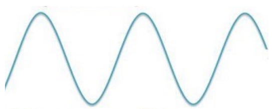
Cours 01

Optique géométrique

- Conditions d'application
- Principe de Huygens et principe de Fermat
- Loi de la réflexion
- Miroirs sphériques
  - Formule des miroirs sphériques
  - Convention de signe
- Construction graphique de l'image
  - Rayons particuliers
- Grandissement
- Caractéristiques de l'image

Application de l'optique géométrique



Conditions d'application

les dimensions des ouvertures $\gg \lambda$ (longueur d'onde de la lumière)

Utilité

Description d'instruments d'optique, tels miroirs, prismes, lentilles,…

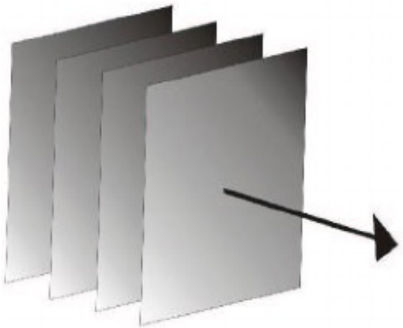
Rayons

Rayons

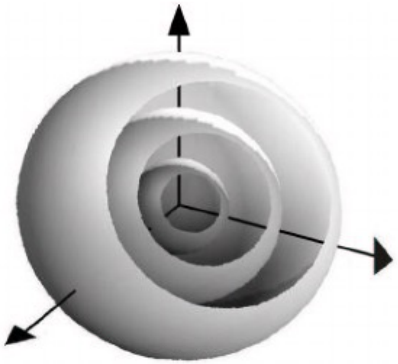
Direction orthogonale aux plans d'onde

Plan d'onde

Surface où l'onde porte la même phase



Onde plane



Onde sphérique

Principes pour la propagation des rayons

La direction des rayons peut être trouvée en appliquant l'un des deux principes équivalents suivants :

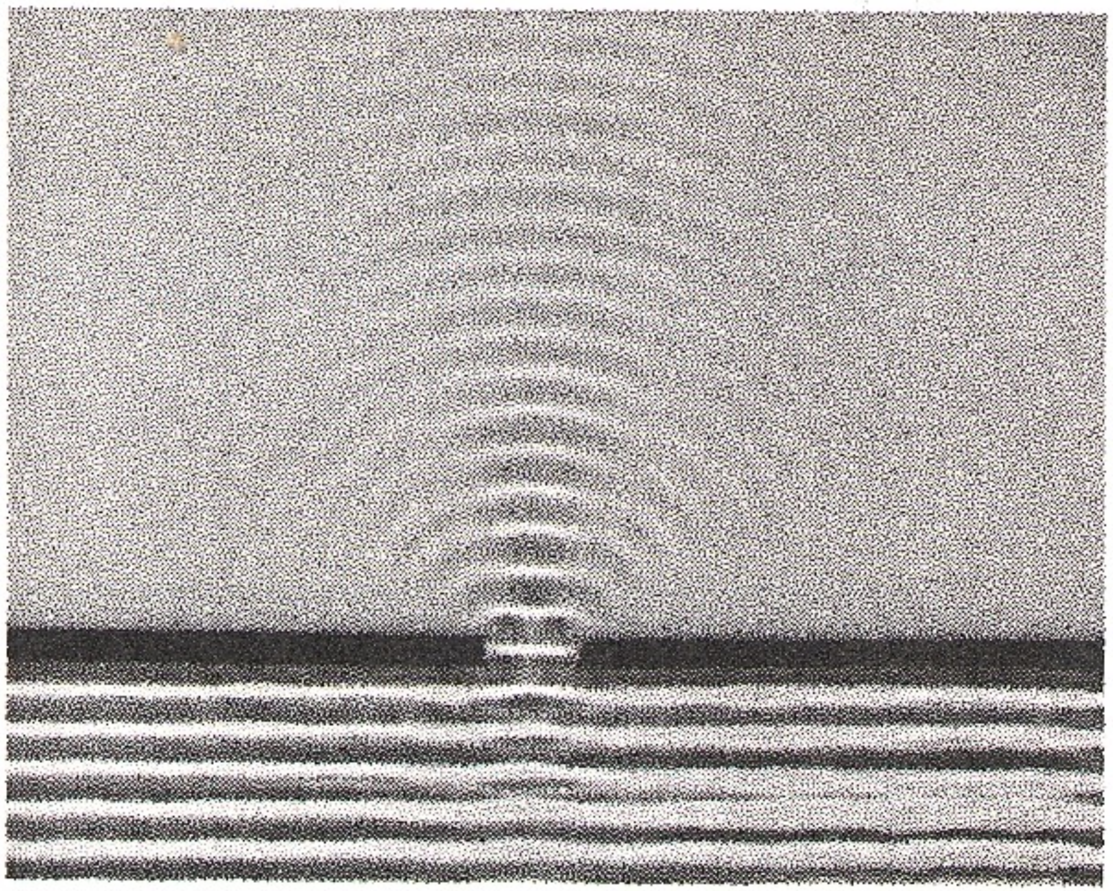
Christiaan Huygens
1629-1695

1. Principe de Huygens
2. Principe de Fermat

Pierre de Fermat
1607-1665

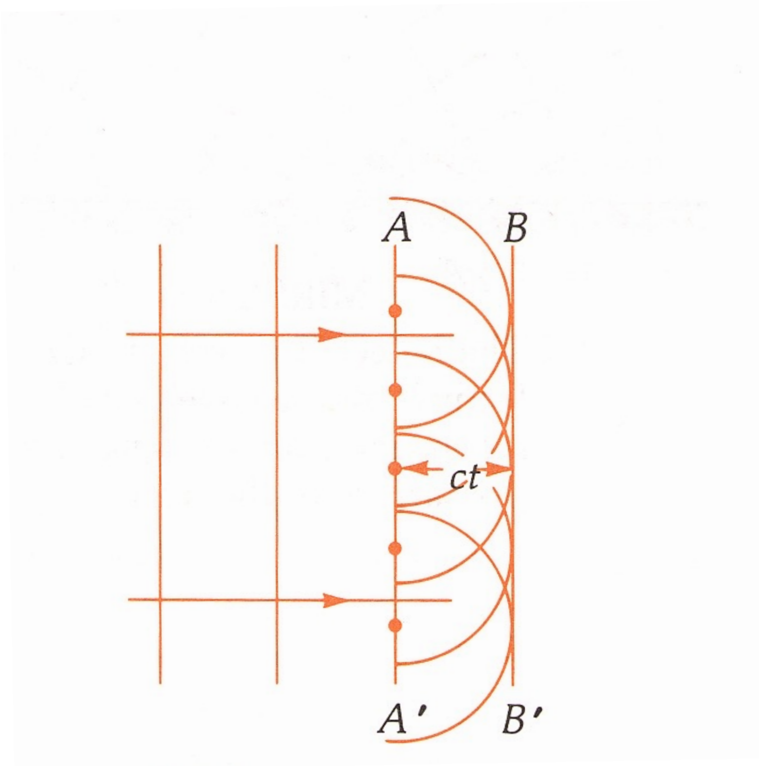
On peut démontrer mathématiquement que ces deux principes découlent de l'équation d'onde de Maxwell.

Ondelettes de Huygens

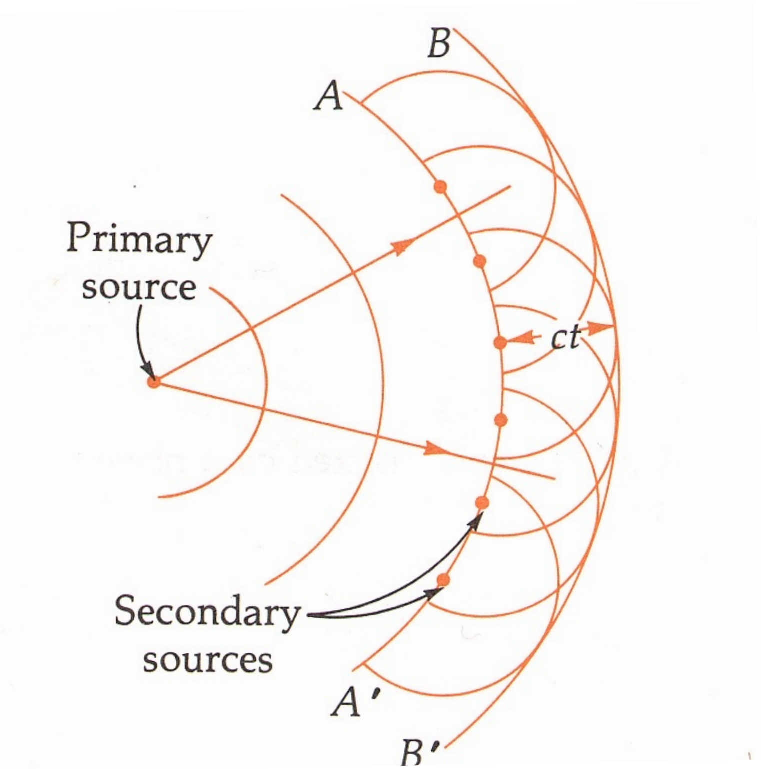


Principe de Huygens

Tout point sur un plan d’onde peut être vu comme une source ponctuelle qui émet une ondelette. Le nouveau plan d’onde est alors tangent aux ondelettes et les envelope.



Front d’onde planaire



Front d’onde sphérique

Principe de Fermat

Pour aller d'un point **A** à un point **B**, le rayon lumineux choisit le chemin pour lequel le temps de parcours est minimal.

$$\boxed{\int_{\mathbf{A}}^{\mathbf{B}} dt \qquad \text{minimum}}$$

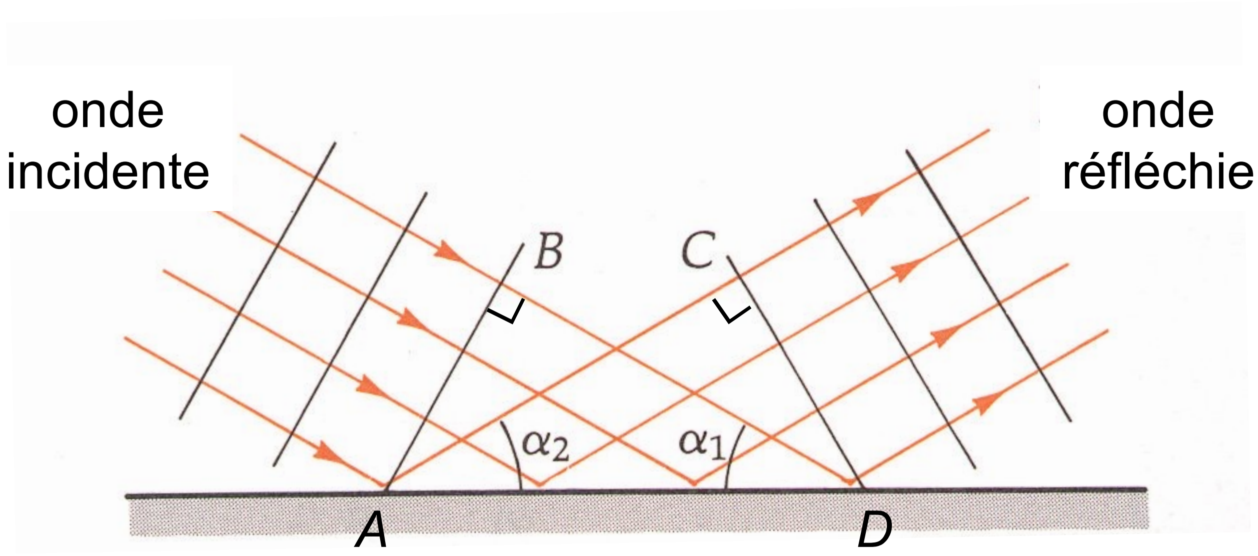
On peut écrire

chemin réel

$$\int_{\mathbf{A}}^{\mathbf{B}} dt = \underbrace{\sum_i}_{\text{matériaux différents}} \frac{d_i}{c/n_i} = \frac{1}{c} \underbrace{\sum_i d_i n_i}_{\text{chemin optique}}$$

Réflexion

Application du principe de Huygens



$t_{AC} = t_{BD}$ $\Rightarrow$ distance AC = distance BD

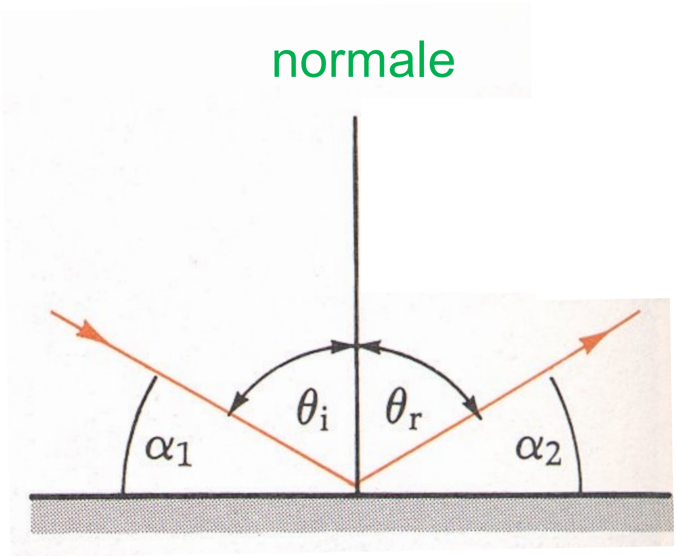
$\angle$ ABD = $\angle$ ACD = 90° (fronts d'onde)

Les triangles Δ ADB et Δ ADC ont l'hypothénuse en commun

Δ ADB et Δ ADC sont isométriques

$\Rightarrow \alpha_1 = \alpha_2$

Loi de la réflexion



Généralement on donne les angles par rapport à la normale à la surface dans le point d'incidence

Une analyse analogue en trois dimensions montre que le rayon incident, la normale et le rayon réfléchi appartiennent au même plan.

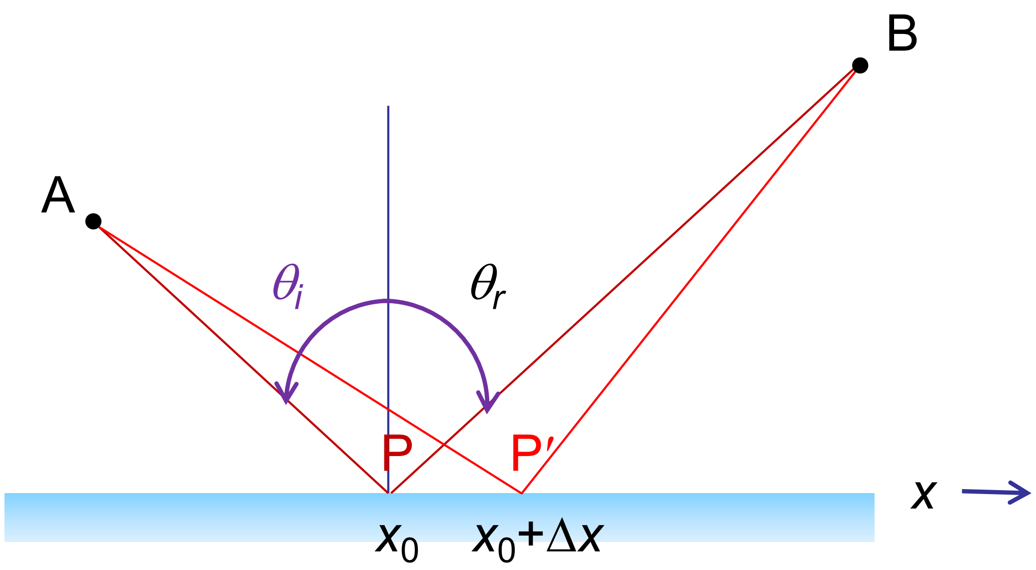
Lois de la réflexion :

1. $\theta_i = \theta_r$

2. Le rayon incident, la normale et le rayon réfléchi appartiennent au même plan.

Réflexion

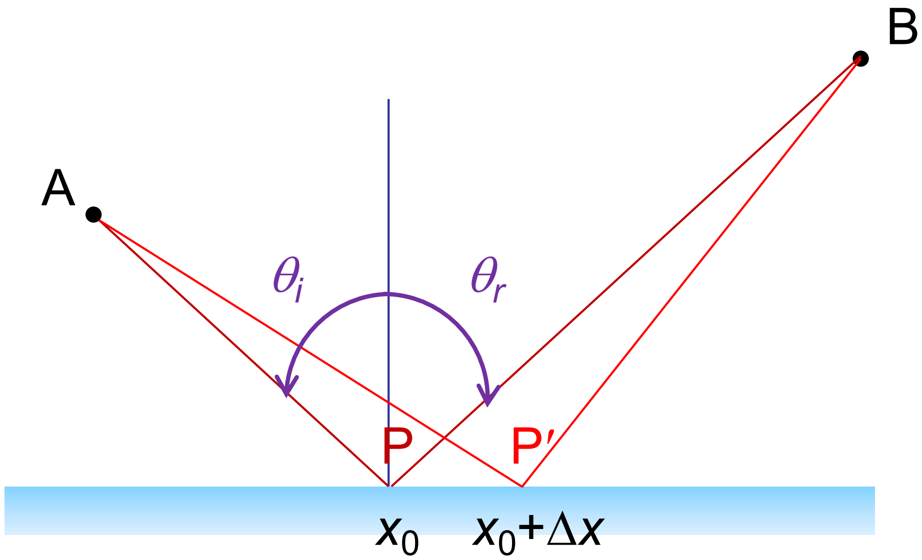
Application du principe de Fermat



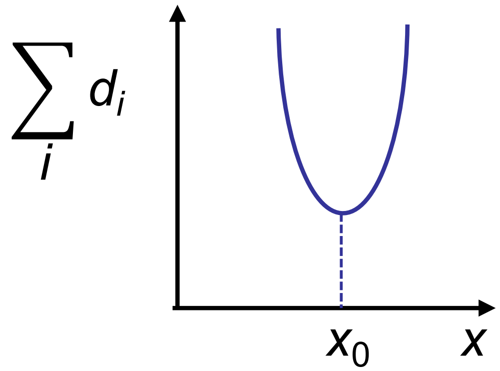
Principe de Fermat:

$$\int_A^B dt \quad \text{minimum} \quad \Rightarrow \quad \sum_i d_i n_i \quad \text{minimum} \quad \Rightarrow \quad \sum_i d_i \quad \text{minimum}$$

Loi de la réflexion via le principe de Fermat



Au minimum ($x = x_0$), le chemin varie quadratiquement en Δx :



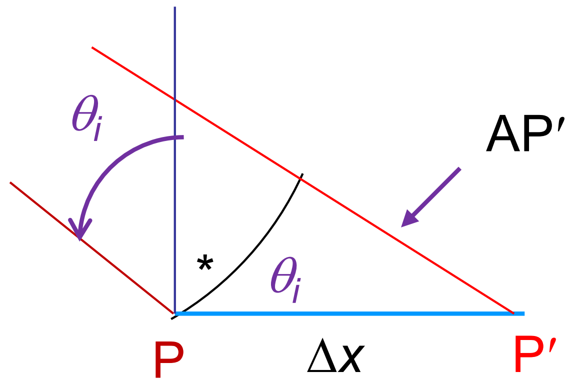
Le terme à l'ordre linéaire en Δx est nul.

$$AP + PB - (AP' + P'B) = 0 \qquad \text{(à l'ordre linéaire en } \Delta x \text{)}$$

$$AP - AP' + PB - P'B = 0$$

$$-\Delta x \sin\theta_i + \Delta x \sin\theta_r = 0$$

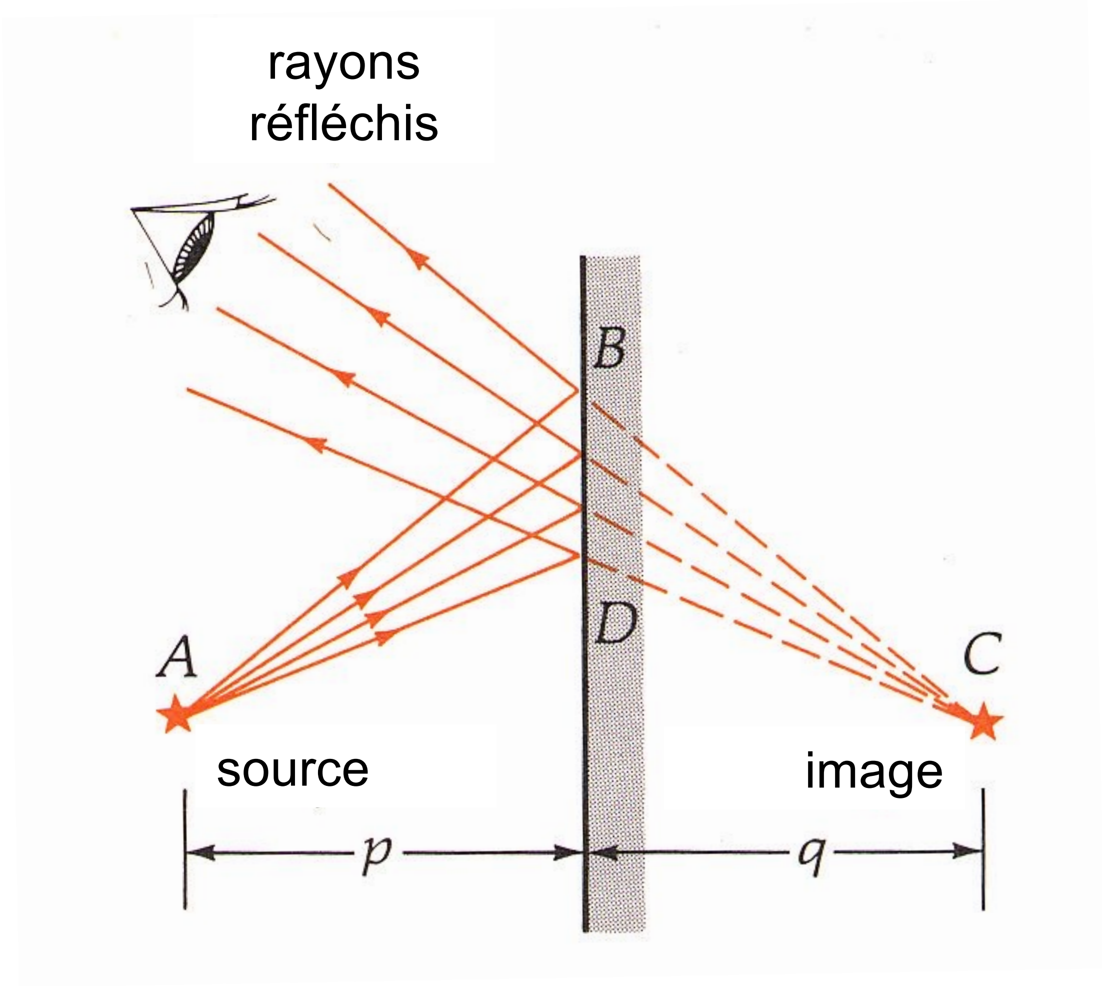
$$\Rightarrow \qquad \theta_i = \theta_r$$



$AP' - AP = \Delta x \sin\theta_i$

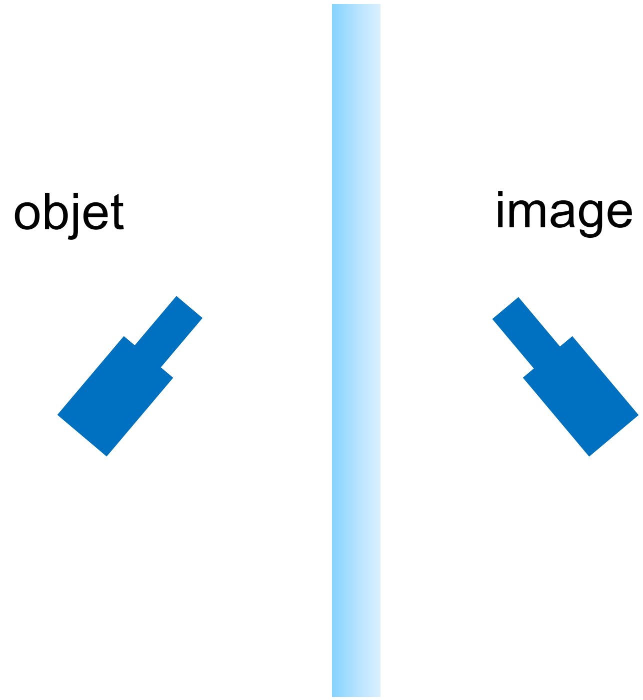
$\theta_i + * = 90°$

Miroir plan



$p = q$

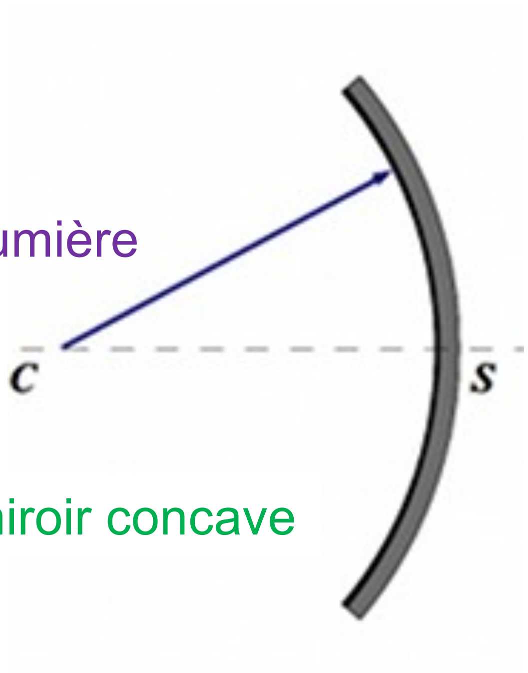
distance source = distance image



Si la source est un objet étendu, il faudra considérer l'objet comme un ensemble de sources ponctuelles et retrouver l'image point par point.

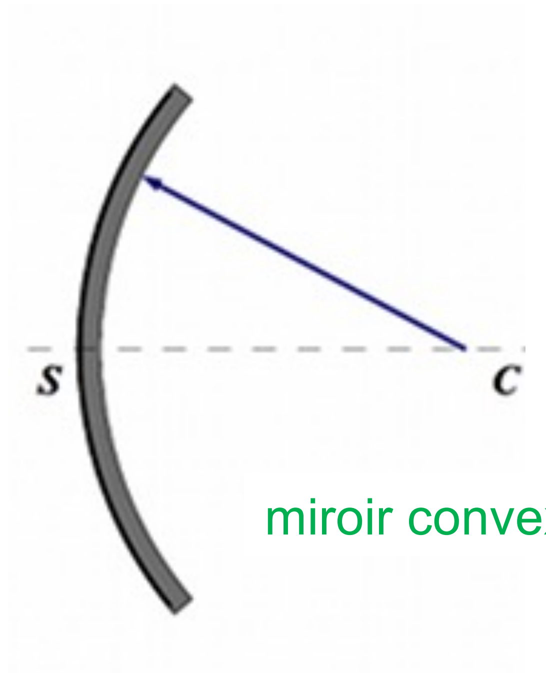
Miroir sphérique

Pour des rayons paraxiales, c'est à dire qui forment des petits angles par rapport à l'axe du système, on trouve que tous les rayons réfléchis convergent en un point, qu'on identifiera comme l'image.



→ sens de la lumière

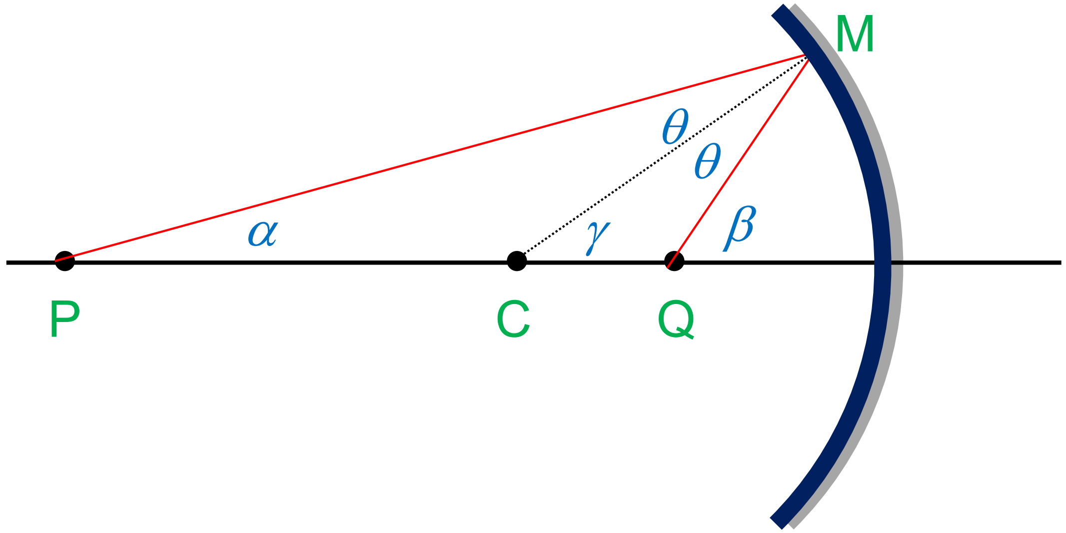
miroir concave

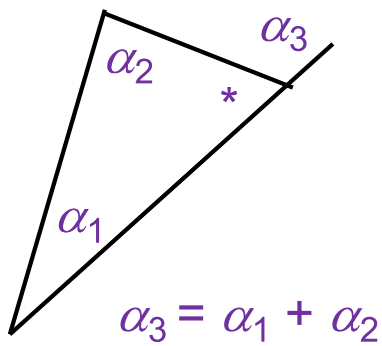


→ sens de la lumière

miroir convexe

Miroir sphérique concave ($p > R/2$)





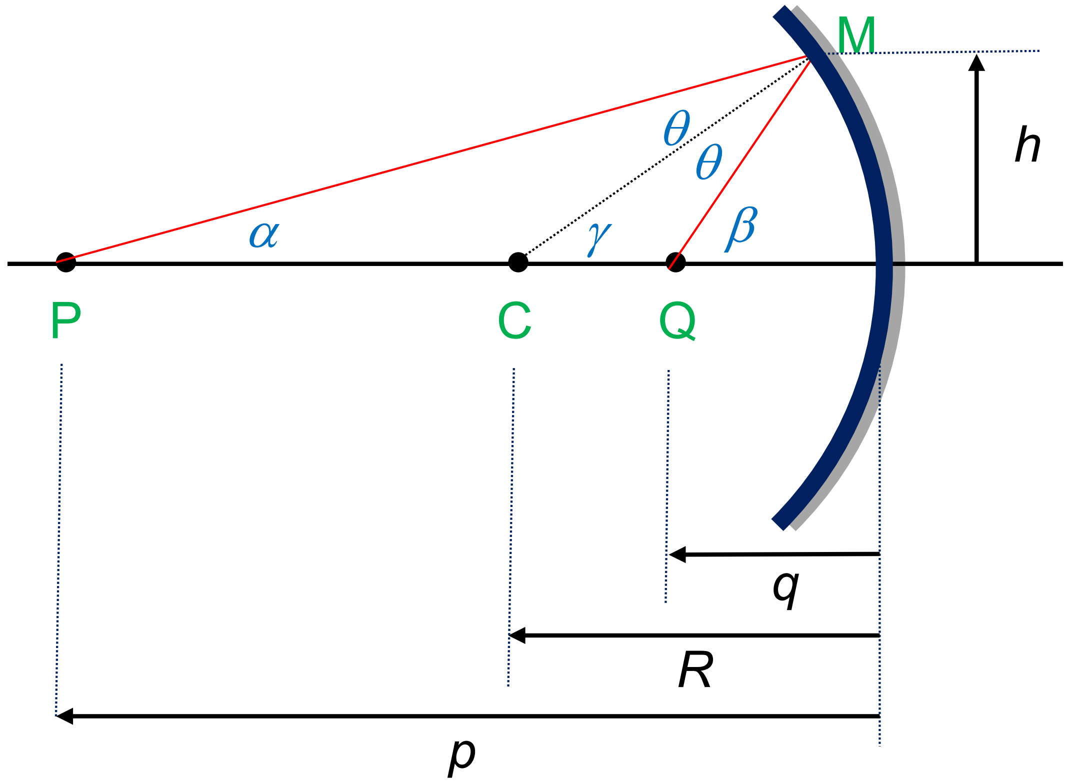
β est angle externe à deux triangles : Δ PMQ et Δ CMQ

$$\left.\begin{array}{ll} \Delta\ \text{PMQ :} & \beta = \alpha + 2\theta \\ \Delta\ \text{CMQ :} & \beta = \gamma + \theta \end{array}\right\}$$

par élimination de θ :

$$\alpha + \beta = 2\gamma$$

Miroir sphérique concave (cas $p > R/2$)



Approximation paraxiale :

$\alpha \cong \tan\alpha = h / p$

$\beta \cong \tan\beta = h / q$

$\gamma \cong \tan\gamma = h / R$

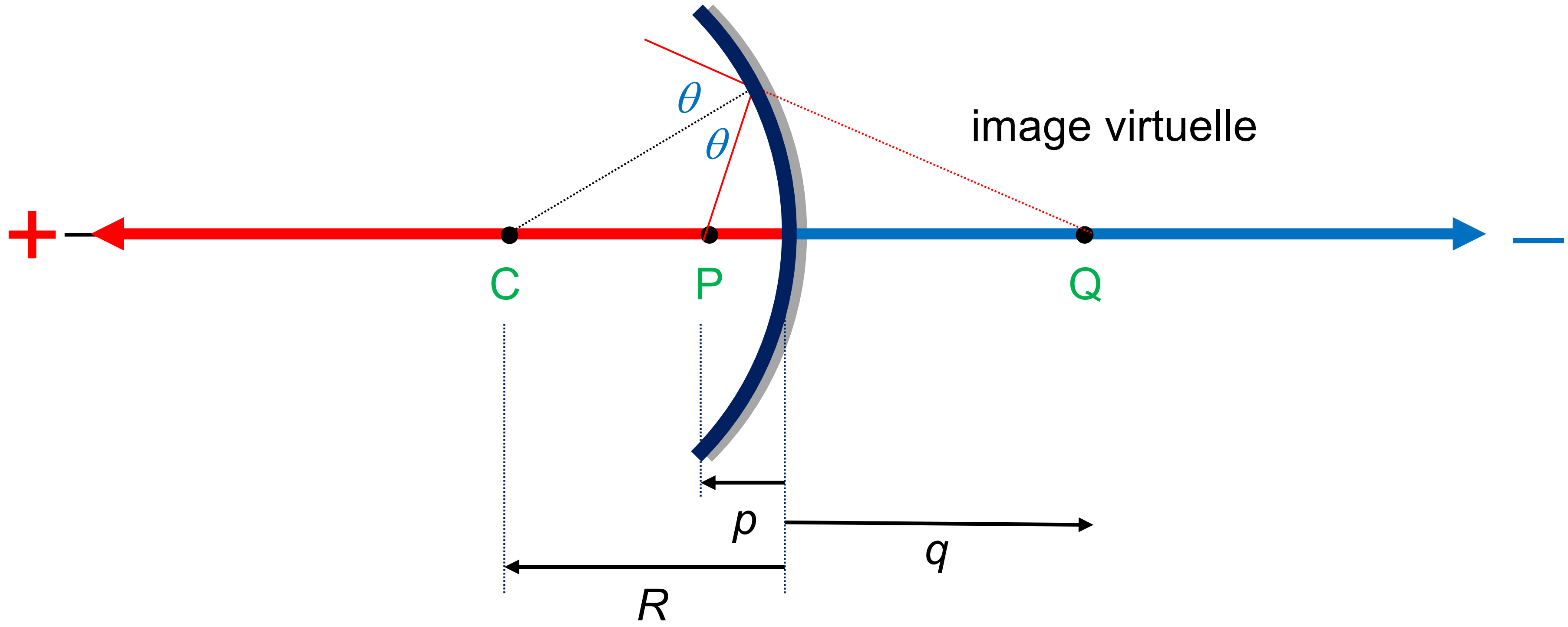
$$\alpha + \beta = 2\gamma$$

$$\boxed{\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R}}$$

indépendant de h !

formule des miroirs sphériques

Miroir sphérique concave ($p < R/2$)



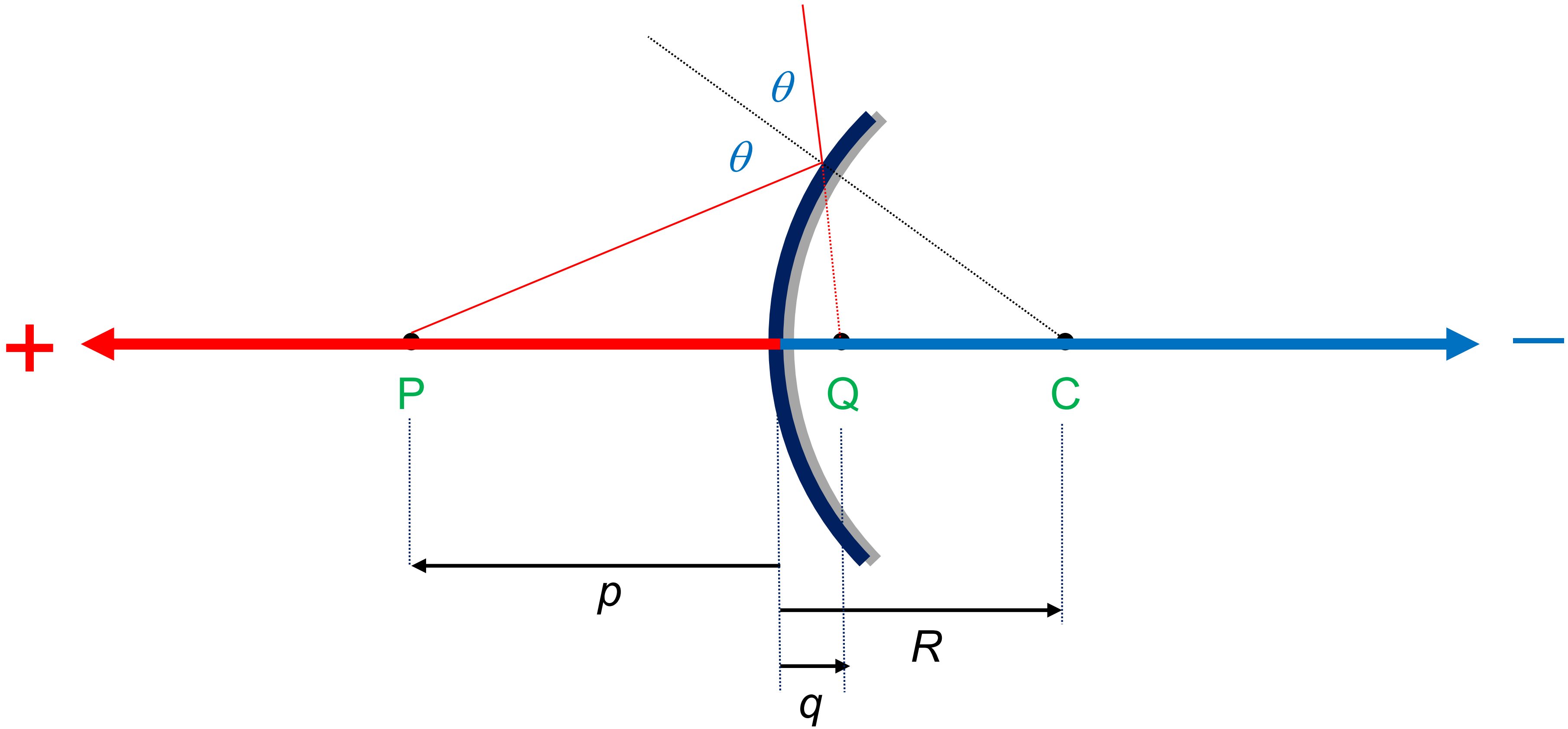
Formule avec distances

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{-|q|} = \frac{2}{R}$$

Formule avec convention de signe

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R}$$

Miroir sphérique convexe



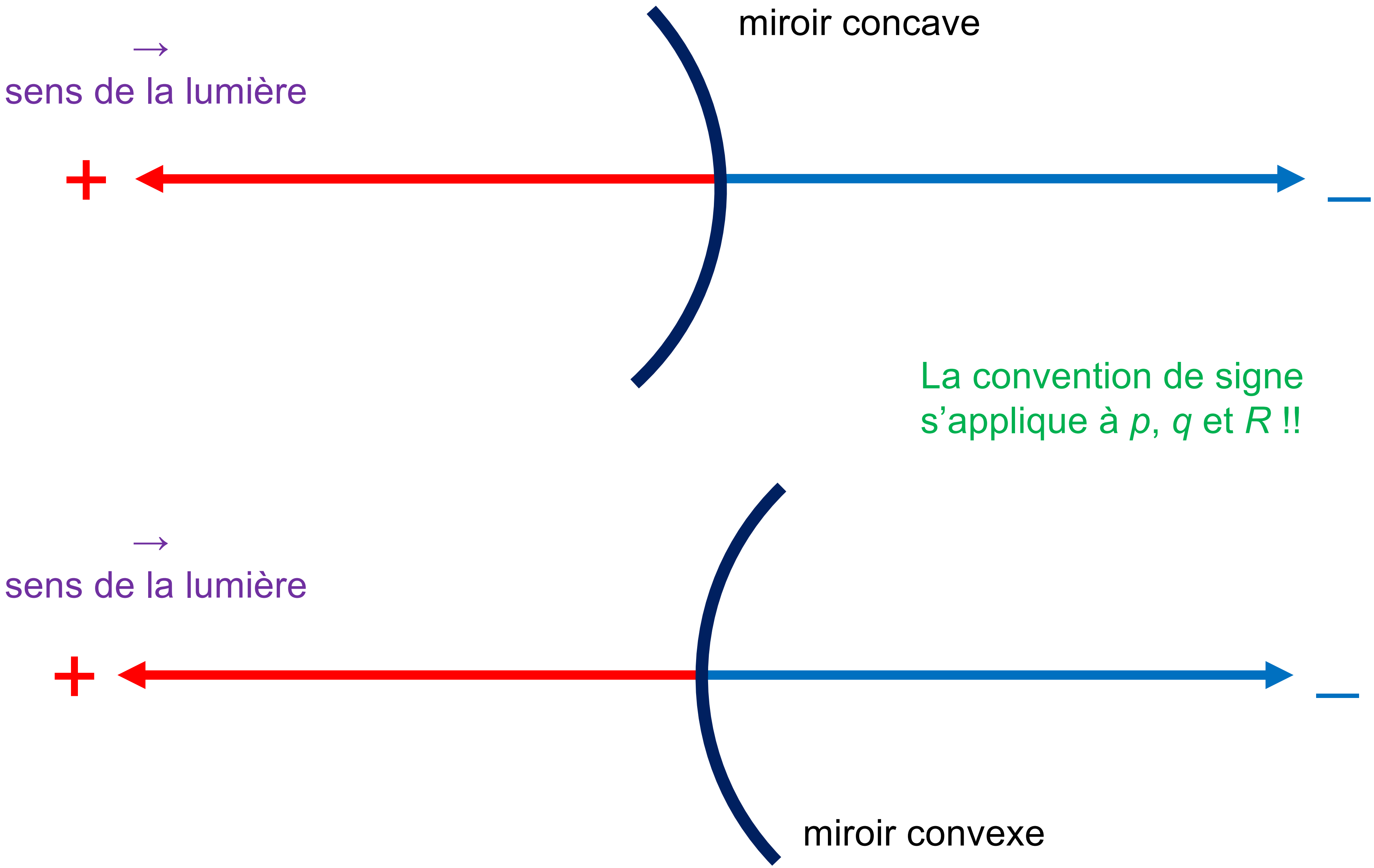
Formule avec distances

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{-|q|} = \frac{2}{-|R|}$$

Formule avec convention de signe

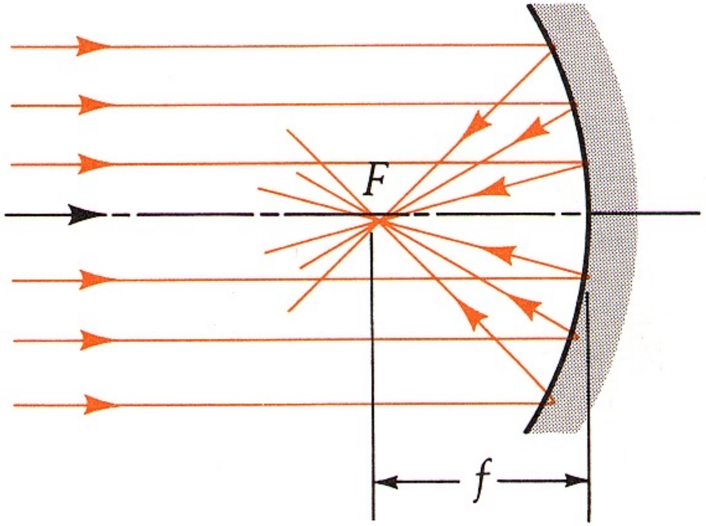
$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R}$$

Convention de signe

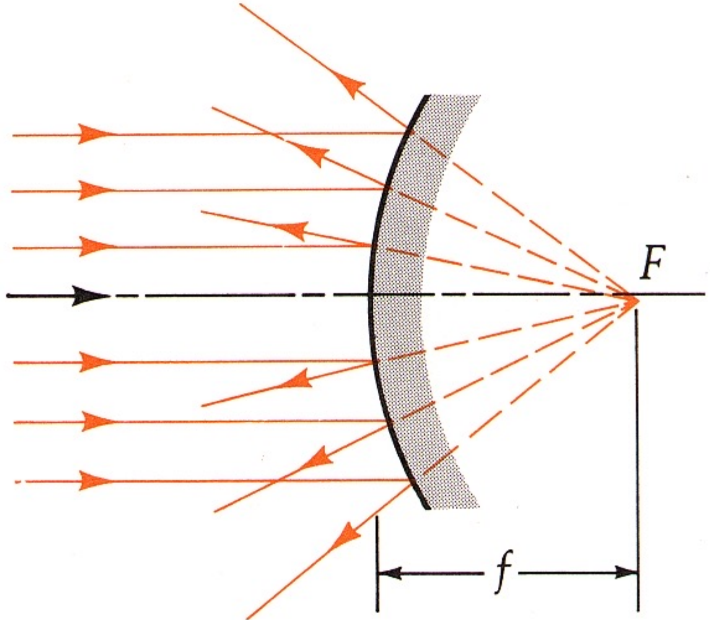


La convention de signe s'applique à p, q et R !!

Distance focale



miroir concave



miroir convexe

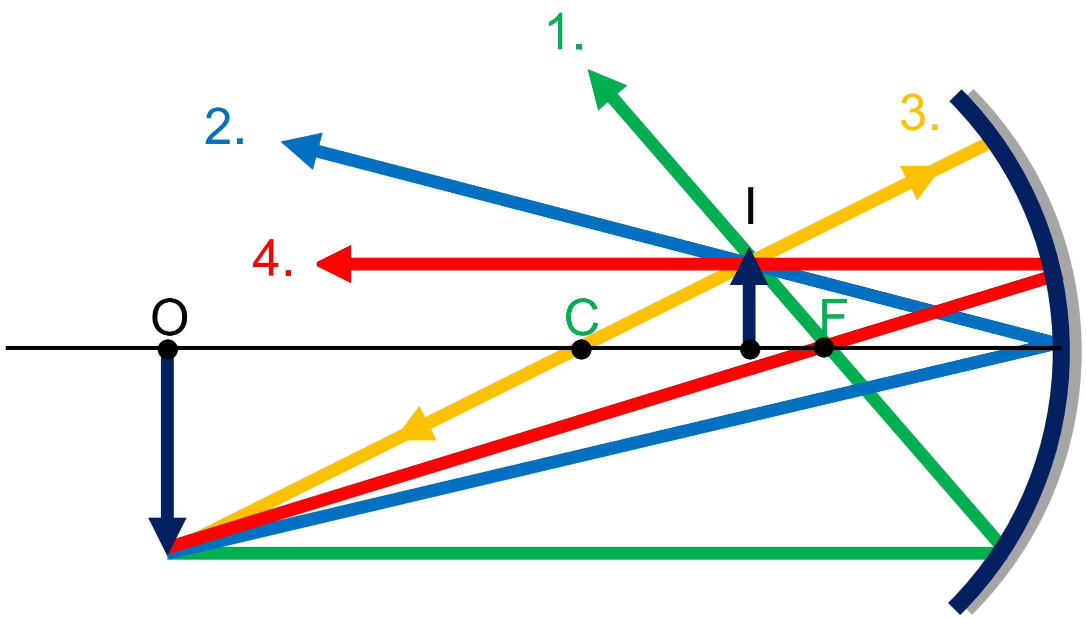
Lorsque la source est à l'infini ($p \to \infty$), l'image se trouve à la distance focale ($q = f$) :

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R} \qquad \Rightarrow \qquad f = \frac{R}{2}$$

La "formule des miroirs sphériques" peut alors s'écrire :

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R} \qquad \Rightarrow \qquad \frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

Construction graphique de l'image

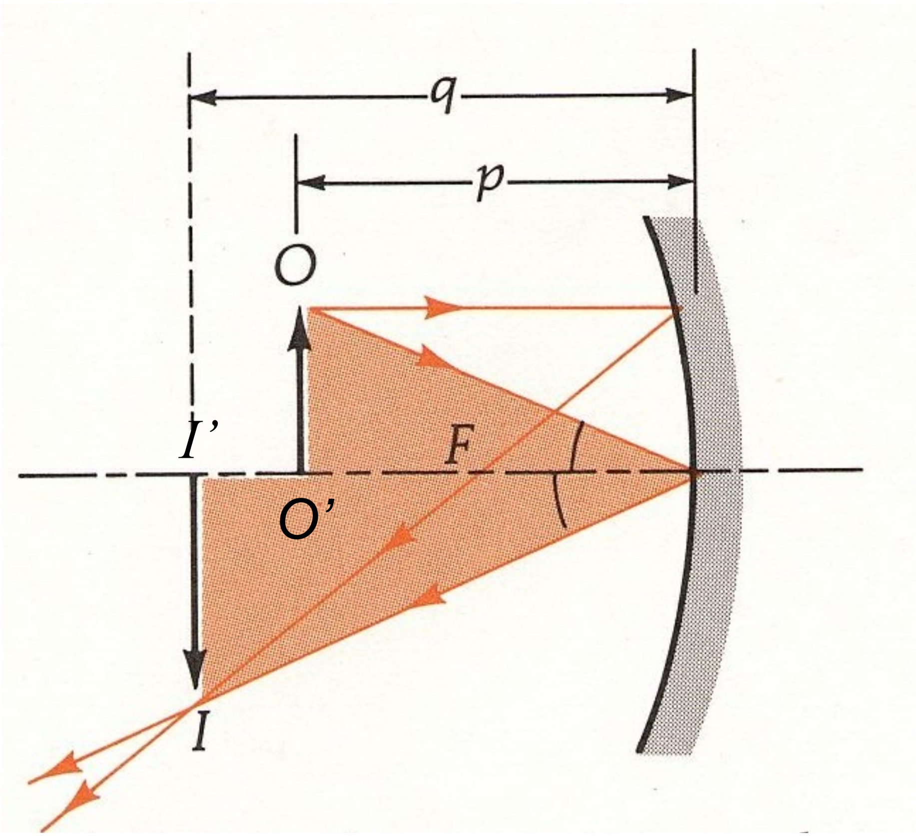


l'image est inversée

Deux rayons suffisent pour déterminer l'image. Voilà quatre rayons "faciles" :

1. Rayon parallèle à l'axe optique → retour par le point focal *F*.
2. Rayon passant par la base de l'axe optique → réflexion symétrique par rapport à l'axe optique.
3. Rayon passant par le point C → incidence normale $\theta_i = \theta_r = 0°$.
4. Rayon passant par le point focal → retour parallèle à l'axe optique.

Grandissement



Définition :

$$M = \frac{\text{grandeur image}}{\text{grandeur objet}} = \frac{II'}{OO'} = \frac{|q|}{|p|}$$

triangles semblables

Si l'on adopte la convention de signe, il convient d'utiliser :

$$\tilde{M} = -\frac{q}{p}$$

car $\quad M = |\tilde{M}|$

et $\quad$ si $\tilde{M} > 0 \Rightarrow$ image droite

$\quad$ si $\tilde{M} < 0 \Rightarrow$ image inversée

Caractéristiques de l'image

1. Image réelle ou virtuelle

2. Image droite ou inversée

3. Grandissement

Cours 01

Optique géométrique

- Conditions d’application
- Principe de Huygens et principe de Fermat
- Loi de la réflexion
- Miroirs sphériques
    - Formule des miroirs sphériques
    - Convention de signe
- Construction graphique de l’image
    - Rayons particuliers
- Grandissement
- Caractéristiques de l’image