter

1) L'intérieur de la sphère est réfléchissant : nous avons alors un miroir concave.
2) L'extérieur de la sphère est réfléchissant : nous avons alors un miroir convexe.

Le foyer

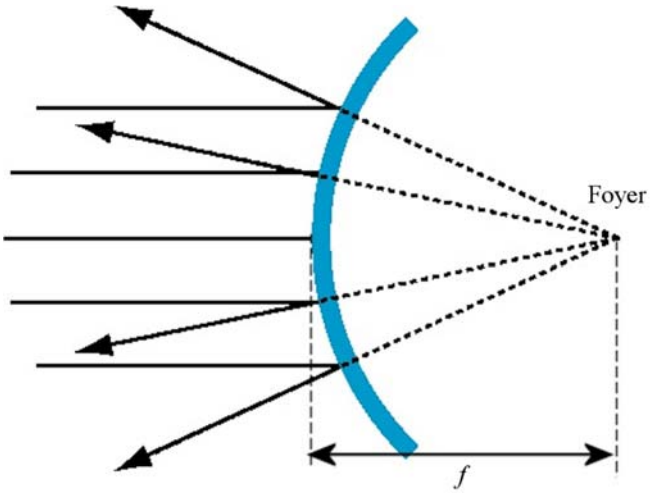


Les rayons parallèles arrivant sur un miroir concave se concentrent, après réflexion, en un point appelé *foyer*. La distance entre le miroir et le foyer, mesurée le long de l'axe principal, est la distance focale *f*.

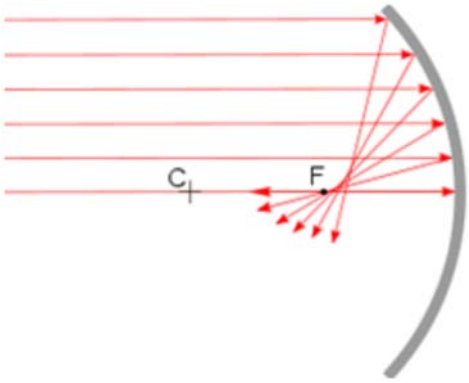
Vous pouvez observer ce phénomène dans ce vidéo.
http://www.youtube.com/watch?v=kqxdWpMOF9c

On peut d'ailleurs concentrer la lumière solaire au foyer d'un tel miroir. La quantité d'énergie qui arrive au foyer peut alors être assez grande pour enflammer un morceau de bois.
http://www.youtube.com/watch?v=4QbX3Fhlm-8

Pour un miroir convexe, les rayons parallèles semblent provenir, après la réflexion, d'un point derrière le miroir. Ce point est aussi le foyer et la distance focale est aussi la distance entre le miroir et le foyer.

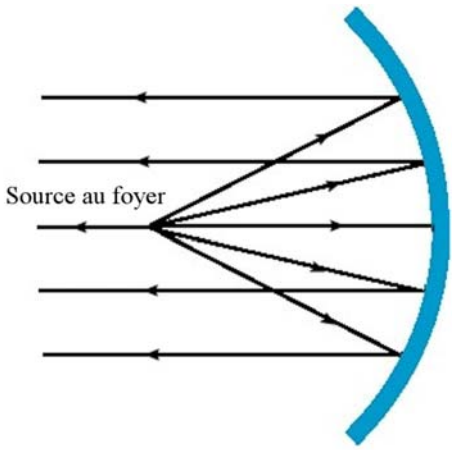


Voyez ce phénomène en action
http://www.youtube.com/watch?v=5zZNC2YzRDo



En réalité, les rayons n'arrivent pas exactement tous au même endroit avec un miroir sphérique. Les rayons qui frappent le miroir loin de l'axe principal vont arriver un peu plus près du miroir que le foyer. C'est l'aberration sphérique. Si on voulait que tous les rayons arrivent exactement au même endroit, il faudrait que le miroir soit de forme parabolique. On va négliger ici cette aberration.

commons.wikimedia.org/wiki/File:Aberration_de_sphéricité_d'un_miroir_sphérique_concave.svg



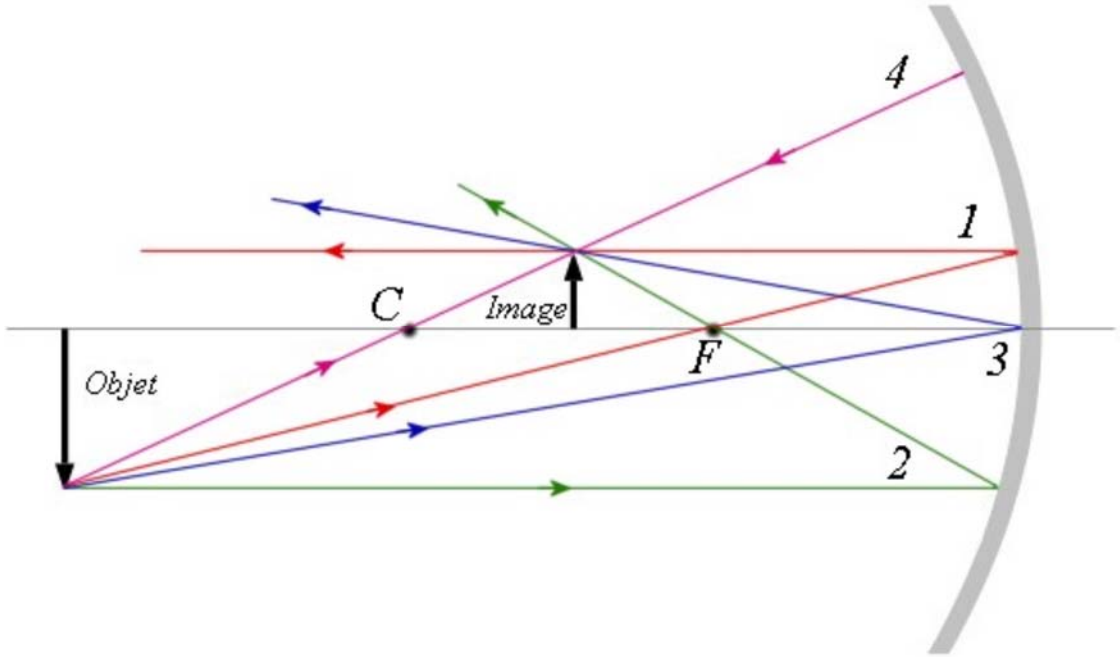
Si on change le sens des rayons, on obtient une situation où les rayons provenant d'une source placée au foyer seront tous parallèles à l'axe principal après la réflexion sur le miroir. Cette situation est effectivement possible.

Cette idée est toujours valide en optique géométrique : si on inverse la direction des rayons, ce qu'on obtient est une situation tout à fait possible. C'est le ***principe de réciprocité***.

Méthode graphique pour trouver la position de l'image

Il y a quatre rayons qui partent de l'objet pour lesquels on peut prévoir la trajectoire assez facilement pour trouver la position de l'image d'un objet.

1) Un rayon passant par le foyer devient parallèle après la réflexion.
2) Un rayon qui est parallèle à l'axe principal passe par le foyer après la réflexion.
3) Un rayon passant par le centre du miroir est réfléchi avec le même angle par rapport à l'axe principal.
4) Un rayon passant par le centre de courbure (*C*) arrive sur le miroir avec un angle de 90° et revient donc passer par le centre de courbure après la réflexion.



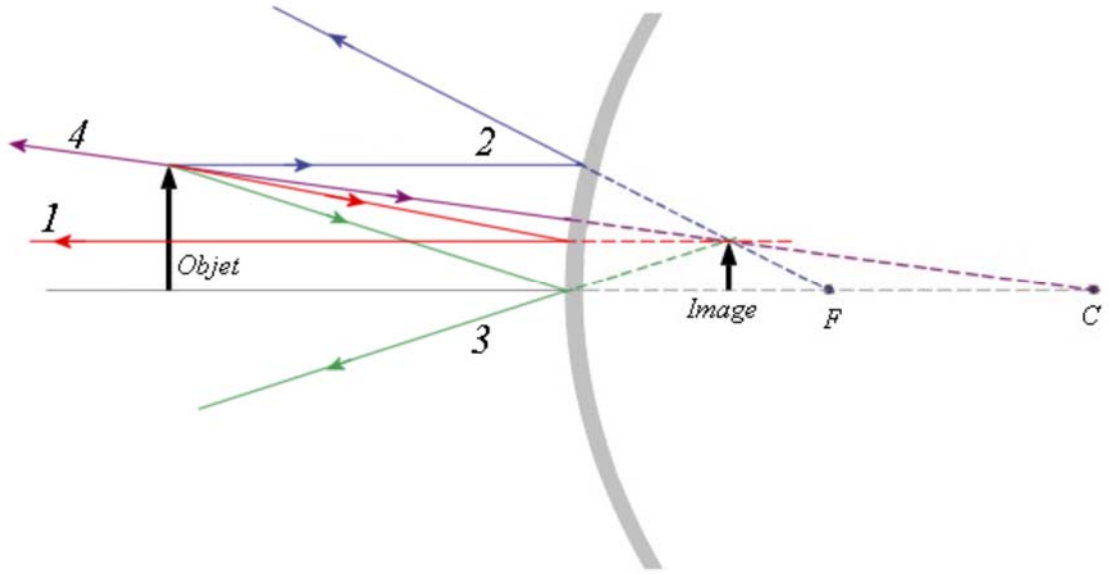
Tous ces rayons vont se rencontrer au même endroit : à la position de l'image. Sur la figure, on a trouvé la position de l'image du bout de la flèche. On voit que des rayons partent de

la position de l'image. Si quelqu'un voit ces rayons, il pensera qu'il y a quelque chose à cet endroit, car c'est le point de croisement des rayons qu'il capte.

Il n'est pas nécessaire de tracer tous ces rayons. Avec simplement deux rayons, on trouve déjà le point de croisement des rayons, et donc la position de l'image.

On peut faire la même chose pour les miroirs convexes. L'idée est la même, mais il y a quelques différences, car le foyer est derrière le miroir. Les rayons sont

1) Un rayon se dirigeant vers le foyer devient parallèle après la réflexion.
2) Un rayon parallèle à l'axe principal semble provenir du foyer après la réflexion.
3) Un rayon passant par le centre du miroir est réfléchi avec le même angle par rapport à l'axe principal.
4) Un rayon passant par le centre de courbure (C) arrive sur le miroir avec un angle de 90° et revient donc passer par le centre de courbure après la réflexion.



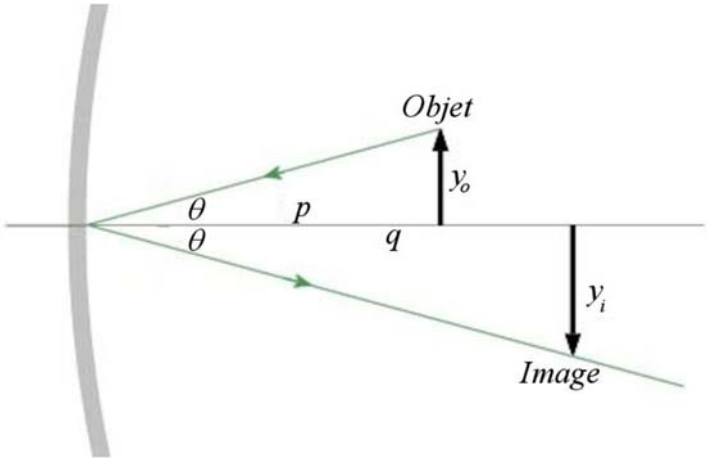
On voit que les 4 rayons, après réflexion, semble tous provenir du même endroit. Le point de croisement de ces rayons est la position de l'image.

Évidemment, on pourra plus facilement trouver la position par calcul, mais ces rayons seront parfois utiles pour visualiser la situation.

Le calcul de la position de l'image

Nous utiliserons encore la notation suivante : p est la distance entre le miroir et l'objet, et q est la distance entre le miroir et l'image.

Premièrement, nous avons

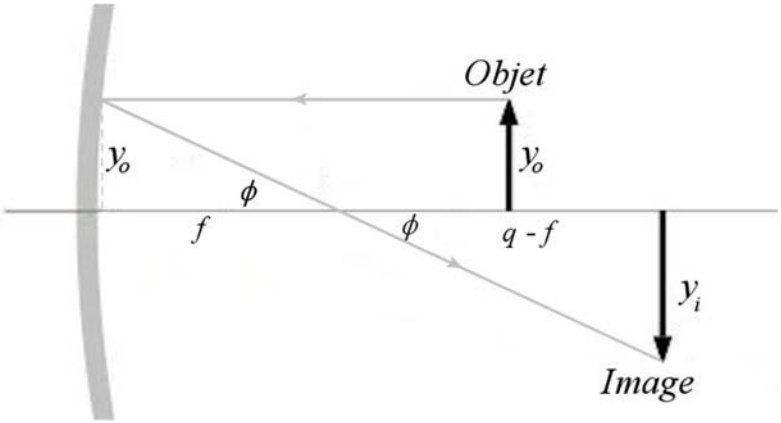


Dans cette figure, y_o est la grandeur de l'objet et y_i est la grandeur de l'image.

Nous avons alors deux triangles semblables. Ainsi

$$\frac{y_i}{y_o} = \frac{q}{p}$$

Examinons maintenant les triangles avec des angles ϕ formés par le rayon parallèle qui va passer par le foyer.



Comme ce sont aussi des triangles semblables, on a

$$\frac{y_i}{y_o} = \frac{q-f}{f}$$

En prenant ces deux équations, on a

$$\frac{q}{p} = \frac{q-f}{f}$$
$$\frac{1}{p} = \frac{q-f}{qf}$$
$$\frac{1}{p} = \frac{q}{qf} - \frac{f}{qf}$$
$$\frac{1}{p} = \frac{1}{f} - \frac{1}{q}$$

Ce qui donne finalement

Équation des miroirs

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

Bien qu'on ait fait la preuve avec un miroir concave, cette formule est valide pour tous les miroirs, à condition de respecter la convention de signe suivante.

Convention de signe pour les miroirs

Pour le miroir concave : R et f sont positifs.

Pour le miroir convexe : R et f sont négatifs.

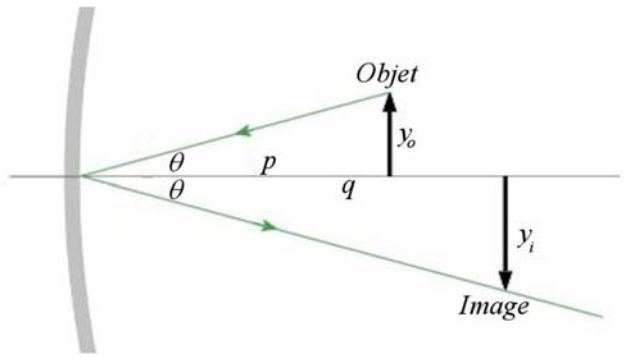
Si q est positif : l'image est devant le miroir.

Si q est négatif : l'image est derrière le miroir.

Remarquez que cette formule est aussi valide pour les miroirs plans. Avec un miroir plan, R est infini, ce qui nous donne $q = -p$. exactement ce qu'on avait pour ce type de miroir.

Le grandissement

Pour trouver le grandissement, examinons le rayon passant par le centre du miroir.



Avec ce rayon, on avait trouvé que

$$\frac{y_i}{y_0} = \frac{q}{p}$$

Ce rapport des grandeurs de l'objet et de l'image est le grandissement. Toutefois, pour tenir compte du fait que l'image est inversée, nous allons ajouter un signe négatif.

Grandissement avec un miroir

$$m = -\frac{q}{p}$$

Si le grandissement est positif, alors l'image est dans le même sens que l'objet (on dit parfois que c'est une image droite). Si le grandissement est négatif, alors l'image est inversée par rapport à l'objet.

Calcul de la distance focale

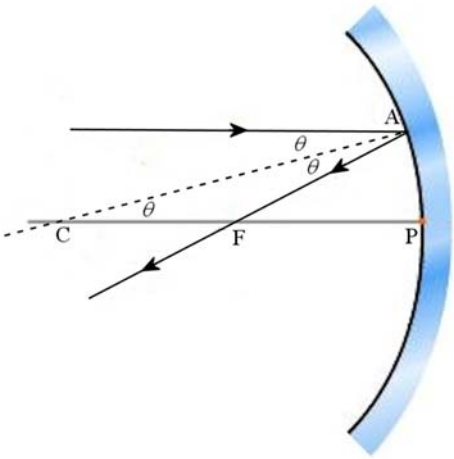
Pour trouver la distance focale du miroir, nous allons prendre un rayon parallèle à l'axe principal et déterminer où il croise l'axe principal après la réflexion.

Les deux angles au point A sont égaux à cause de la loi de la réflexion.

L'angle au point C est aussi égal à θ, car c'est un angle alterne-interne de l'angle du haut au point A.

Comme il y a deux angles semblables dans le triangle CFA, c'est un triangle isocèle et les deux côtés suivants sont égaux.

$$CF = FA$$



www.tutorvista.com/content/science/science-ii/reflection-light/formation-concave-mirror.php

Si la distance entre le rayon parallèle et l'axe principal est petite, les deux côtés suivants sont presque égaux.

$$FA \approx FP$$

On a donc

$$CF \approx FP$$

Or, le rayon de courbure (R) est la distance entre les points C et P. On a donc

$$R = CP$$
$$R = CF + FP$$
$$R \approx FP + FP$$
$$R \approx 2FP$$

Comme FP est la distance entre le foyer et le miroir, c'est la distance focale f. On obtient ainsi

$$R \approx 2f$$

On va négliger l'approximation pour ainsi obtenir

Distance focale d'un miroir

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

Même si on ne va pas le démontrer, ce résultat est valide aussi pour le miroir convexe.

Exemple 5.3.1

Un objet de 1 cm de haut est à 6 cm d'un miroir concave ayant un rayon de courbure de 8 cm.

a) Où est l'image ?

On trouve la position de l'image avec

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

Pour la trouver il nous faut la distance focale du miroir. Si le rayon de courbure est de 8 cm, alors la distance focale est de 4 cm. On a alors

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$
$$\frac{1}{6cm}+\frac{1}{q}=\frac{1}{4cm}$$
$$q=12cm$$

b) Quelle est la grandeur de l'image ?

On trouve la grandeur de l'image avec

$$m=\frac{y_i}{y_o}$$

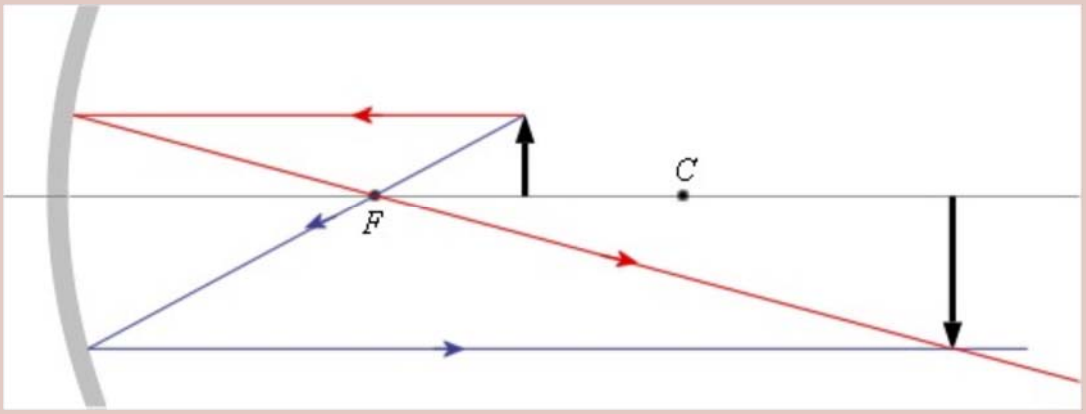
Pour trouver y_i, il nous faut le grandissement. Le grandissement est

$$m=-\frac{q}{p}=-\frac{12cm}{6cm}=-2$$

La grandeur de l'image est donc

$$m=\frac{y_i}{y_o}$$
$$y_i=my_o$$
$$y_i=-2\cdot 1cm$$
$$y_i=-2cm$$

L'image est donc à 12 cm devant le miroir, elle est inversée et deux fois plus grande. On peut vérifier que cette réponse à bien de l'allure en traçant les rayons pour trouver l'image.



Exemple 5.3.2

Un objet de 1 cm de haut est à 2 cm d'un miroir concave ayant un rayon de courbure de 8 cm.

a) Où est l'image ?

On trouve la position de l'image avec

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

Pour la trouver il nous faut la distance focale du miroir. Si le rayon de courbure est de 8 cm, alors la distance focale est de 4 cm. On a alors

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$
$$\frac{1}{2cm}+\frac{1}{q}=\frac{1}{4cm}$$
$$q=-4cm$$

b) Quelle est la grandeur de l'image ?

On trouve la grandeur de l'image avec

$$m=\frac{y_i}{y_o}$$

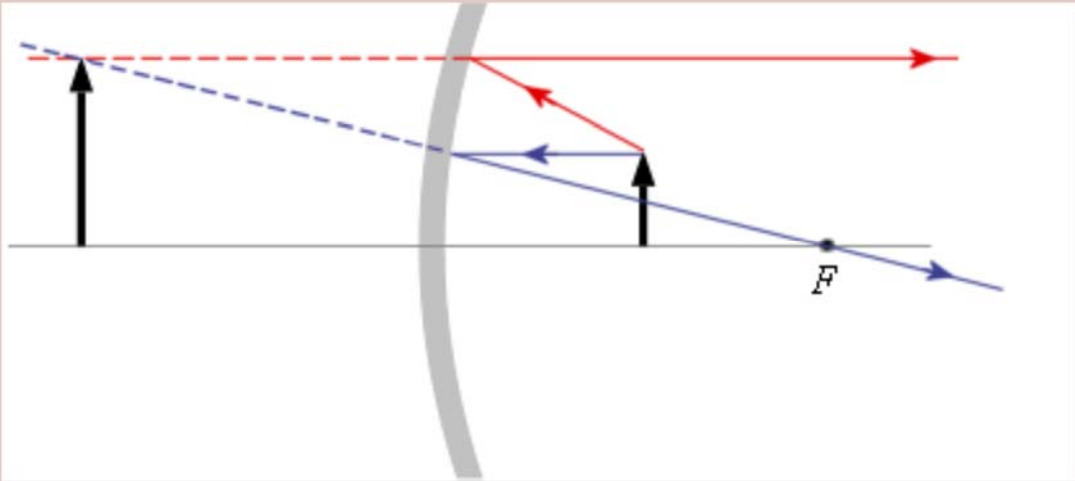
Pour trouver y_i, il nous faut le grandissement. Le grandissement est

$$m = -\frac{q}{p} = -\frac{-4cm}{2cm} = 2$$

La grandeur de l'image est

$$m = \frac{y_i}{y_o}$$
$$y_i = my_o$$
$$y_i = 2 \cdot 1cm$$
$$y_i = 2cm$$

L'image est donc 4 cm derrière le miroir, elle n'est pas inversée et deux fois plus grande que l'objet. On peut vérifier que cette réponse à bien de l'allure en traçant les rayons pour trouver l'image.



Dans ces deux exemples, on a rencontré deux types d'images.

Types d'image

Image réelle : Les rayons sont passés par la position de l'image après réflexion. (Elle est donc devant le miroir et q est positif.)

Image virtuelle : Les rayons ne sont pas passés par la position de l'image après réflexion, ils semblent seulement provenir de l'image. (Elle est donc derrière le miroir et q est négatif.)

Presque tout le monde sait ce qu'est une image virtuelle parce que c'est ce qu'on voit quand on se regarde dans le miroir. Il est plus rare que puisse voir une image réelle. Peut-être que ce vidéo vous aidera à visualiser ce concept.
http://www.youtube.com/watch?v=KVpSCICCD9A

(L'effet aurait été meilleur avec un miroir de meilleure qualité.)

Exemple 5.3.3

Un objet de 2 cm de haut est à 12 cm d'un miroir sphérique. On obtient une image droite (donc qui n'est pas inversée) de 1,2 cm de haut. Quel est le type de miroir (concave, plan ou convexe) et quelle est sa distance focale ?

On cherche la distance focale du miroir (le signe nous donnera le type de miroir). Comme on n'a pas le rayon de courbure, la distance focale doit se trouver avec

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

On sait la valeur de p, mais pas celle de q. Par contre, comme on sait la hauteur de l'image et de l'objet, on peut trouver q avec la formule du grandissement.

$$m=\frac{y_i}{y_o}=\frac{-q}{p}$$
$$\frac{1,2cm}{2cm}=-\frac{q}{12cm}$$
$$q=-7,2cm$$

On a donc une image virtuelle 7,2 cm derrière le miroir. On peut ensuite trouver f avec la formule des miroirs.

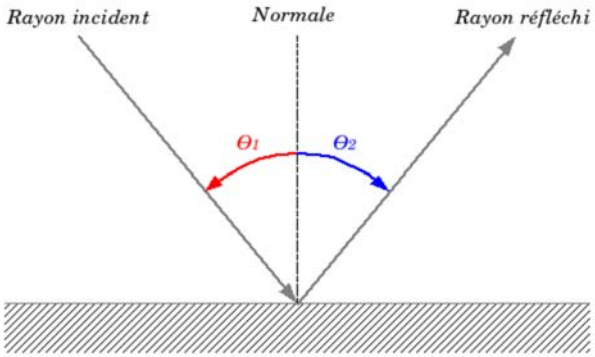
$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$
$$\frac{1}{12cm}+\frac{1}{-7,2cm}=\frac{1}{f}$$
$$f=-18cm$$

Il s'agit donc d'un miroir convexe (car la distance focale est négative) ayant une distance focale de 18 cm.

RÉSUMÉ DES ÉQUATIONS

Loi de la réflexion

$$\theta_1 = \theta_2$$



fr.wikipedia.org/wiki/Réflexion_optique

Loi des miroirs plans

$$q = -p$$

Définition du grandissement

$$m = \frac{y_i}{y_o}$$

Grandissement avec un miroir plan

$$m = 1$$

Formule des miroirs

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

Convention de signe pour les miroirs

Pour le miroir concave : R et f sont positifs

Pour le miroir convexe : R et f sont négatifs

Si q est positif : l'image est devant le miroir

Si q est négatif : l'image est derrière le miroir

Grandissement avec un miroir

$$m = -\frac{q}{p}$$

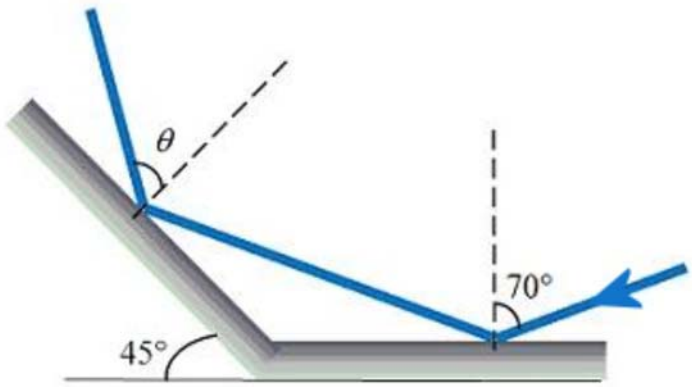
Distance focale d'un miroir

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

EXERCICES

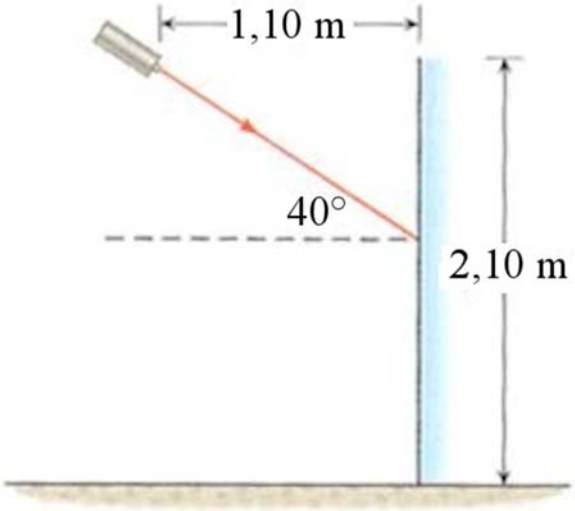
5.1 La loi de la réflexion

1. Quel est l'angle θ sur cette figure ?



www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/mirrors-arranged-shown-drawing-light-incident-right-mirror-angle-70--light-reflects-second-q2392915

2. À quelle distance du mur le laser va-t-il toucher le sol dans la situation montrée sur la figure ?

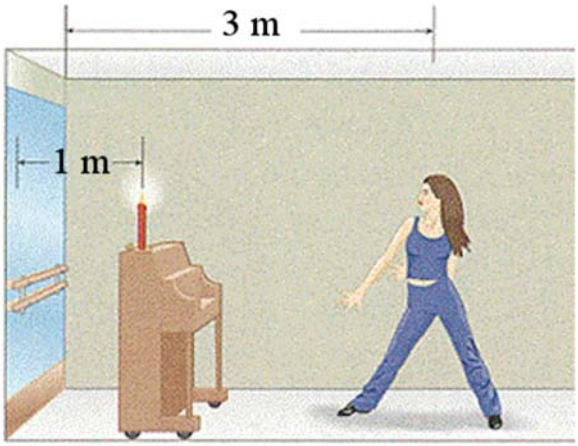


www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/drawing-shows-laser-beam-shining-plane-mirror-perpendicular-floor-beam-s-angle-incident-38-q3283878

5.2 Les miroirs plans

3. Un objet de 20 cm de haut est à 120 cm d'un miroir. Où se trouve l'image et quelle est sa hauteur ?

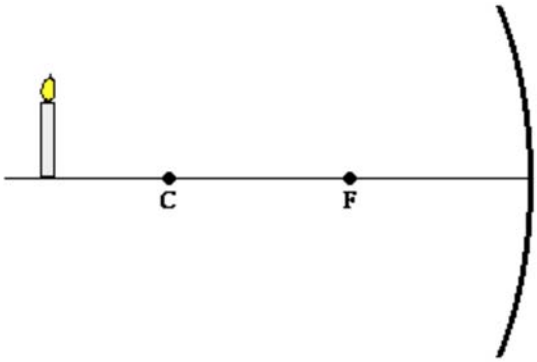
4. Dans la situation montrée sur la figure, quelle est la distance entre Anna et l'image de la chandelle ?



www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/hannah-standing-middle-room-opposite-walls-separated-d-105-m-covered-plane-mirrors-candle--q1598802

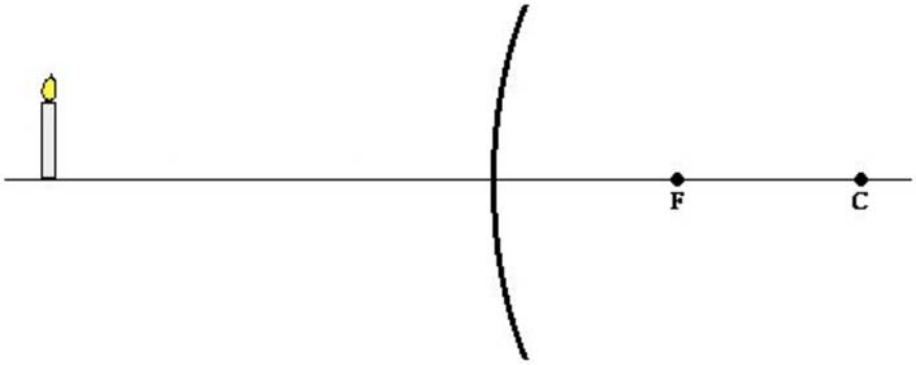
5.3 Les miroirs sphériques

5. Trouvez la position de l'image de la chandelle en traçant les rayons.



www.physicsclassroom.com/mmedia/optics/rdcma.cfm

6. Trouvez la position de l'image de la chandelle en traçant les rayons.



www.physicsclassroom.com/mmedia/optics/rdcma.cfm

7. Un objet est devant un miroir concave ayant un rayon de courbure de 40 cm. Quelle est la position de l'image si l'objet est…

   a) à 10 cm du miroir ?
   b) à 50 cm du miroir ?

8. Un objet est devant un miroir convexe ayant un rayon de courbure de 40 cm. Quelle est la position de l'image si l'objet est…

   a) à 10 cm du miroir ?
   b) à 50 cm du miroir ?

9. Un objet ayant une hauteur de 3 cm est à 16 cm d'un miroir concave ayant un rayon de courbure de 28 cm. Où est l'image et quelle est sa hauteur ?

10. Un objet est à 30 cm d'un miroir sphérique. On obtient alors une image inversée dont la hauteur est égale à 30 % de la hauteur de l'objet. De quel type de miroir s'agit-il (concave, convexe ou plat) et quel est son rayon de courbure ?

11. On obtient une image située à 20 cm devant un miroir quand l'objet est à 60 cm devant le miroir. Où sera l'image si on place l'objet à 10 cm du miroir ?

12. Un objet est devant un miroir convexe dont le rayon de courbure est de 40 cm. On obtient alors une image droite dont la hauteur est égale à 25 % de la hauteur de l'objet.

    a) Quelle est la distance entre l'objet et le miroir ?
    b) Quelle est la position de l'image ?

RÉPONSES

5.1 La loi de la réflexion

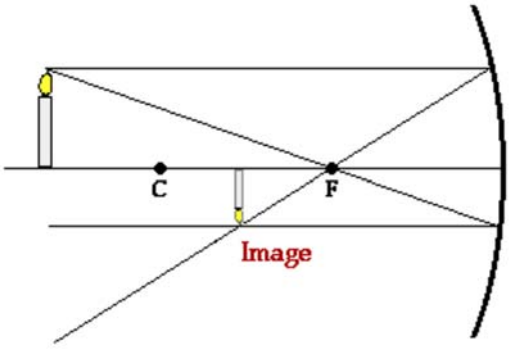
1. 65°
2. 1,403 m

5.2 Les miroirs plans

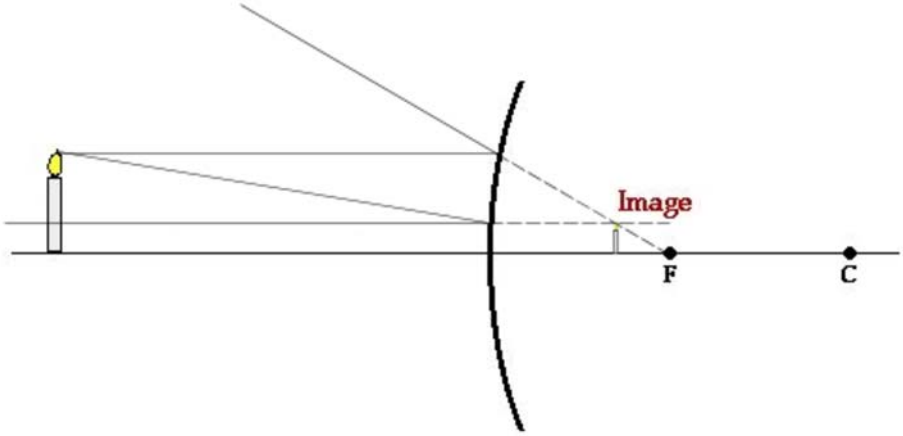
3. 20 cm de haut à 120 cm derrière le miroir
4. 4 m

5.3 Les miroirs sphériques

5.



6.



7. a) 20 cm derrière le miroir. b) 33,3 cm devant le miroir.
8. a) 6,67 cm derrière le miroir. b) 14,29 cm derrière le miroir.
9. L'image est à 112 cm devant le miroir, elle est inversée et a une hauteur de 21 cm.
10. Un miroir concave ayant un rayon de courbure de 13,85 cm.
11. 30 cm derrière le miroir.
12. a) À 60 cm du miroir. b) À 15 cm derrière le miroir.