



LA CAPSULE DU DÉBUTANT



Notions de base de l'optique

- ✓ **Conceptualisation et terminologie**
- ✓ **Les lentilles, les miroirs et leurs propriétés**
- ✓ **Quelques grandeurs géométriques**



LES OBJECTIFS

- ★ Au terme de cette présentation, le participant pourra :
 - Expliquer les principes de l'optique géométrique fondés sur la notion de rayons de lumière.
 - Tracer la trajectoire des rayons de lumière passant par les outils de l'optique.
 - Décrire les concepts et les grandeurs algébriques en optique géométrique.
 - Illustrer les aberrations optiques les plus courantes.



OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

★ L'optique *géométrique* est la science de la domestication de la lumière.

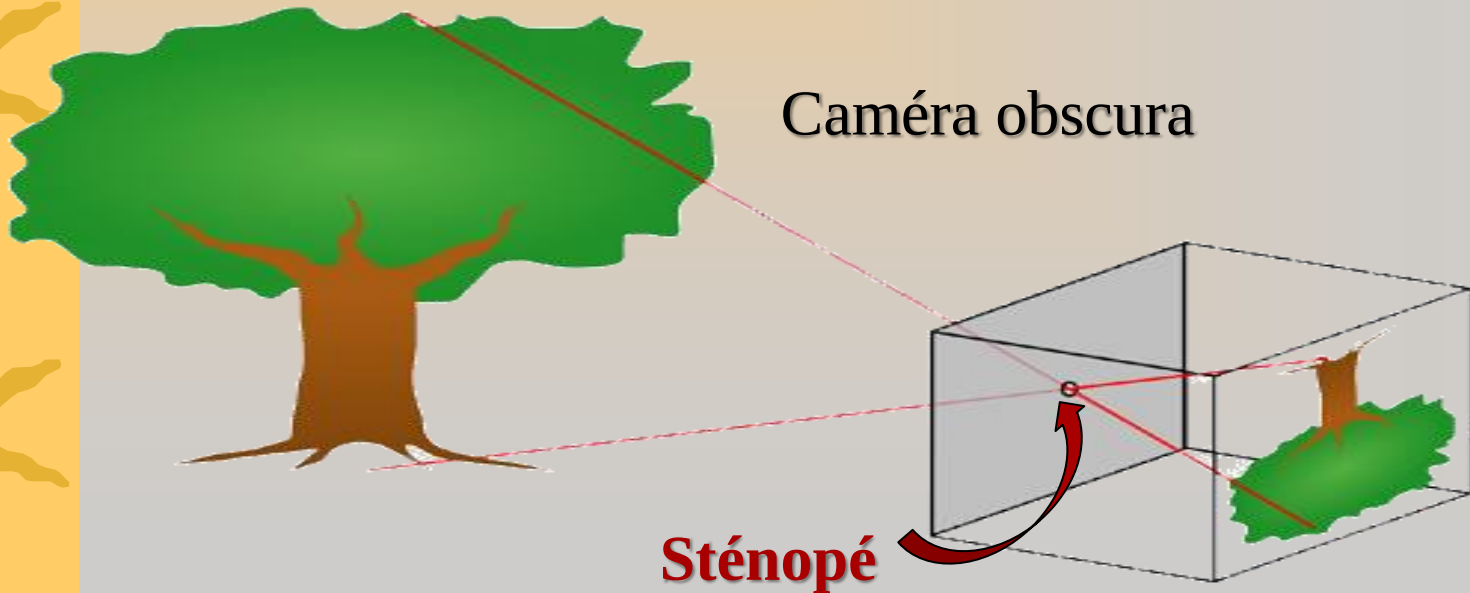
➤ Fondée sur l'idée de **rayon** de lumière.





OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

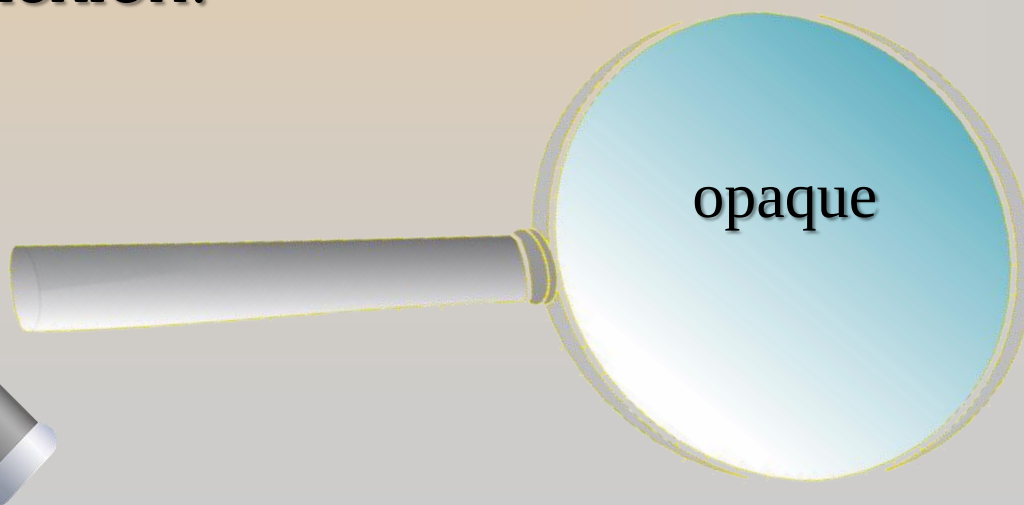
- ★ Fondée sur l'idée de **rayon** de lumière.
 - Postulat ➡ la lumière se déplace en ligne droite.





OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

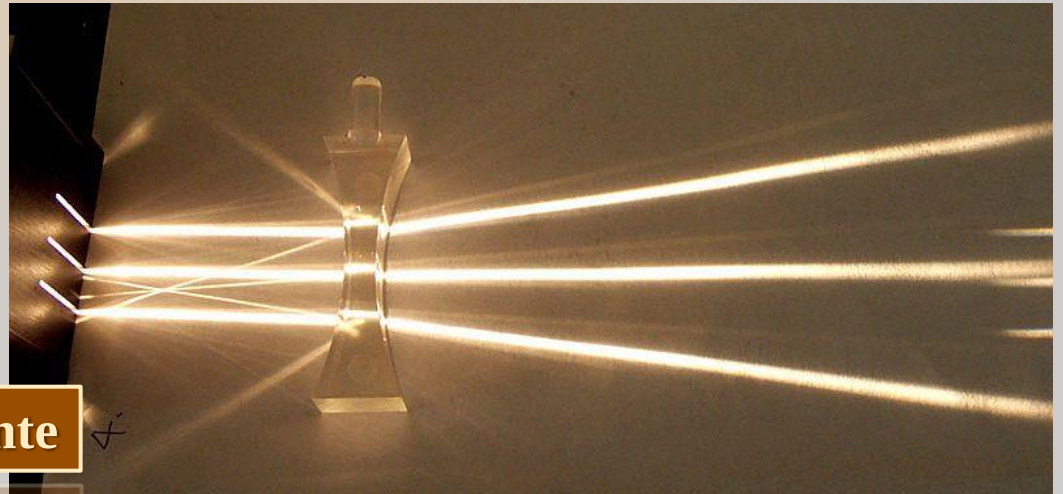
- ★ Ses moyens de contrainte sont :
 - Les **lentilles** qui utilisent la propriété de la réfraction.
 - Les **miroirs** qui utilisent la propriété de la réflexion.





LES LENTILLES

- ★ Une lentille est un appareil qui sert à *casser* les rayons de lumière.
- ★ Une lentille sert à construire des *images*.
 - En tirant profit des propriétés de la réfraction, la lentille contraint la lumière à suivre un parcours déterminé.



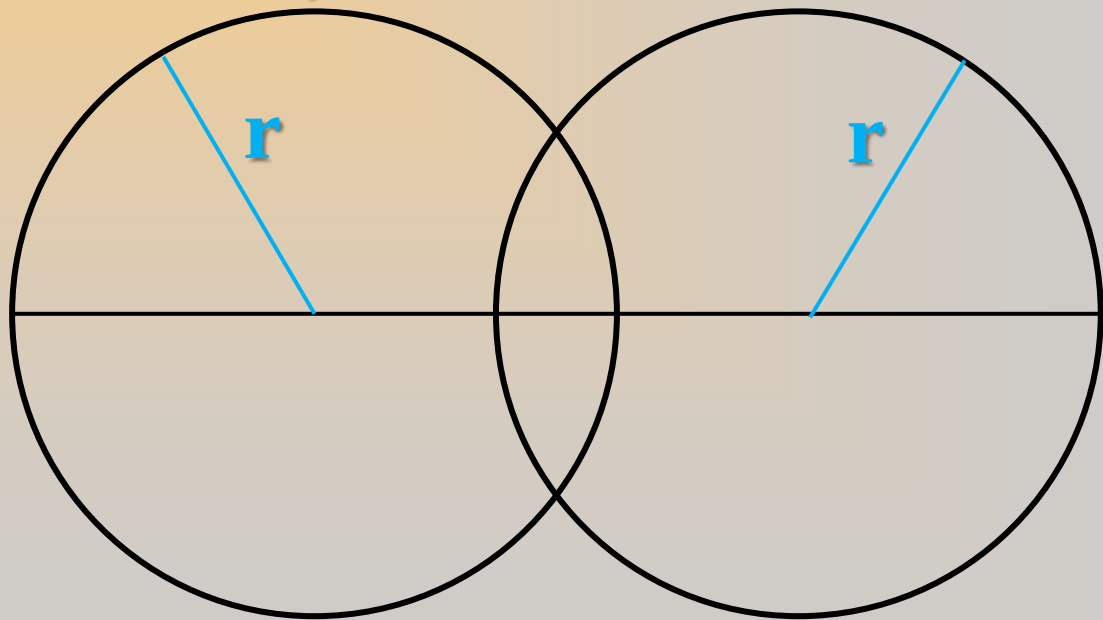
lentille divergente



LES LENTILLES

★ Conceptualisation et terminologie

r = rayon de courbure de la lentille

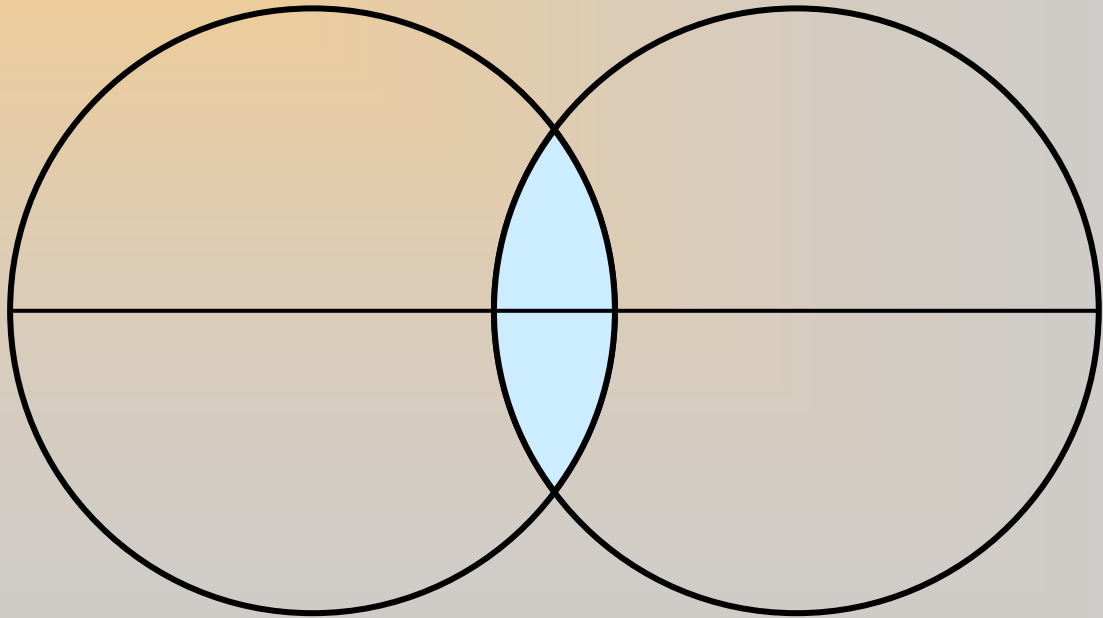


Construction d'une lentille convergente ➡ qui fait converger les rayons lumineux vers l'axe optique.



LES LENTILLES

★ Conceptualisation et terminologie

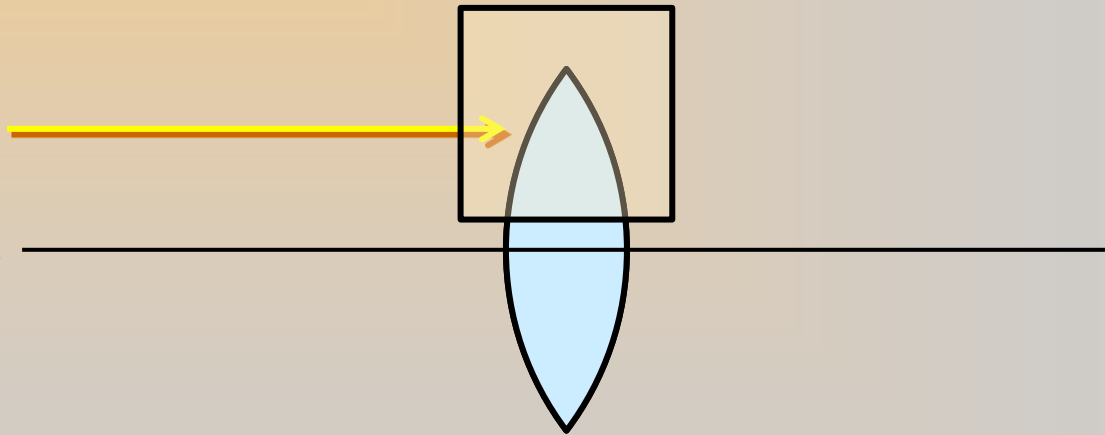
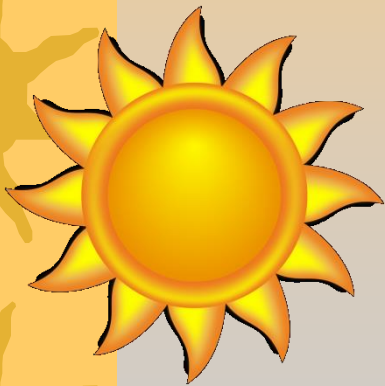


Une lentille convergente est plus épaisse en son centre qu'à sa périphérie.



LES LENTILLES

★ Conceptualisation et terminologie



Cette lentille convergente est un dioptre à surface biconvexe.



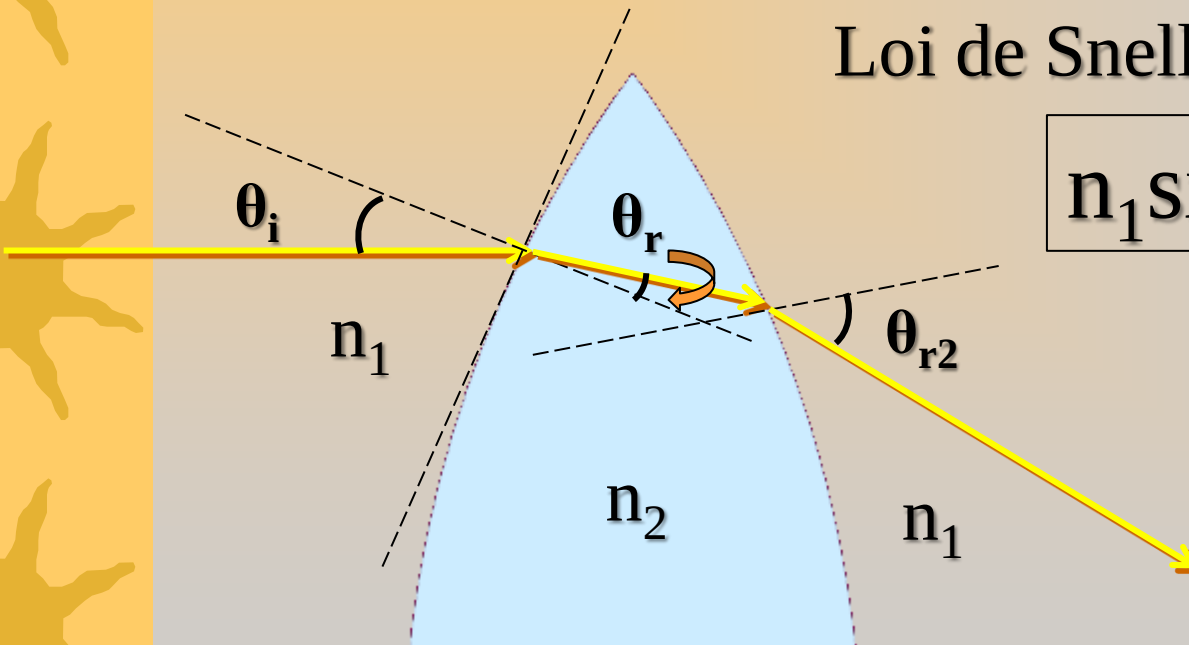
LES LENTILLES

★ Conceptualisation et terminologie

Loi de Snell-Descartes

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$$

Ici, $n_1 < n_2$



Cette lentille convergente est un dioptre à surface biconvexe.



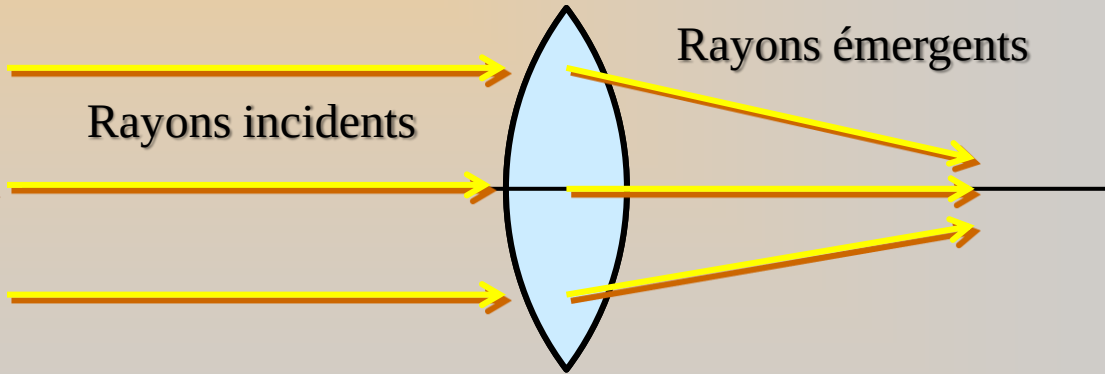
LES LENTILLES

★ Conceptualisation et terminologie

Source primaire



Rayons incidents



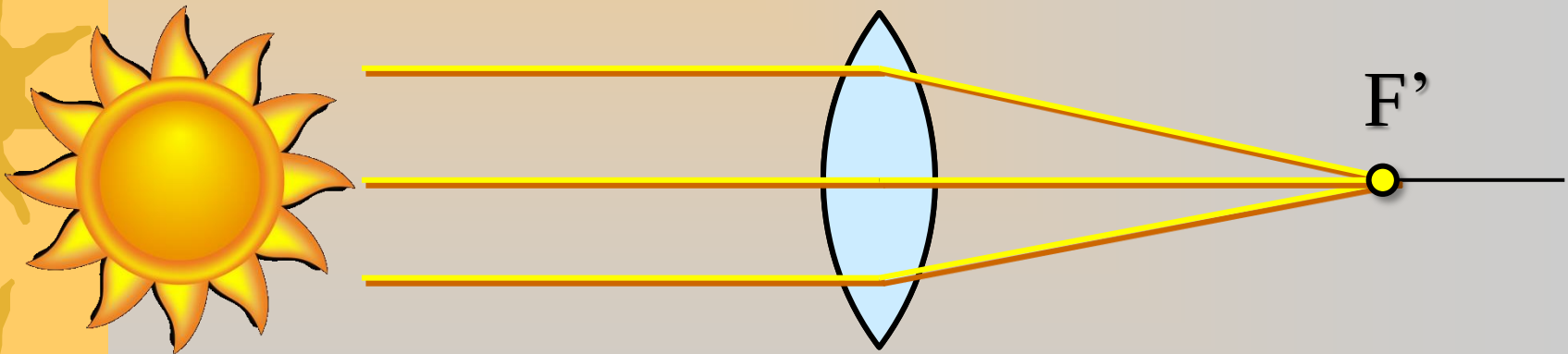
Rayons émergents

Objet à l'infini ➡ rayons parallèles



LES LENTILLES

★ Conceptualisation et terminologie

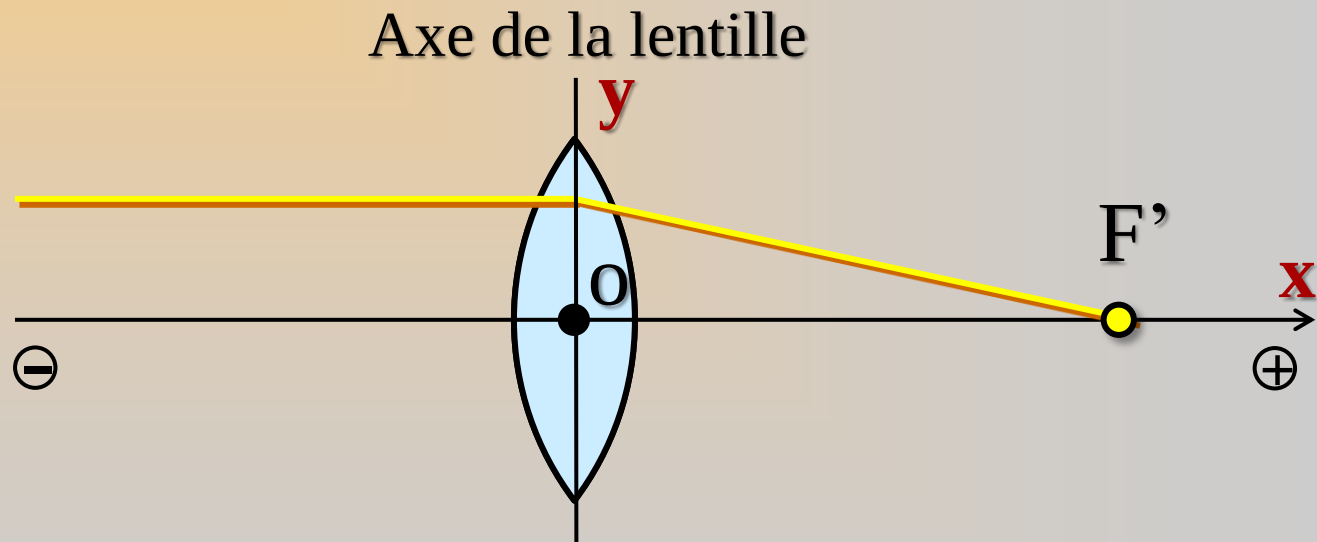


$F' = \text{foyer image}$ de la lentille



LES LENTILLES

★ Conceptualisation et terminologie



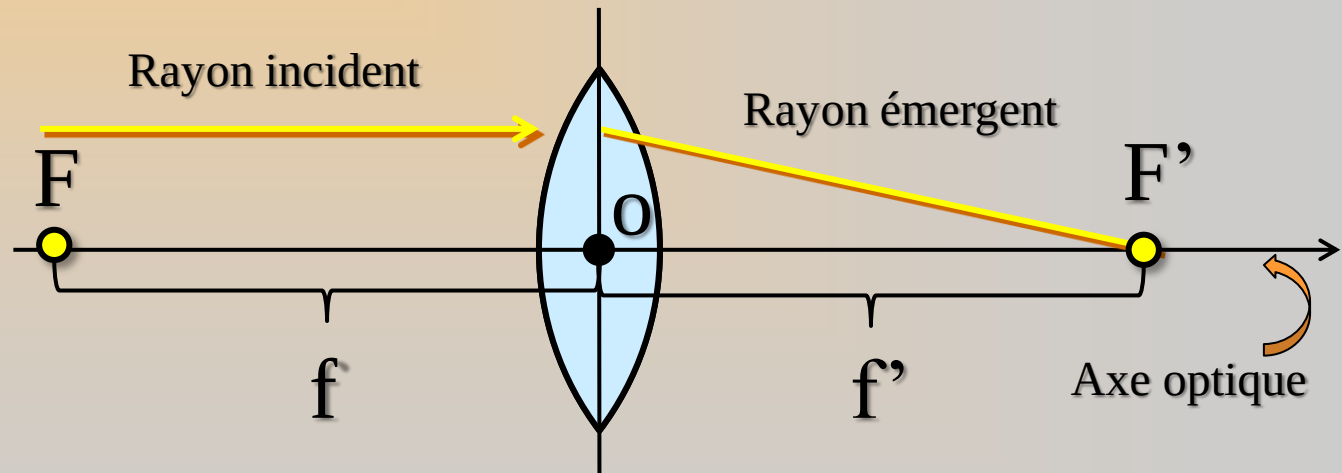
O = *centre optique* de la lentille

- ➡ + = *axe optique* orienté (grandeur algébrique)



LES LENTILLES

★ Conceptualisation et terminologie



O = *centre optique* de la lentille

f = **f'** = *distance focale* de la lentille

F = *foyer objet* de la lentille



LES LENTILLES

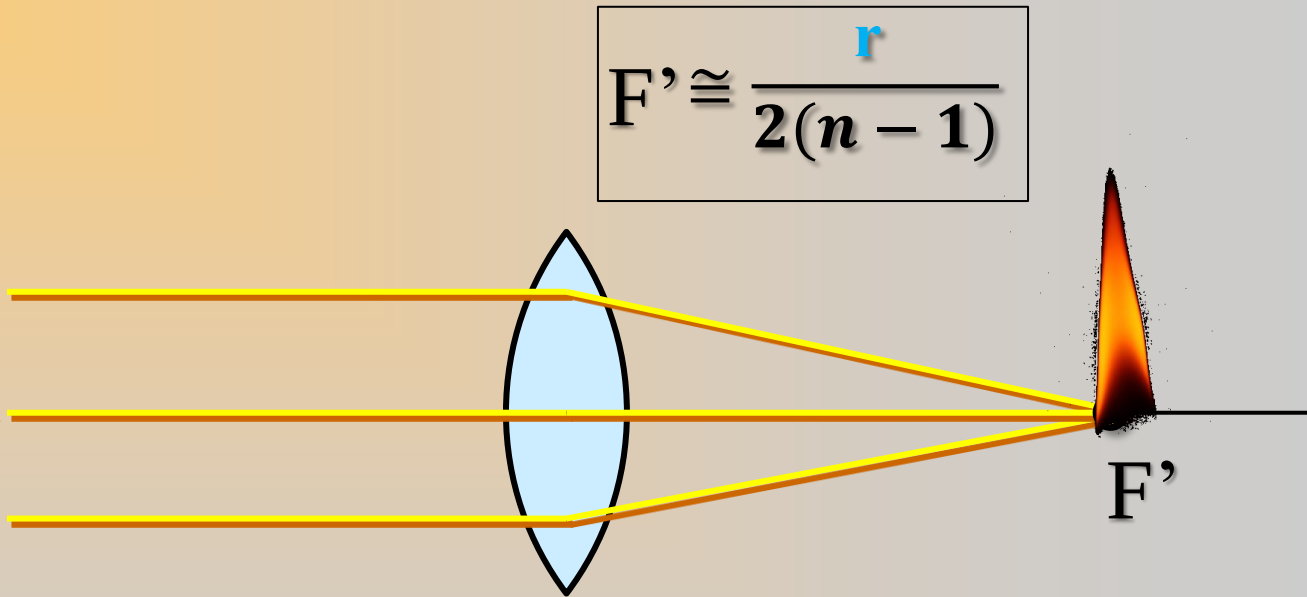
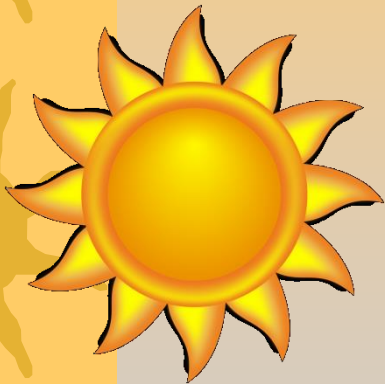
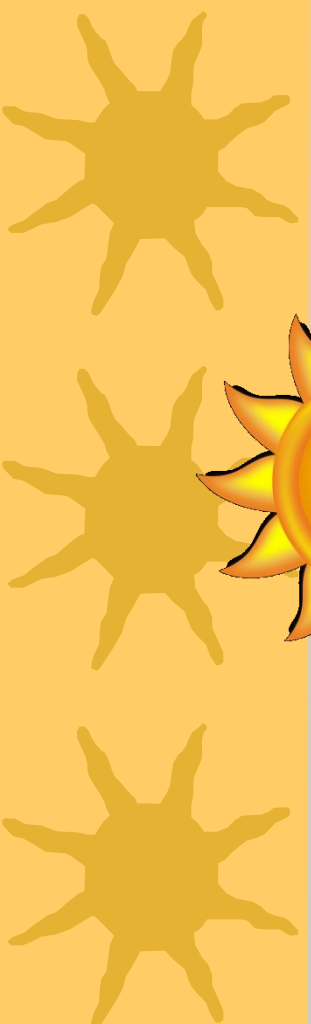


Image réelle = La lumière passe par le foyer principal.
Il y a de l'**énergie** au site de l'image.



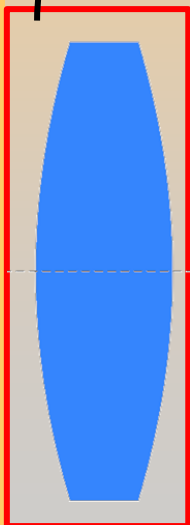
LES LENTILLES

★ Les types de lentilles

Convergentes



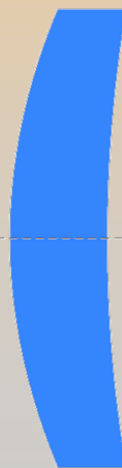
Divergentes



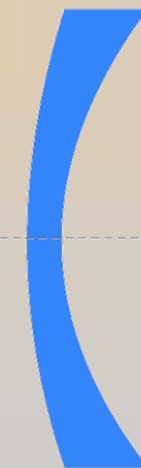
Biconvexe



Plano-convexe



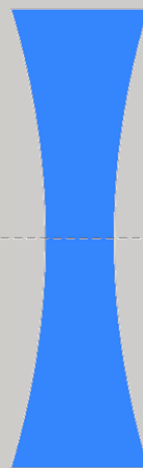
Ménisque positif



Ménisque négatif



Plano-concave



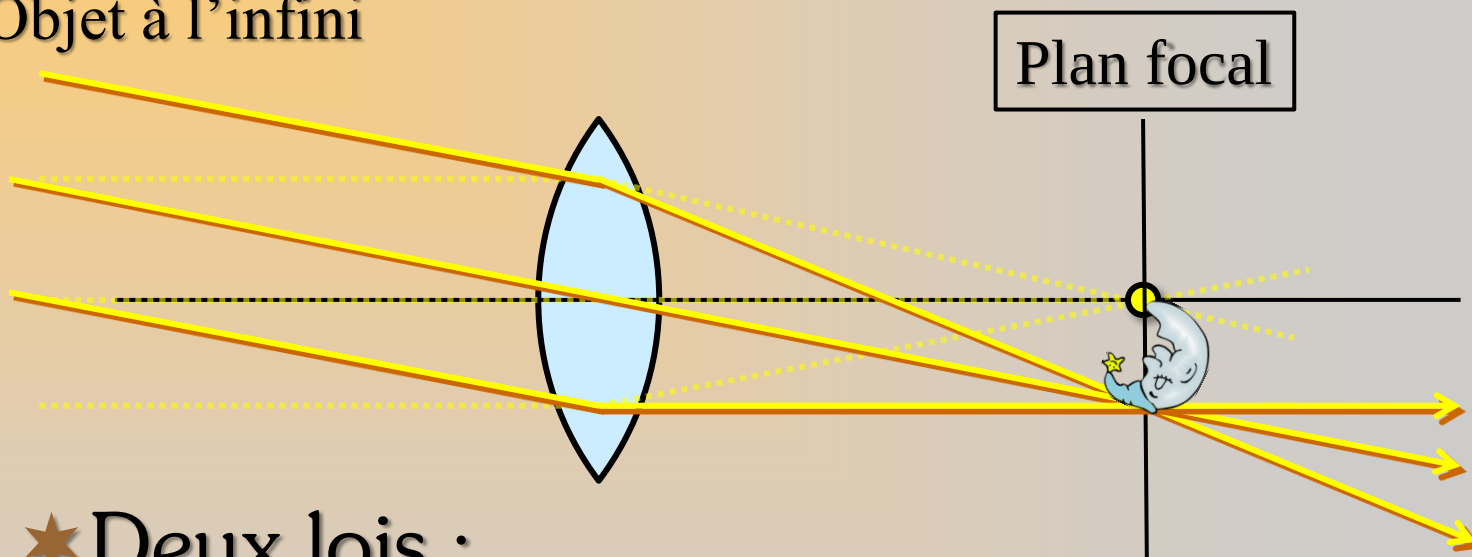
Biconcave



LENTILLE CONVERGENTE BICONVEXE



Objet à l'infini



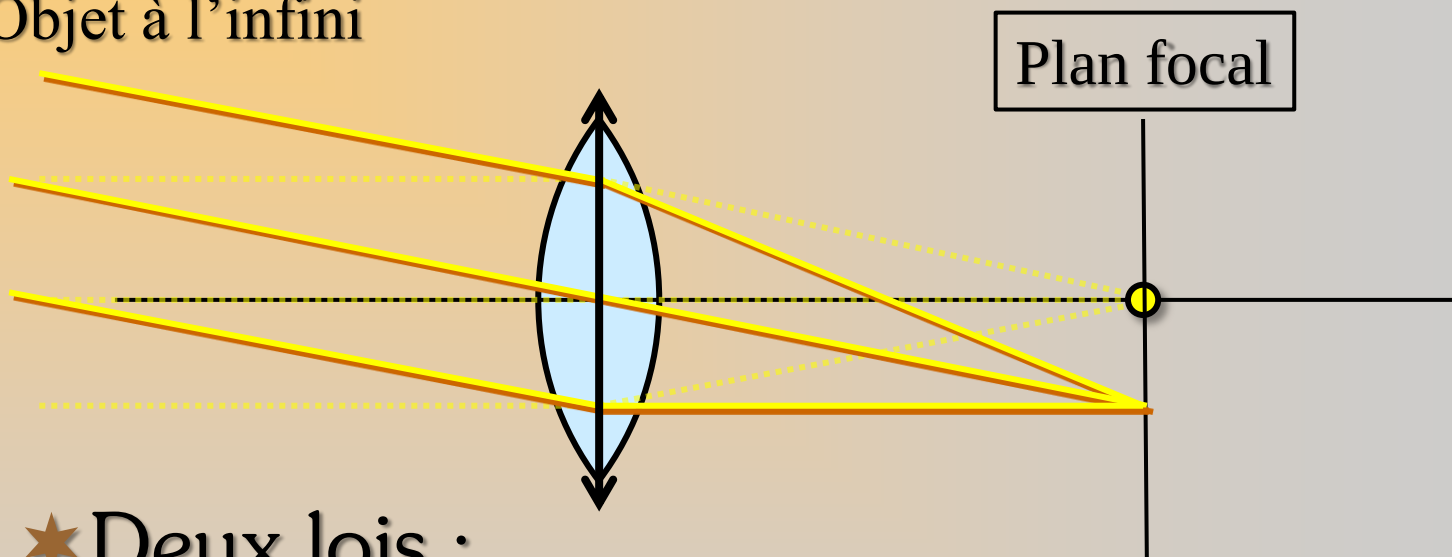
★ Deux lois :

1. Des rayons incidents parallèles à l'axe optique se croisent au **plan focal**.
2. Un rayon incident passant par le centre d'une lentille n'est pas dévié.



LENTILLE CONVERGENTE BICONVEXE

Objet à l'infini



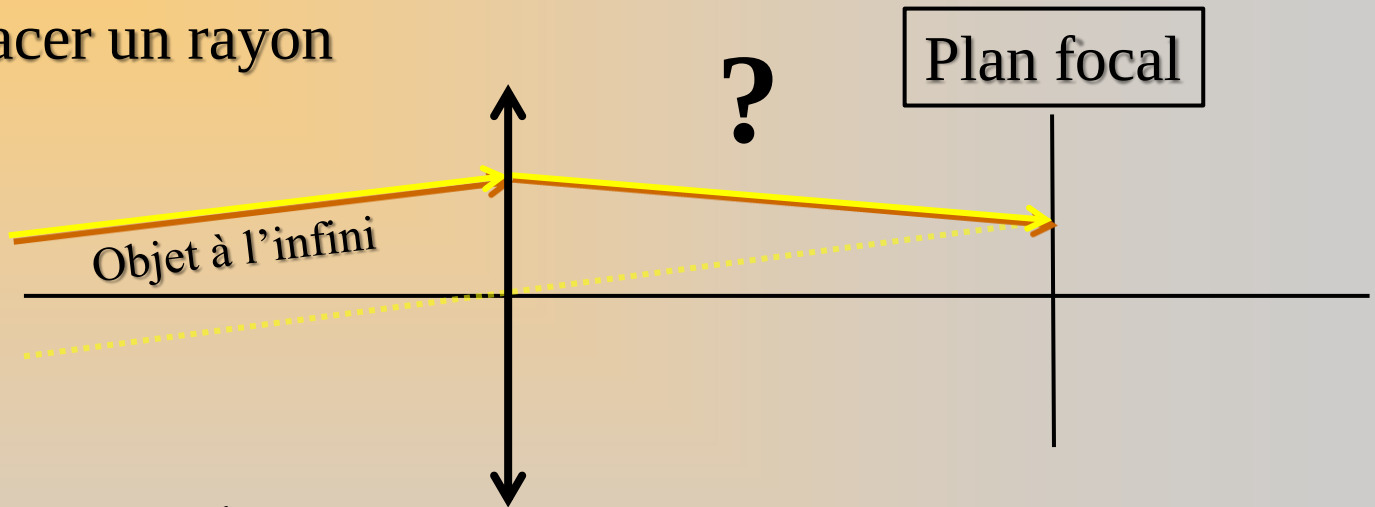
★ Deux lois :

1. Des rayons incidents parallèles à l'axe optique se croisent au plan focal.
2. Un rayon incident passant par le centre d'une lentille n'est pas dévié.



LENTILLE CONVERGENTE BICONVEXE

Tracer un rayon

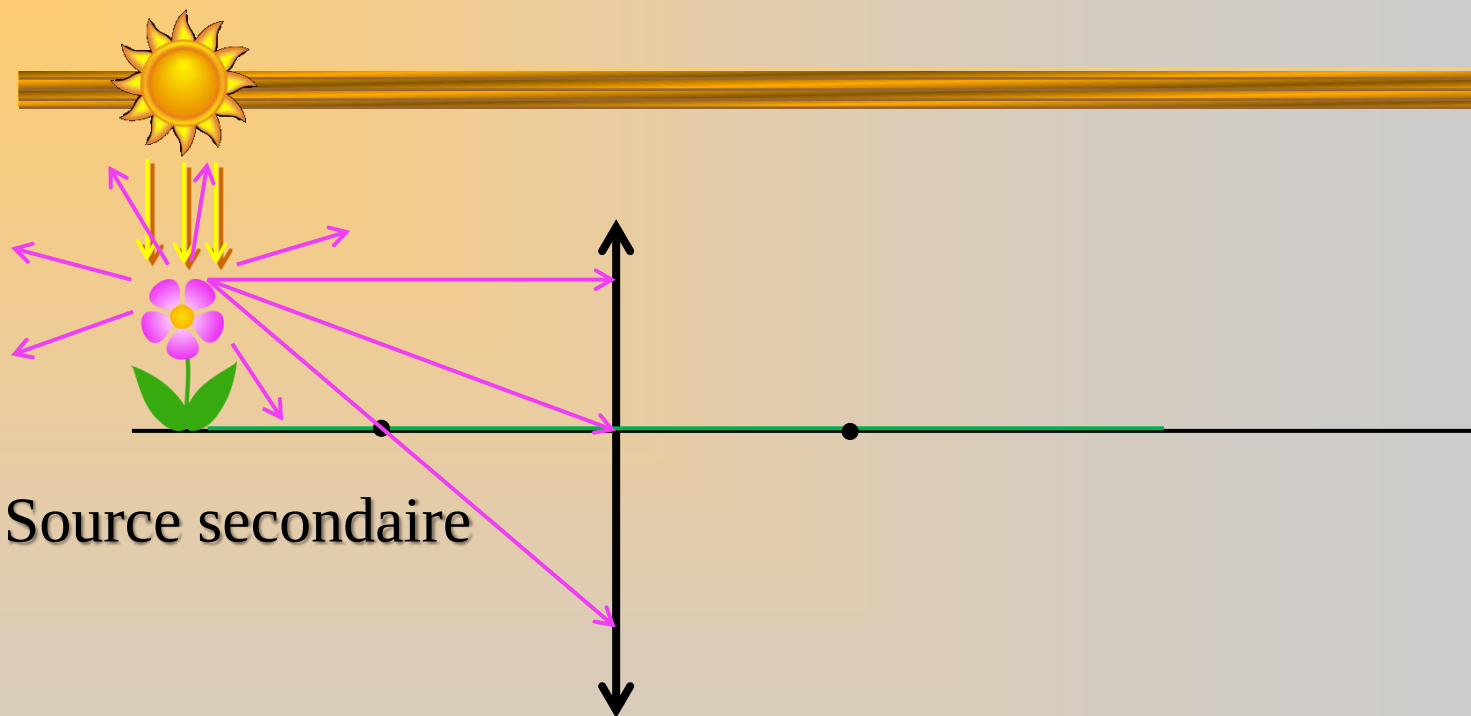


★ Deux lois :

1. Des rayons incidents parallèles à l'axe optique se croisent au plan focal.
2. Un rayon incident passant par le centre d'une lentille n'est pas dévié.

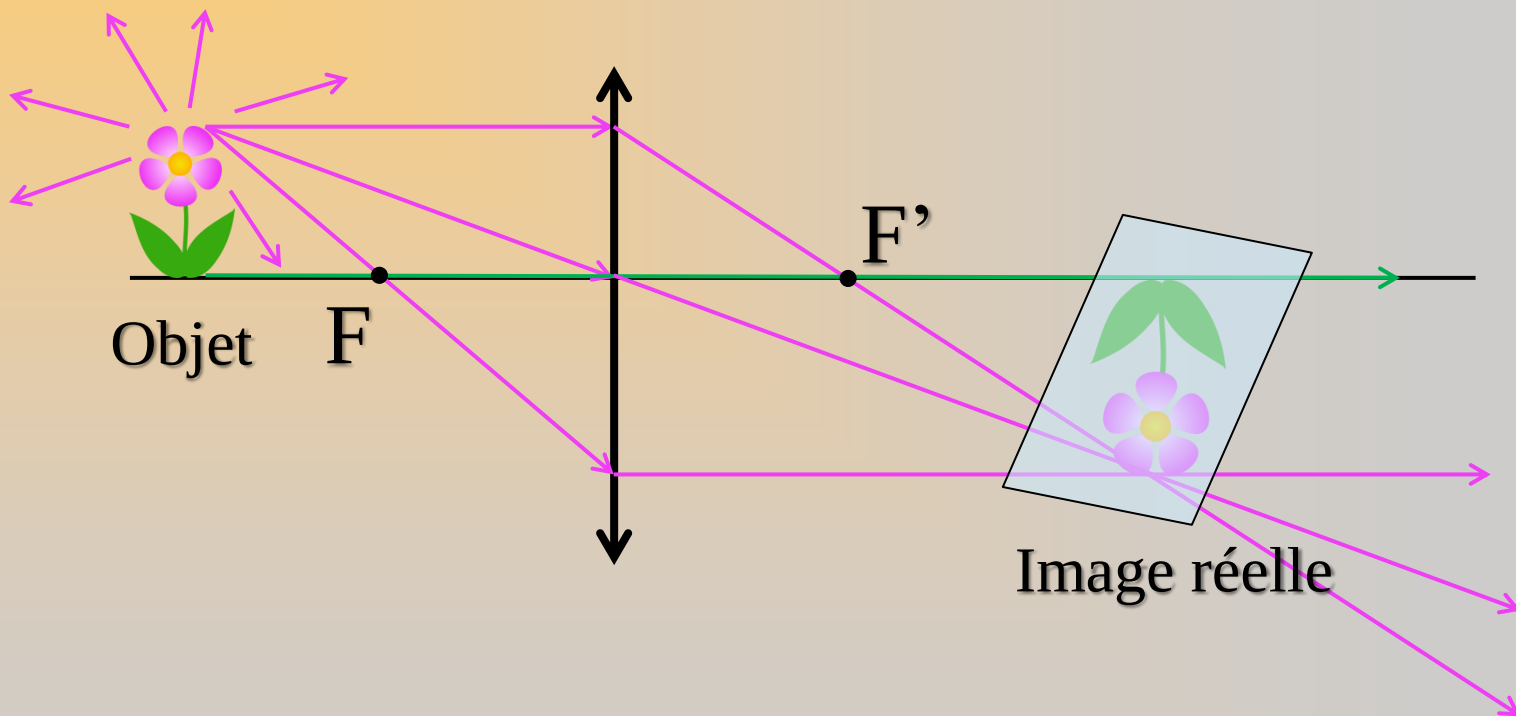


LENTILLE CONVERGENTE BICONVEXE



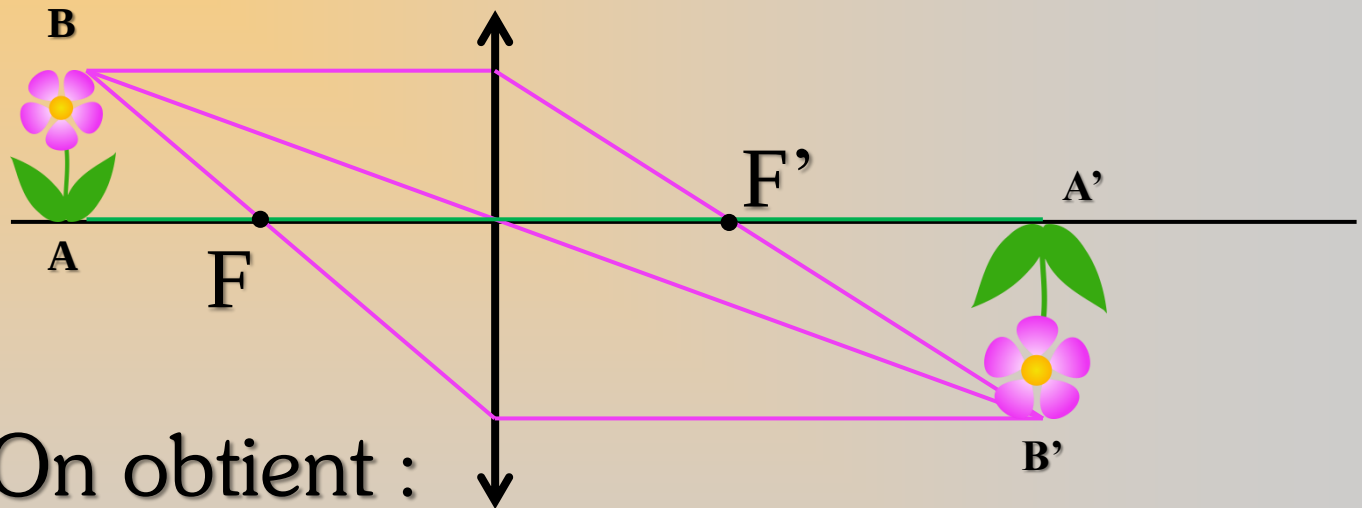


LENTILLE CONVERGENTE BICONVEXE





LENTILLE CONVERGENTE BICONVEXE



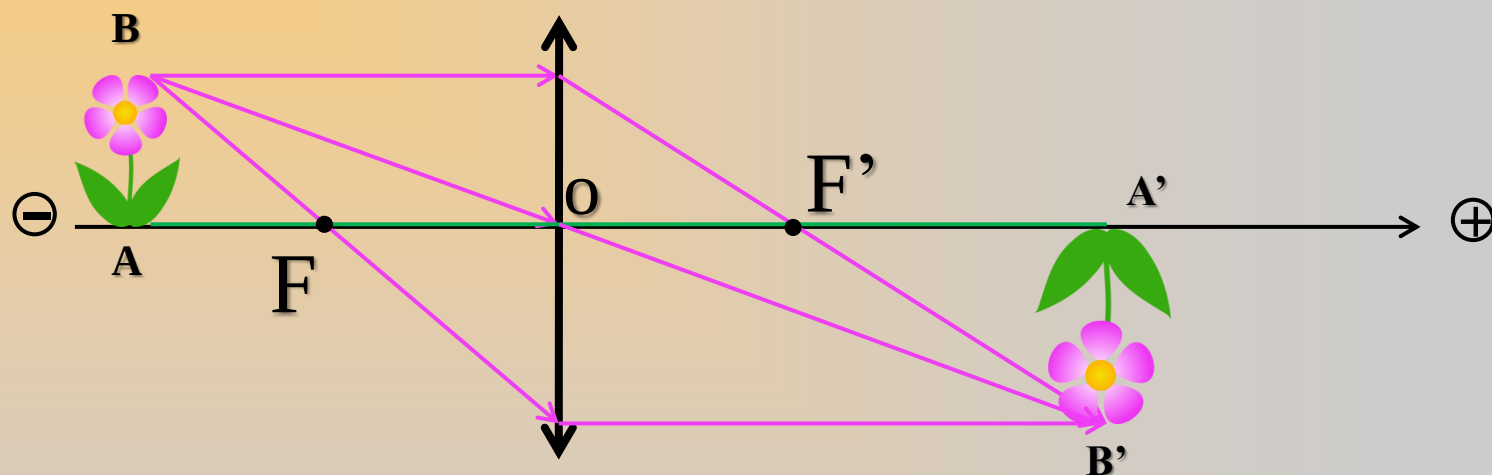
★ On obtient :

- Image réelle (captée par un écran) ➡ A'B'
- Image inversée



LES CALCULS EN OPTIQUE

L'axe optique est **orienté** :

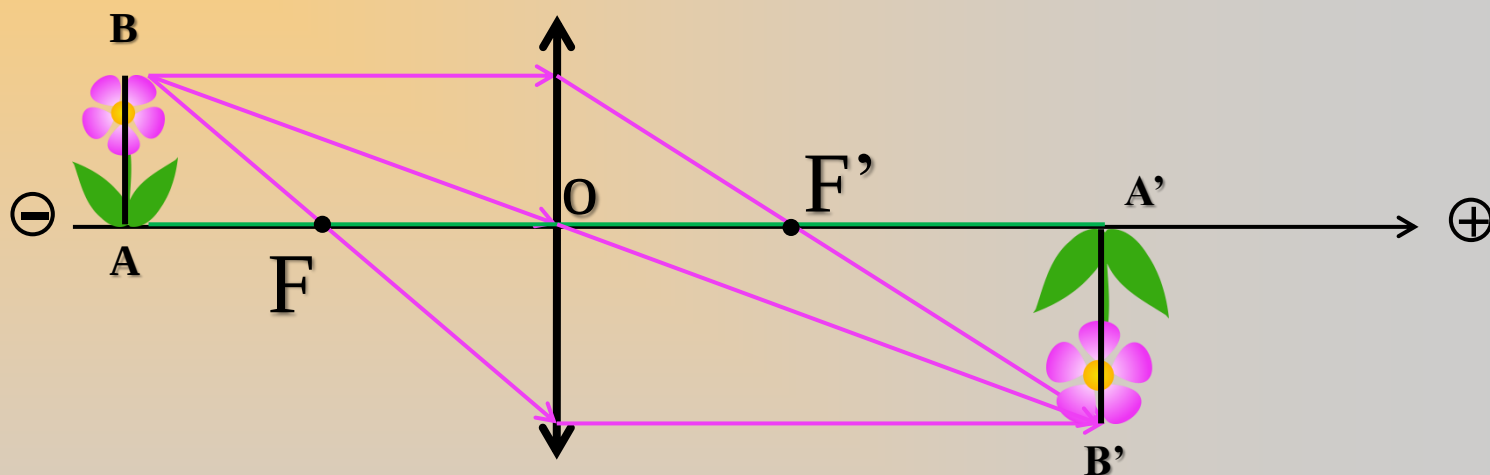


- ★ Toute mesure qui va dans le sens des rayons de lumière est positive (+) ➡ *par convention*.
 - $OA' = 8$ centimètres
- ★ Toute mesure qui remonte le rayon de lumière est négative (-).
 - $OF = -3$ centimètres



LES CALCULS EN OPTIQUE

L'axe optique est **orienté** :

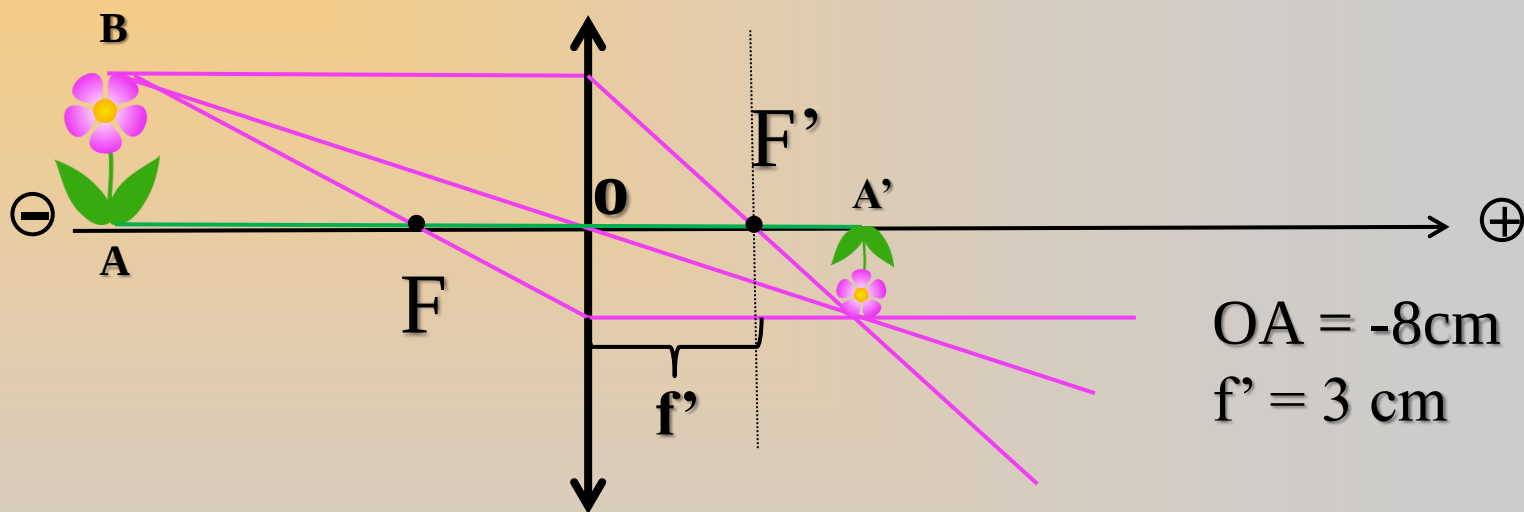


- ★ Toute mesure qui se situe au-dessus de l'axe optique est positive (+).
 - $AB = 2$ centimètres
- ★ Toute mesure qui se situe au-dessous de l'axe optique est négative (-).
 - $A'B' = -2,5$ centimètres



RELATIONS DE CONJUGAISON

Permet de savoir **où** se trouve l'image ➡ soit le point A'



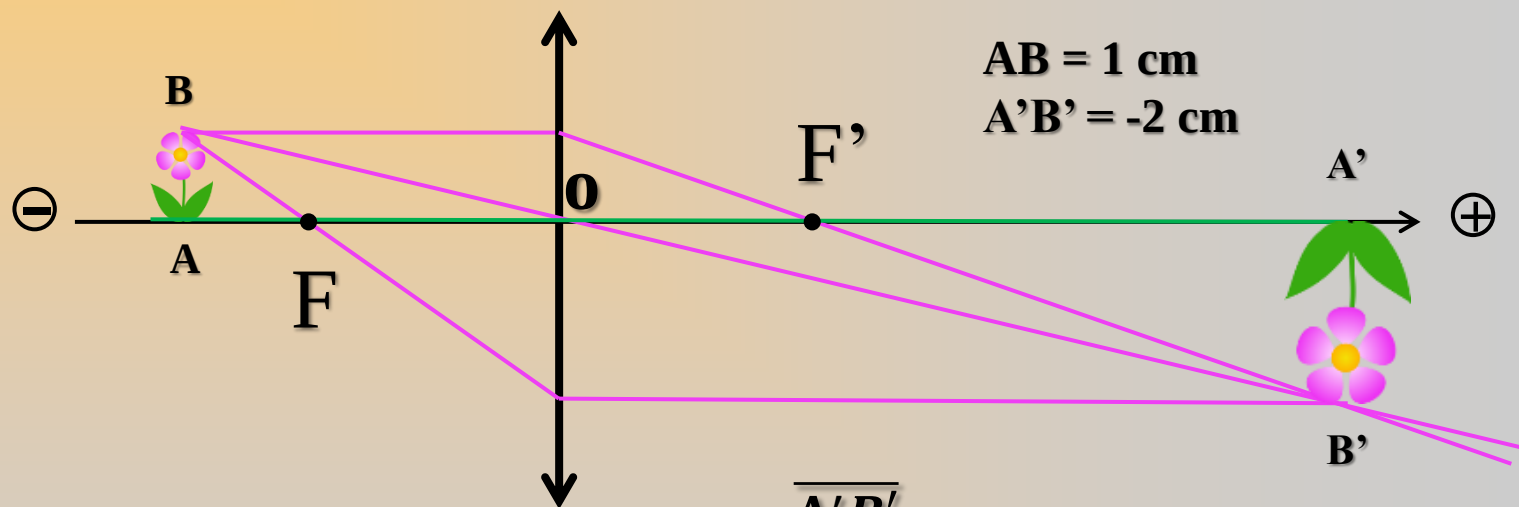
★ Relation : $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$ ➡ $\frac{1}{OA'} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{OA}$

➤ $\frac{1}{OA'} = \frac{1}{3} - \frac{1}{8} = 0,21$ et OA' vaut **4,8** cm



RELATIONS DE GRANDISSEMENT

Compare la **taille** de l'image obtenue à celle de l'objet.



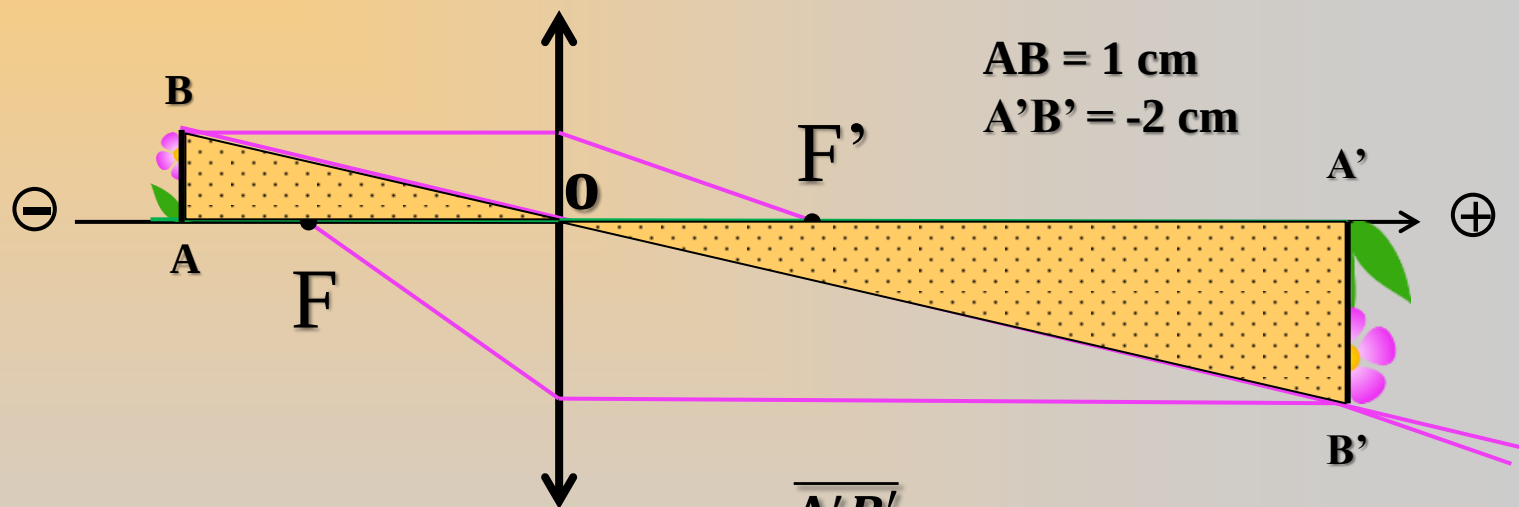
★ Le grandissement $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{-2}{1} = -2$$



RELATIONS DE GRANDISSEMENT

Compare la **taille** de l'image obtenue à celle de l'objet.



★ Le grandissement $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$

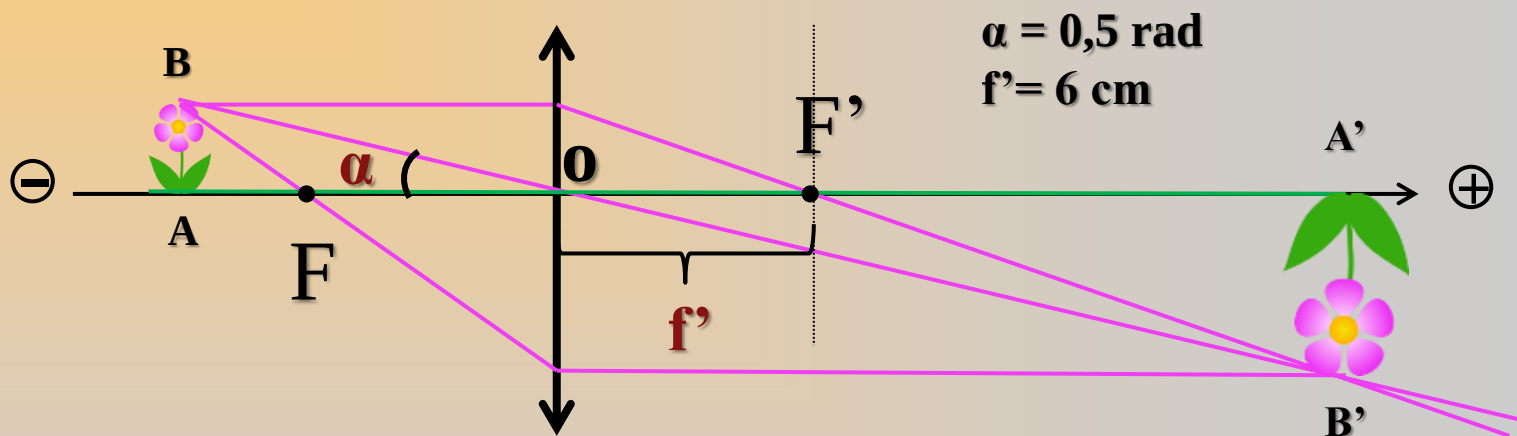
➤ $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{-2}{1} = -2$

➤ On peut aussi montrer que $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$



RELATIONS DE GRANDISSEMENT

La **taille** de l'image sur un détecteur



- ★ La taille de l'image est le produit du diamètre angulaire de l'objet par la focale de l'instrument.

$$A'B' = \alpha \times f'$$

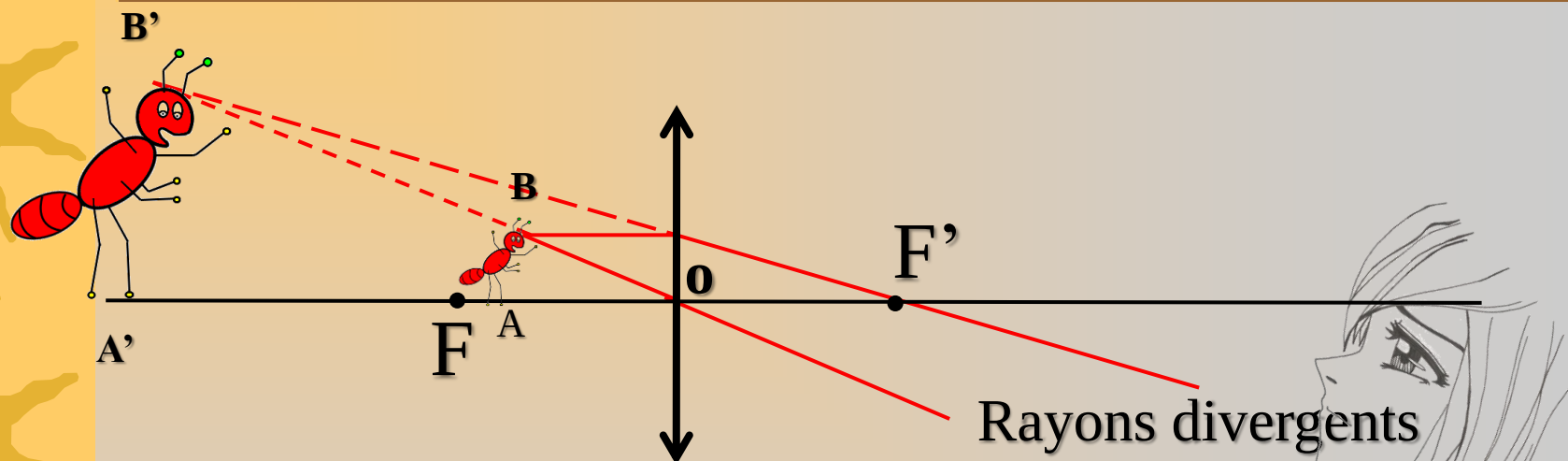
➤ $A'B' = 0,5 \times 6 = 3 \text{ cm}$

$$\gamma \approx \alpha \times f'$$

La taille de l'image est $\approx$ à la distance focale.



LA LOUPE



★ On obtient :

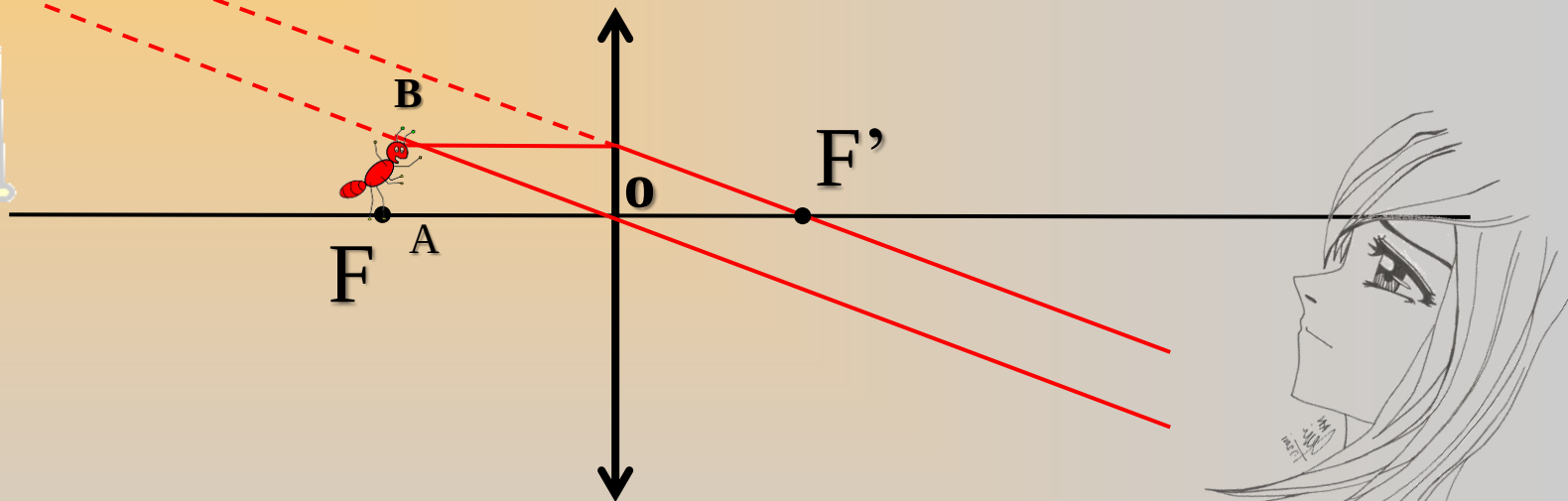
- Image virtuelle (non captée sur un écran)
- Image congrue avec l'objet

C'est le principe de la loupe



LA LOUPE

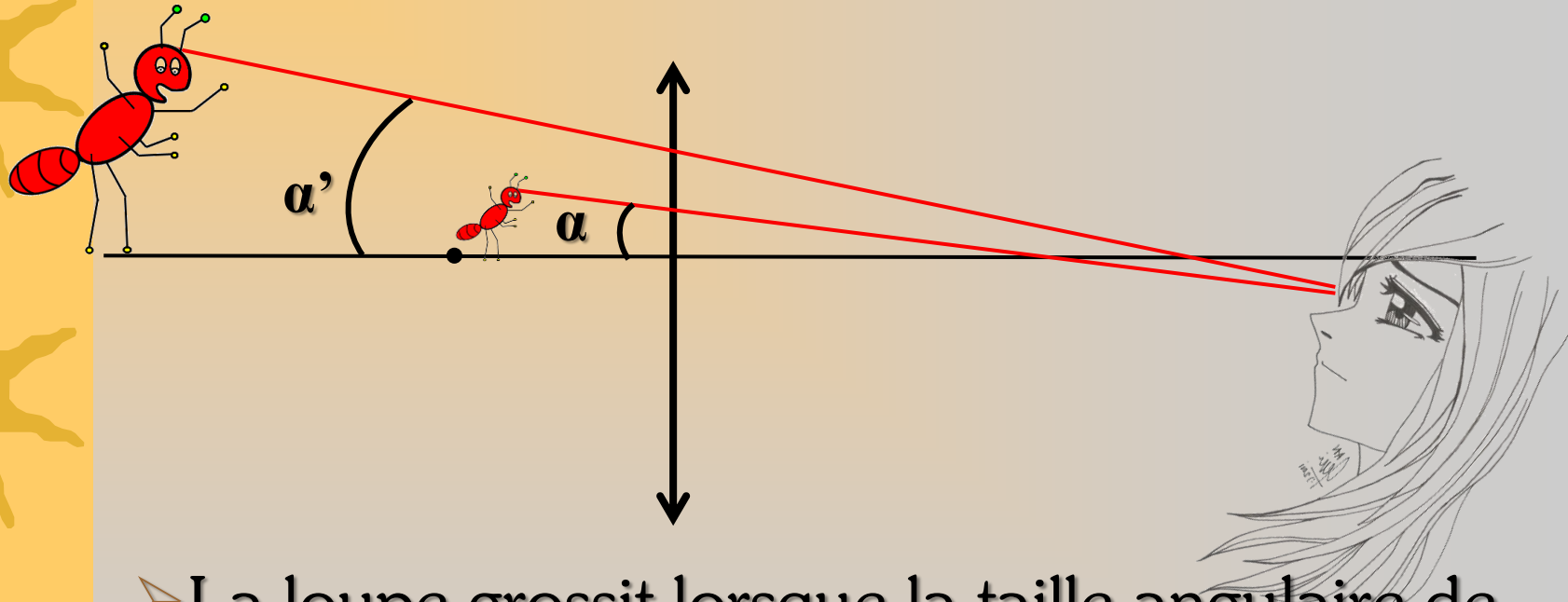
Quel est l'endroit idéal pour placer l'objet ?



- L'endroit idéal pour placer l'objet est au foyer objet **F**.
- On obtient une image à ∞ et les rayons $\parallel$ sont confortables pour l'œil.



LA LOUPE

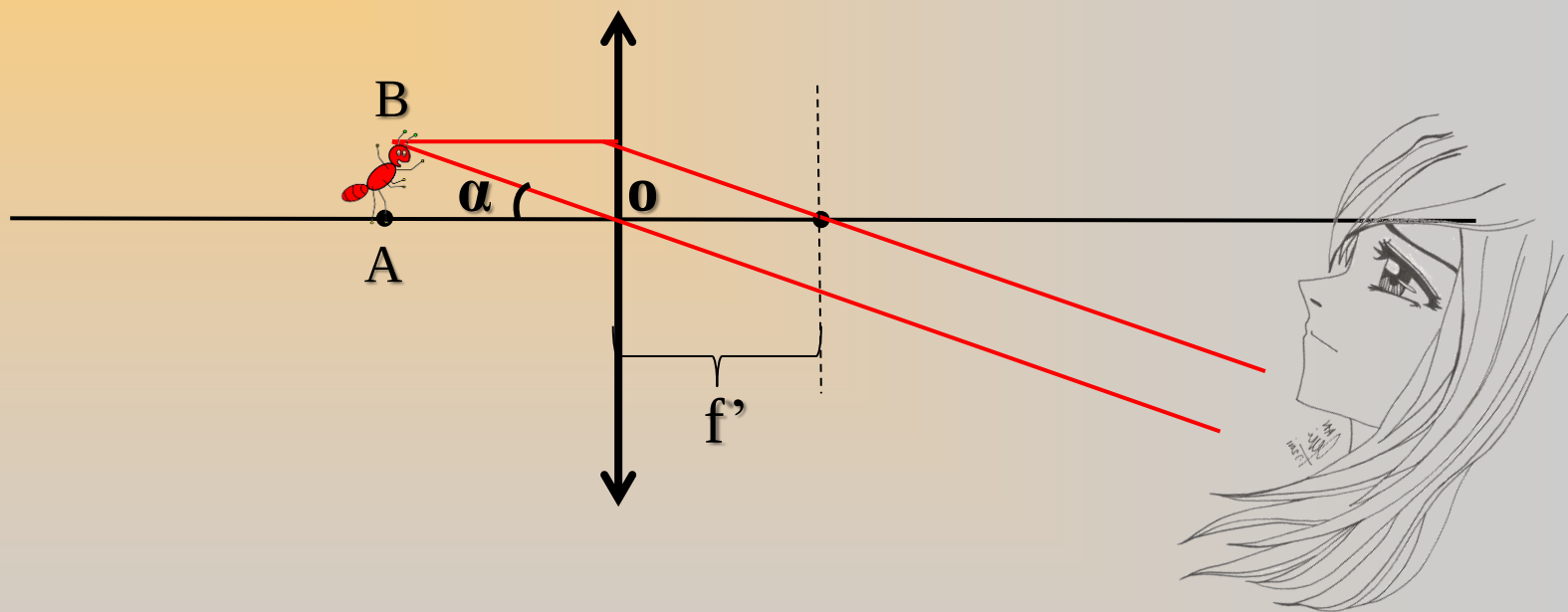


➤ La loupe grossit lorsque la taille angulaire de l'image est plus grande que celle de l'objet.

➤ $\angle \alpha' > \angle \alpha$



LA PUISSANCE D'UNE LOUPE

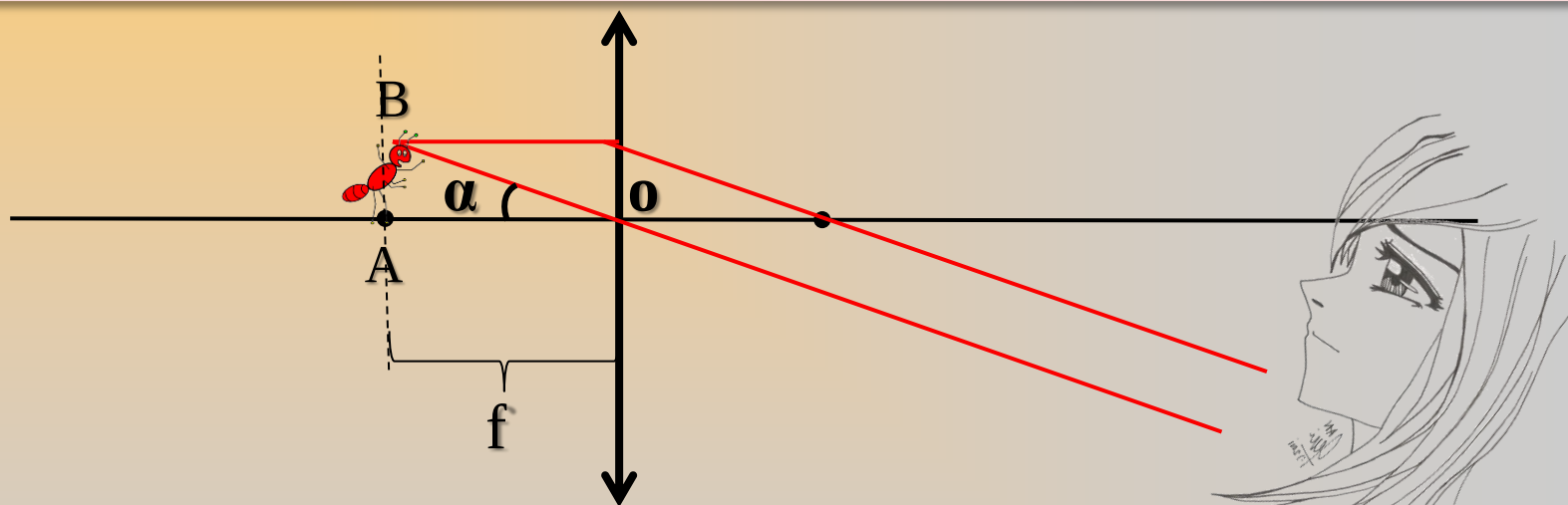


➤ $P = \frac{\alpha}{AB}$ où α est la taille angulaire de l'objet.



LA PUISSANCE D'UNE LOUPE

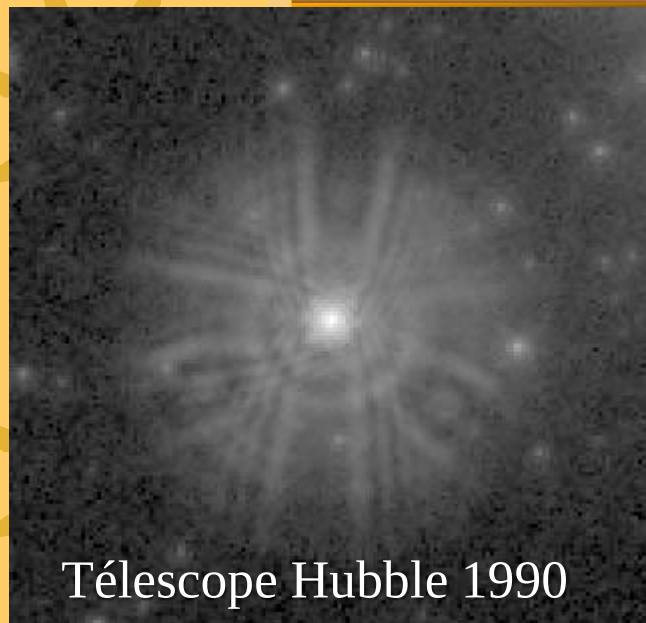
Plus la longueur focale est petite, plus la loupe est puissante



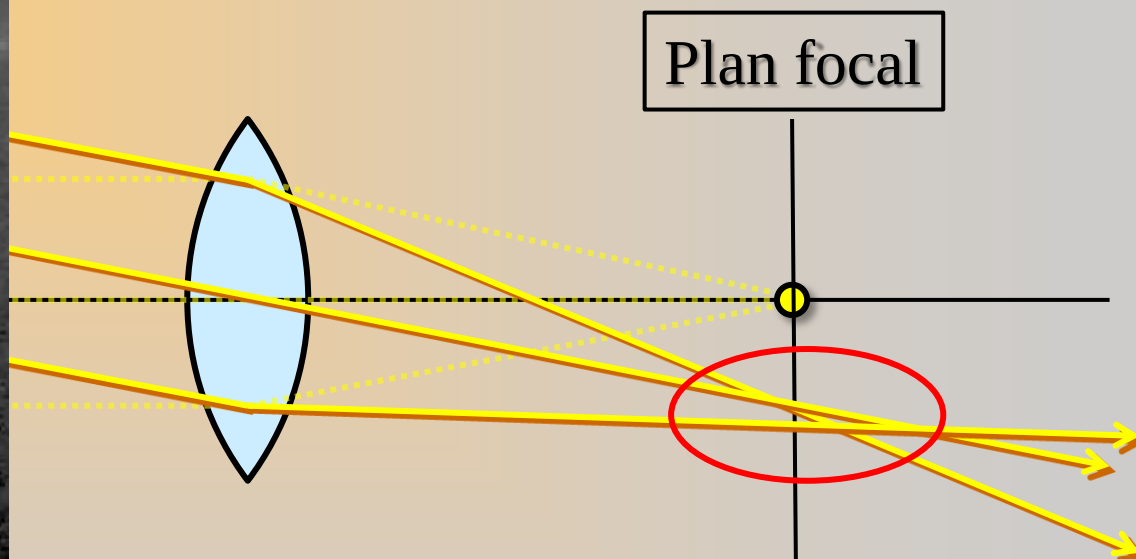
- La puissance P est liée à une caractéristique de la lentille ➡ $\tan \alpha = \frac{AB}{f}$ et si α est $\ll$, $\tan \alpha \cong \alpha$
- D'où $\alpha = \frac{AB}{f}$, mais $P = \frac{\alpha}{AB}$ et donc $P \approx \frac{1}{f}$



IMPERFECTIONS DES LENTILLES



Télescope Hubble 1990



★ Il n'y a pas de résultat parfait :

➤ Aberration **sphérique**

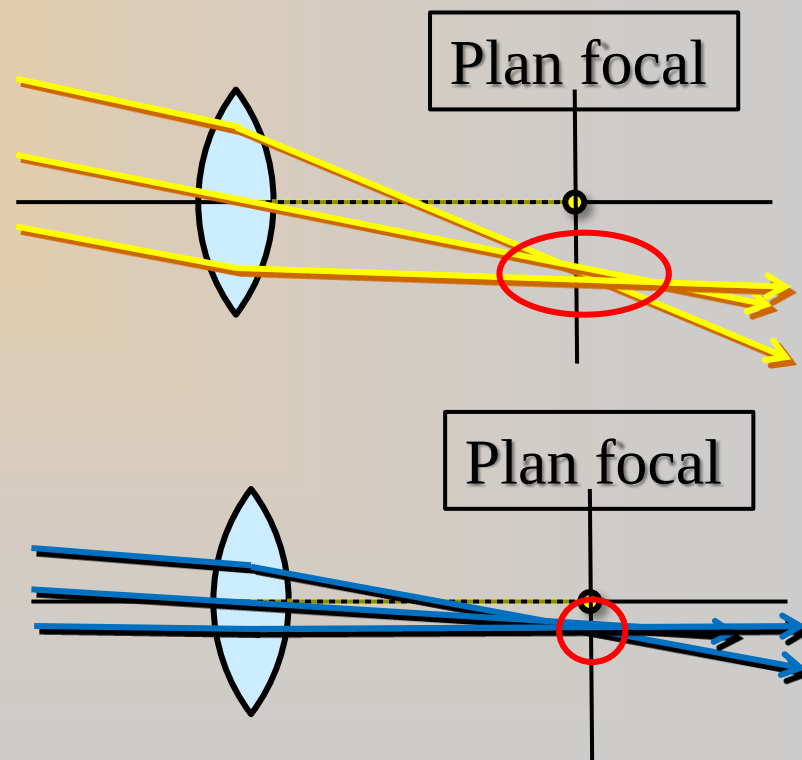
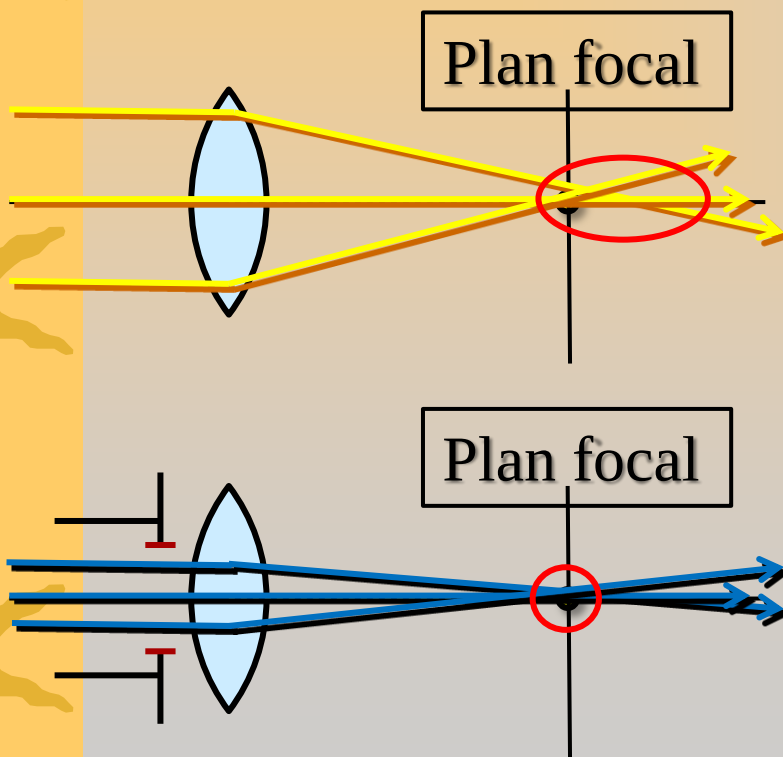
- Touche surtout la *périphérie* de la lentille
- On parle d'un problème de stigmatisme





IMPERFECTIONS DES LENTILLES

★ Les conditions de *Gauss*.

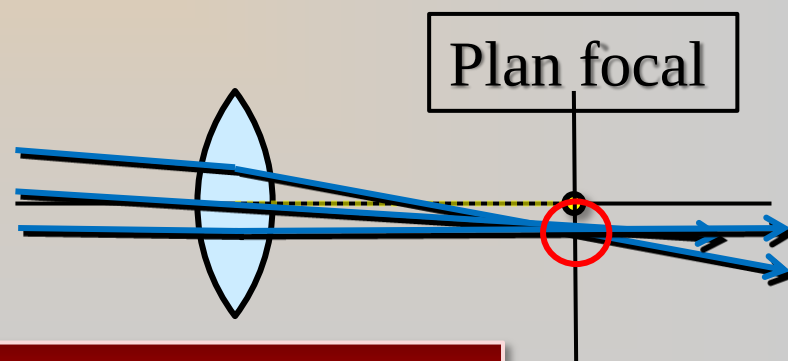
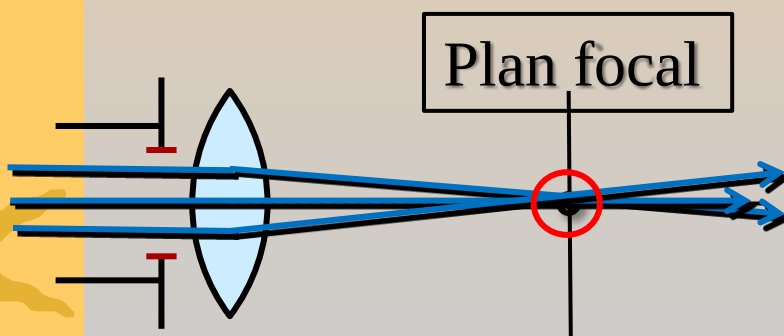




IMPERFECTIONS DES LENTILLES

★ Les conditions de *Gauss*.

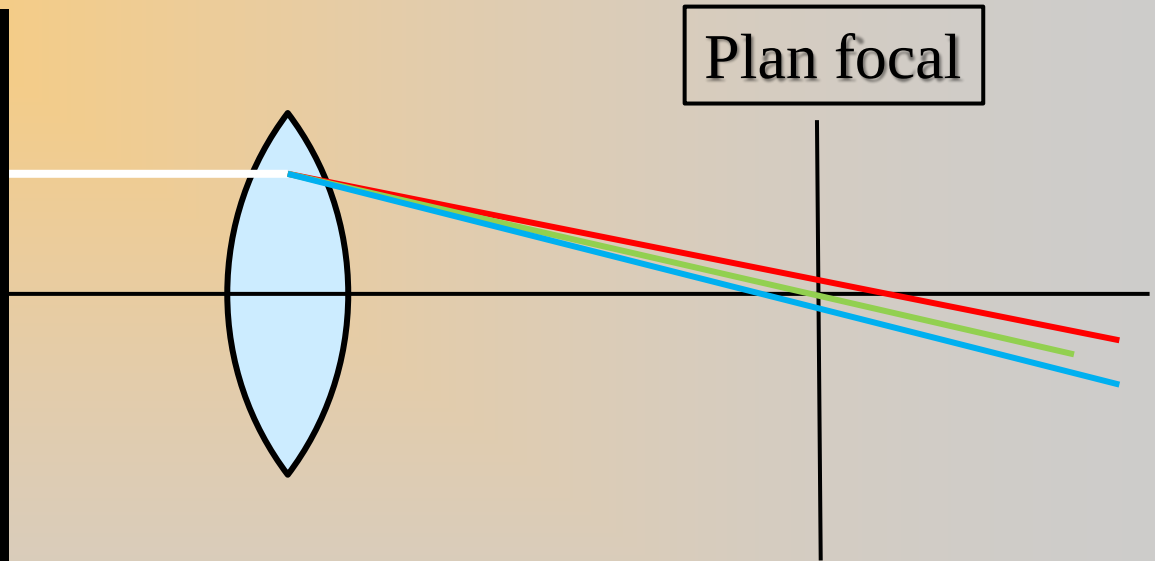
- Les rayons de lumière sont près de l'axe optique.
- L'angle d'incidence des rayons de lumière est faible par rapport à l'axe optique.



On parle de stigmatisme approché



IMPERFECTIONS DES LENTILLES



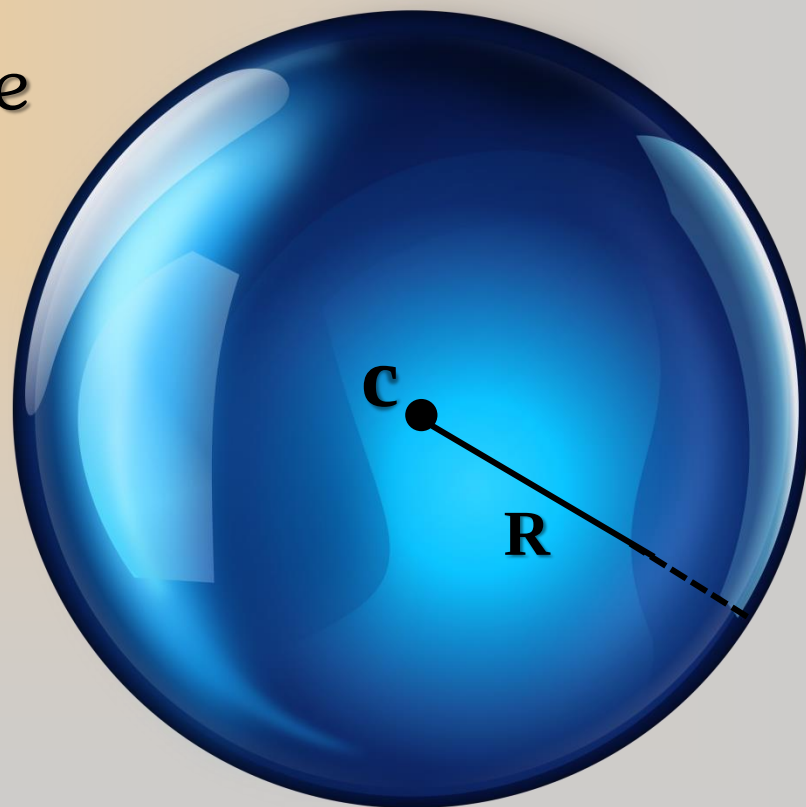
- ★ Il n'y a pas de résultat parfait :
 - Aberration **chromatique**



LE MIROIR SPHÉRIQUE

★ Construction

- Portion de sphère de centre **c** et de rayon **R**.

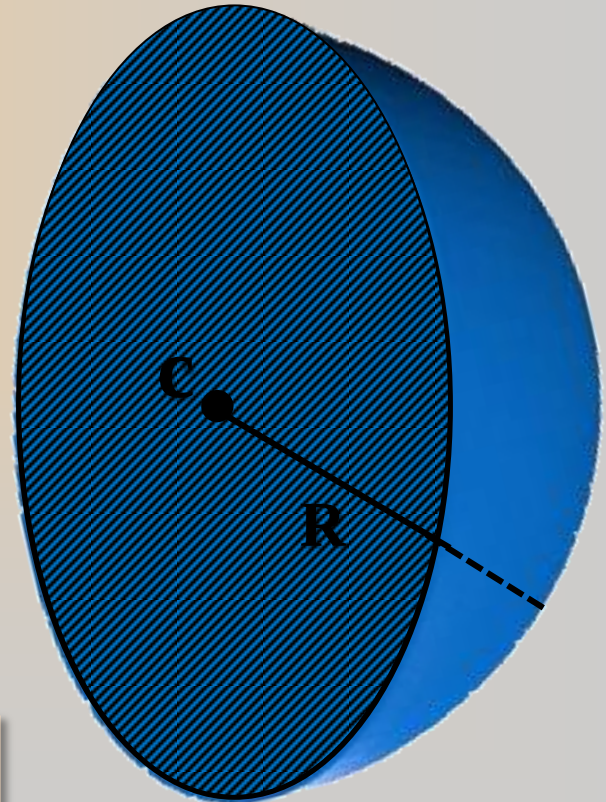




LE MIROIR SPHÉRIQUE

★ Construction

- Portion de sphère de centre **c** et de rayon **R**.



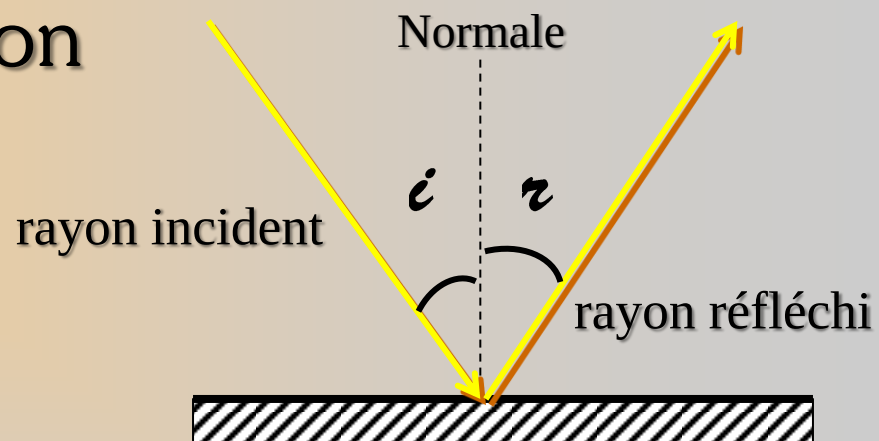
Un miroir concave est convergent.



LE MIROIR SPHÉRIQUE

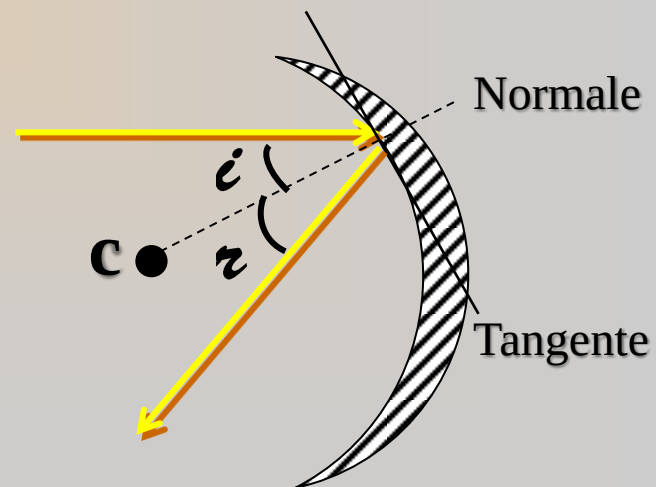
★ Rappel : la réflexion

➤ $\angle i = \angle r$



➤ Localement, sur un miroir sphérique, la surface est plane (tangente).

➤ $\angle i = \angle r$

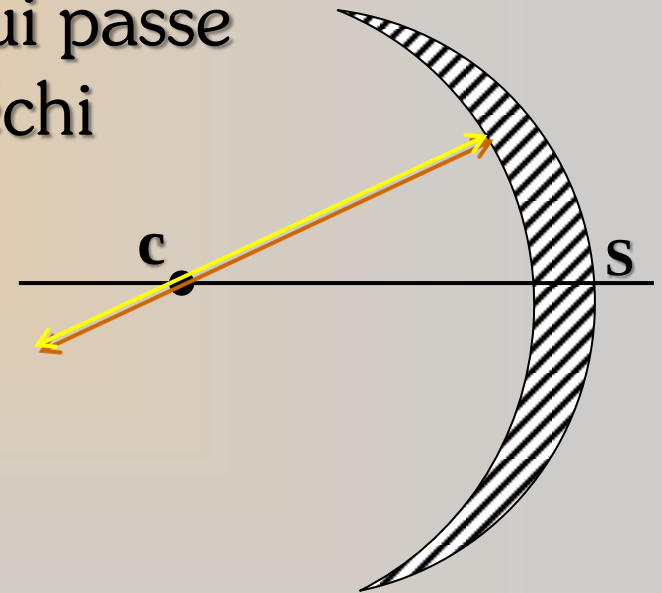




LE MIROIR SPHÉRIQUE

★ Propriétés du miroir sphérique

- Tout rayon incident qui passe par le centre **c** est réfléchi sur lui-même.



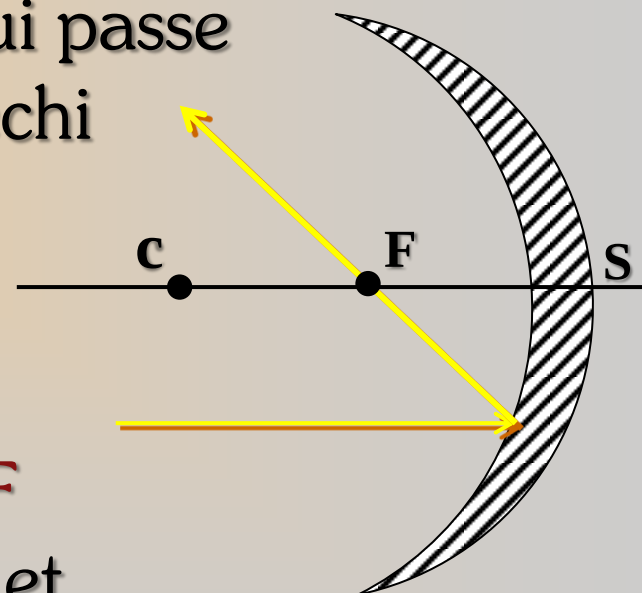


LE MIROIR SPHÉRIQUE

★ Propriétés du miroir sphérique

➤ Tout rayon incident qui passe par le centre **c** est réfléchi sur lui-même.

➤ Un rayon incident $\parallel$ à l'axe optique est réfléchi vers un point **F** situé sur l'axe optique et appelé **foyer image**.



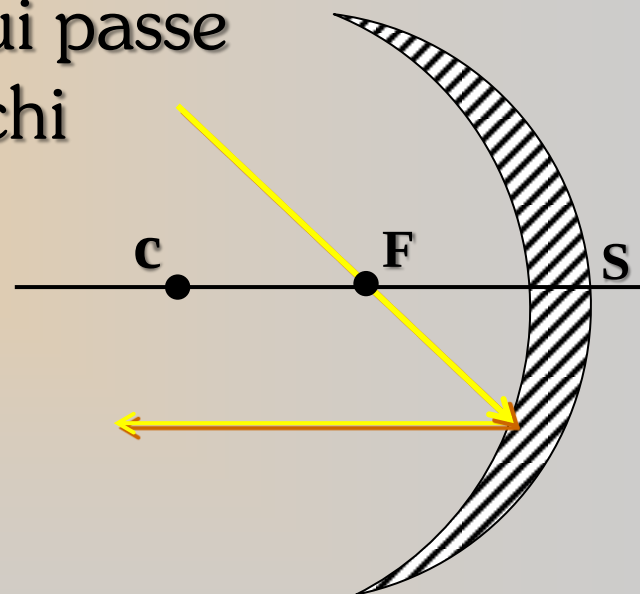
$$\overline{SF} \cong \frac{\overline{SC}}{2} \cong \frac{\overline{R}}{2}$$



LE MIROIR SPHÉRIQUE

★ Propriétés du miroir sphérique

- Tout rayon incident qui passe par le foyer **F** est réfléchi $\parallel$ à l'axe optique.





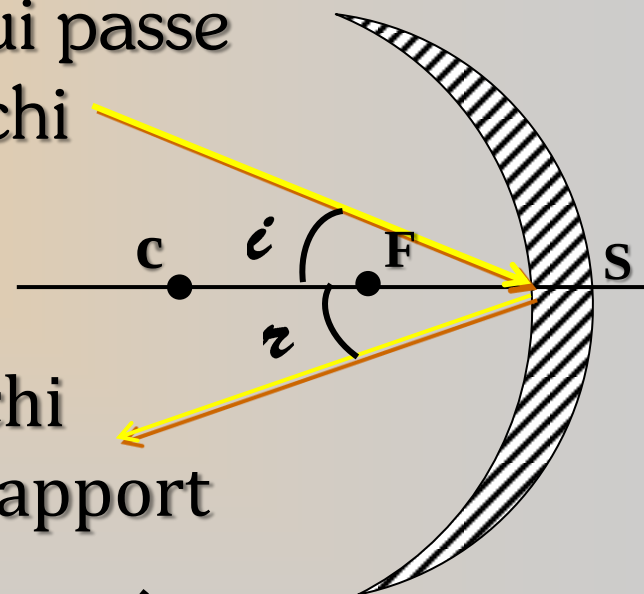
LE MIROIR SPHÉRIQUE

★ Propriétés du miroir sphérique

➤ Tout rayon incident qui passe par le foyer **F** est réfléchi $\parallel$ à l'axe optique.

➤ Un rayon incident au sommet **S** est réfléchi symétriquement par rapport à l'axe optique.

$$\angle i = \angle r$$

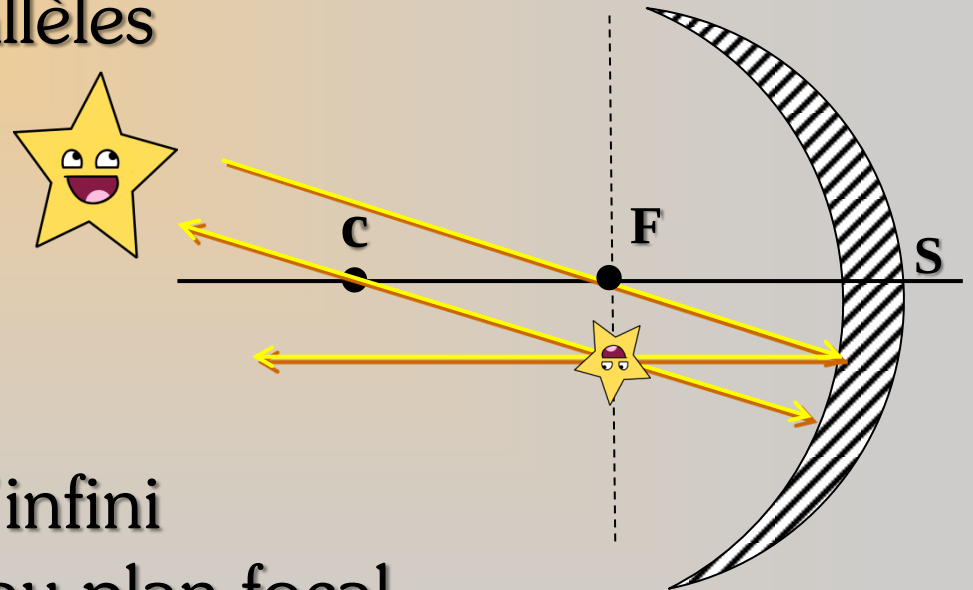




LE MIROIR SPHÉRIQUE

★ Construction des rayons de lumière.

➤ Rayons parallèles



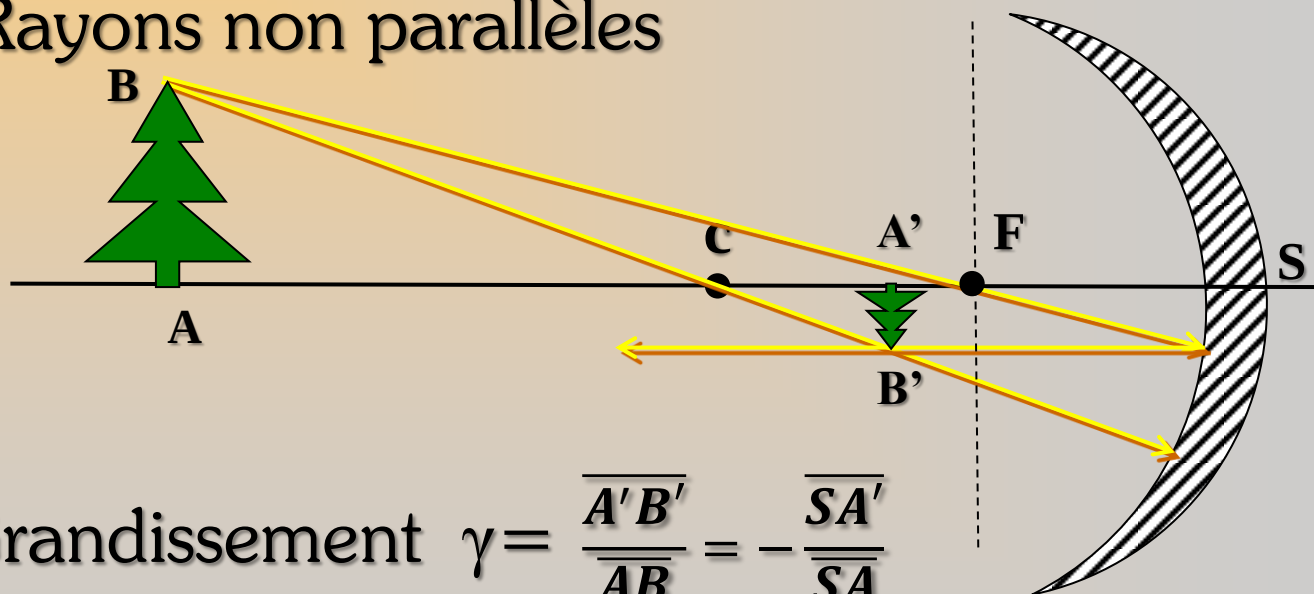
- ✓ Objet réel à l'infini
- ✓ Image réelle au plan focal



LE MIROIR SPHÉRIQUE

★ Construction des rayons de lumière.

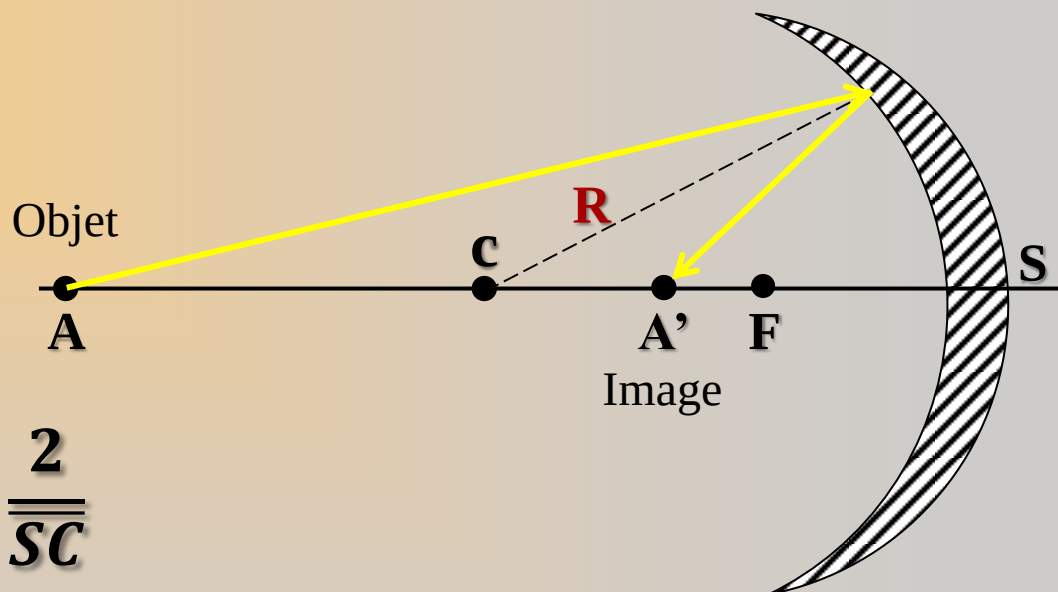
➤ Rayons non parallèles



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



RELATIONS DE CONJUGAISON



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

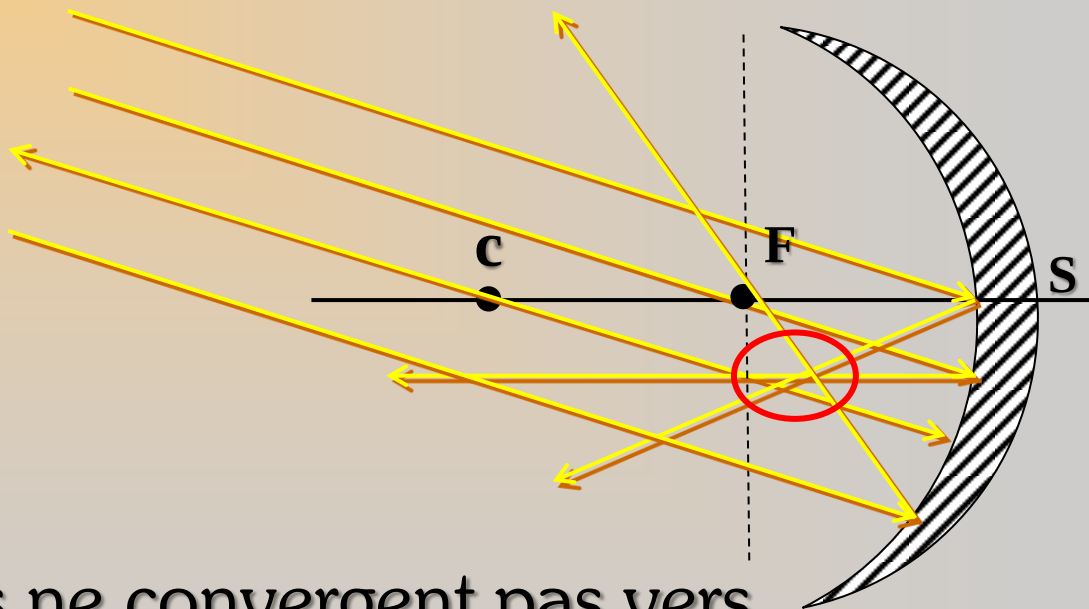
$$2) \frac{1}{\overline{CA}} + \frac{1}{\overline{CA'}} = \frac{2}{\overline{CS}}$$

$$3) \overline{FA} \times \overline{FA'} = f^2$$



IMPERFECTIONS DES MIROIRS SPHÉRIQUES

★ Aberrations sphériques

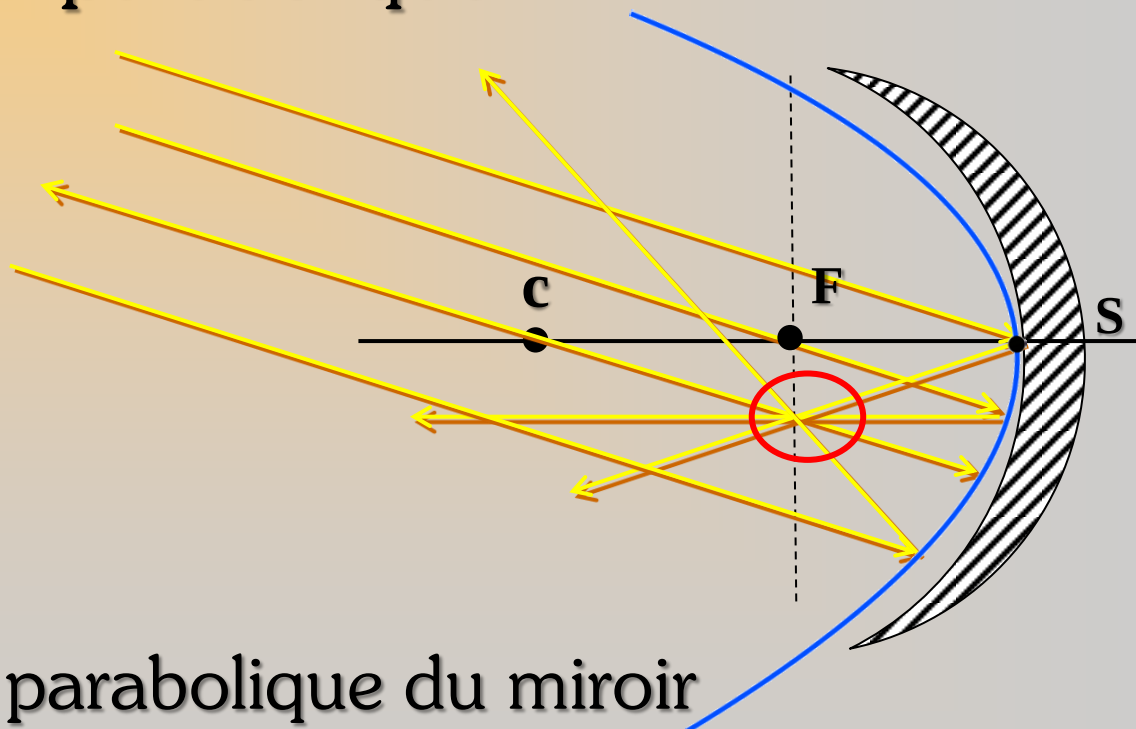


- ★ Les rayons ne convergent pas vers un même point sur un miroir sphérique, sauf dans les conditions de Gauss.



IMPERFECTIONS DES MIROIRS SPHÉRIQUES

★ Le miroir parabolique



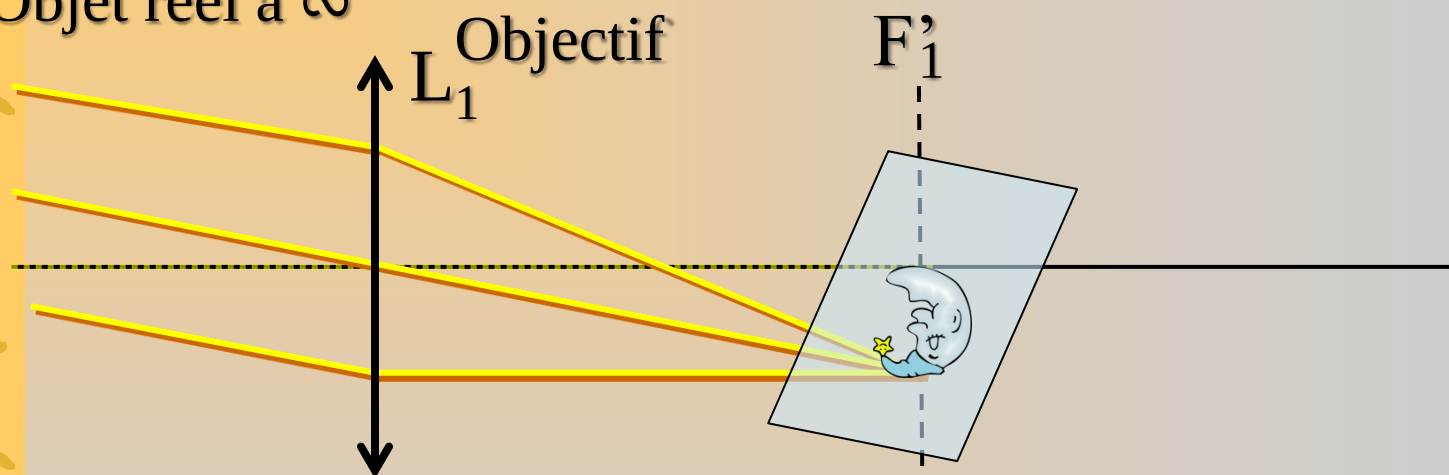
★ La forme parabolique du miroir permet la correction de l'aberration sphérique.



LA LUNETTE ASTRONOMIQUE



Objet réel à ∞



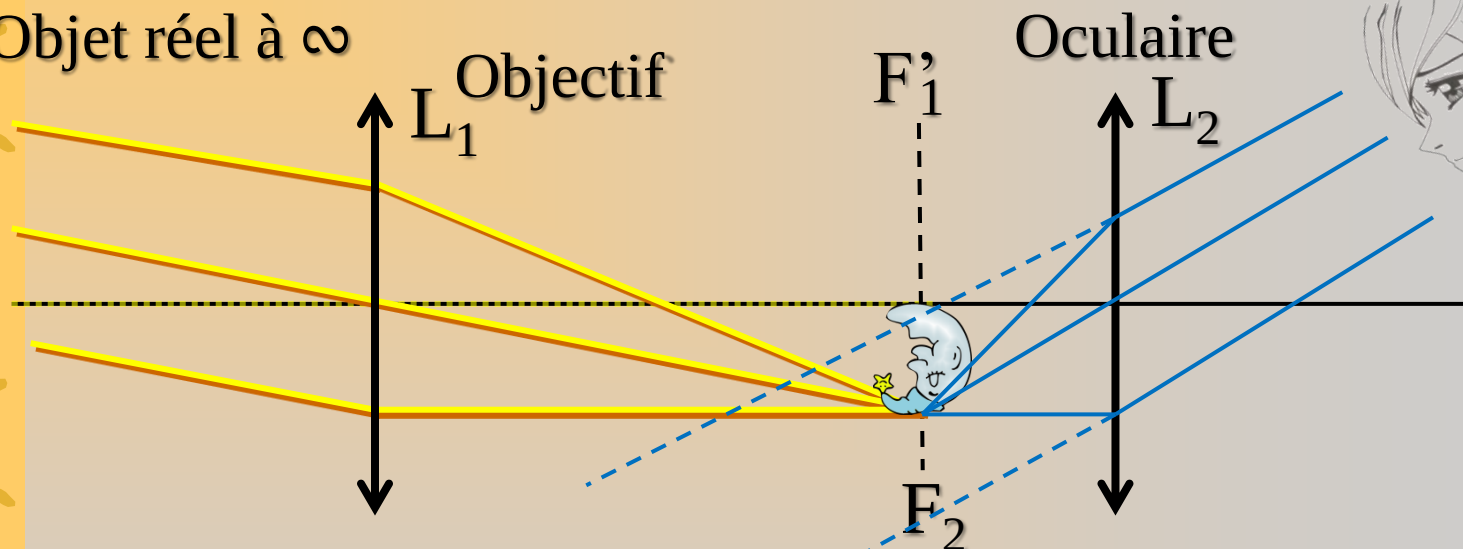
★ Image réelle de l'objet récoltée sur un écran
situé au plan focal de L_1



LA LUNETTE ASTRONOMIQUE



Objet réel à ∞



- ★ Le plan focal de L_2 coïncide avec le plan focal de $L_1 \Rightarrow$ l'image de L_1 = objet de L_2 .
- ★ L'instrument est globalement afocal.

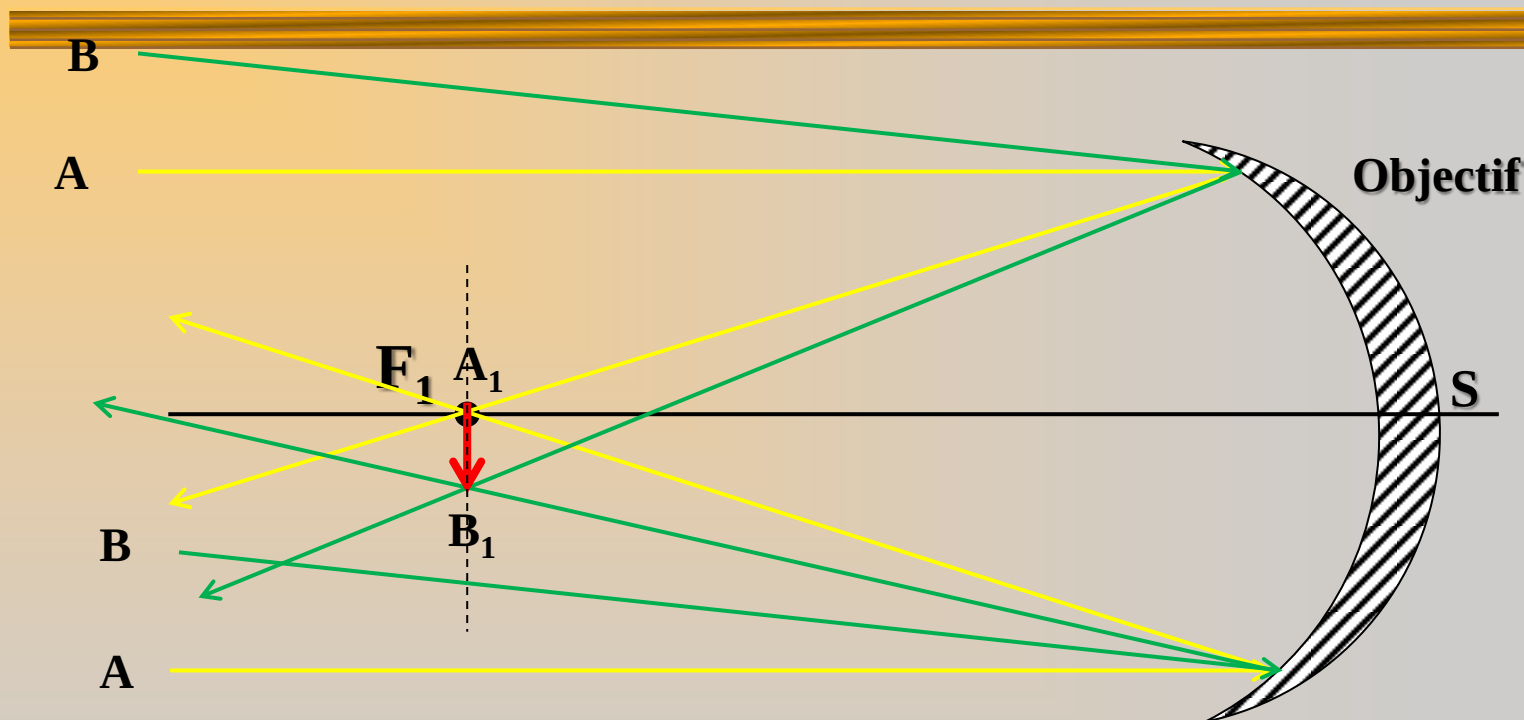
L'oculaire est une loupe avec les propriétés d'une loupe.



LE TÉLESCOPE

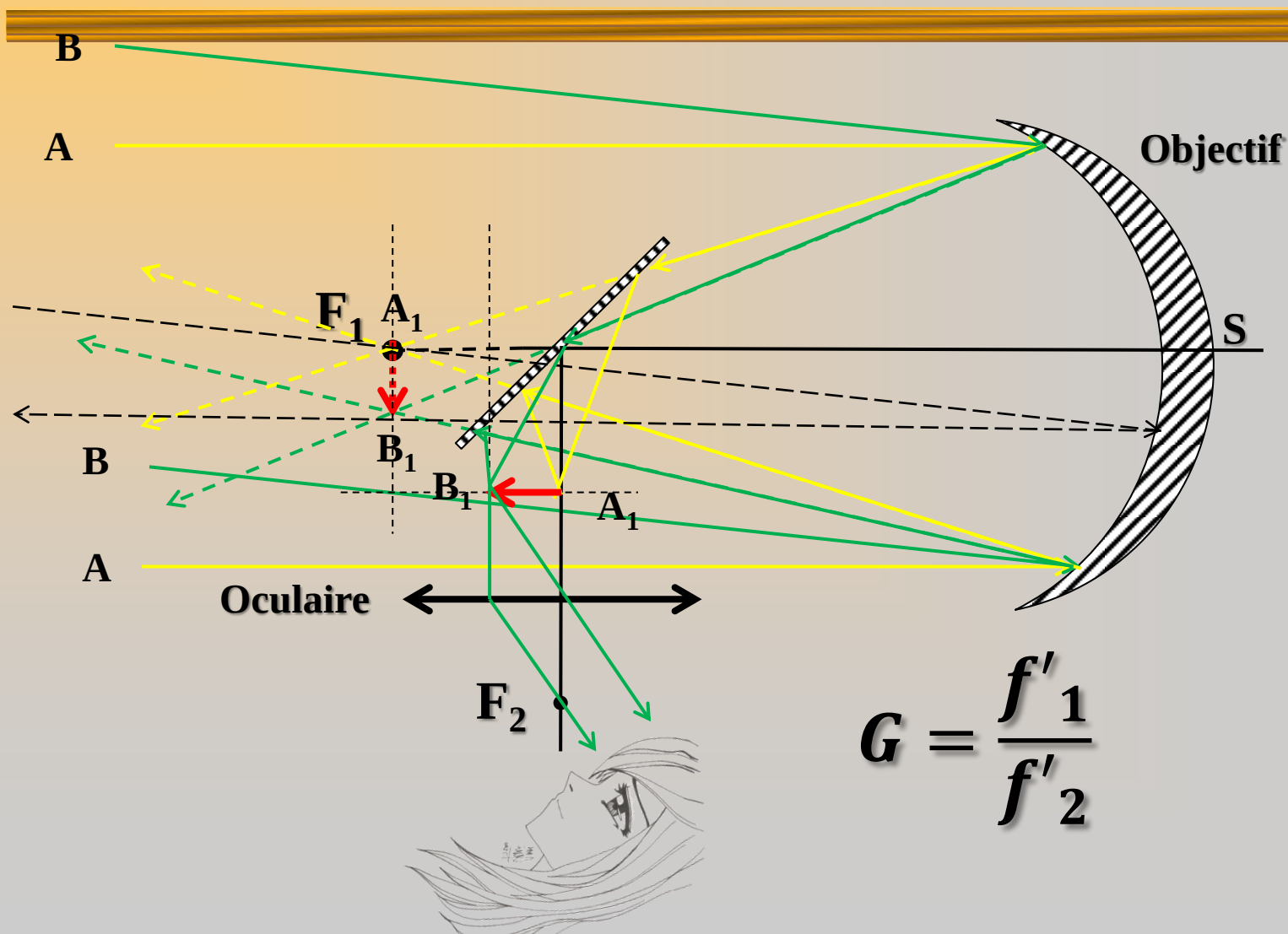


Objet à l'infini





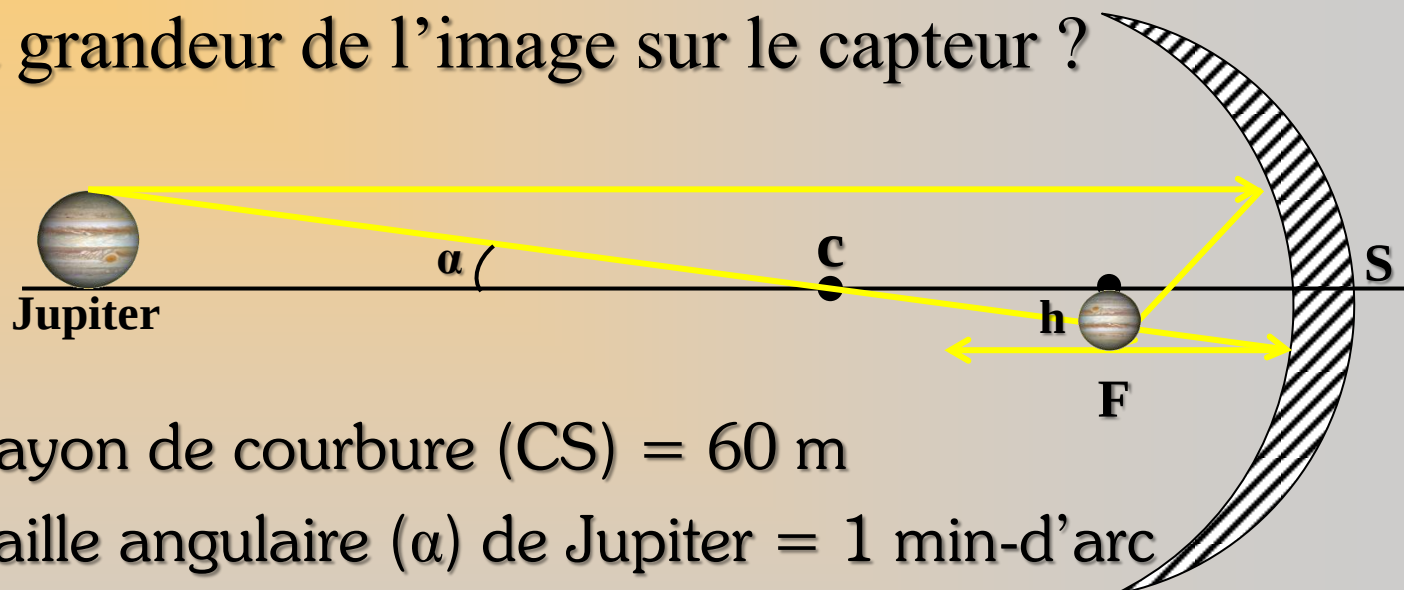
LE TÉLESCOPE





TÉLESCOPE HUBBLE

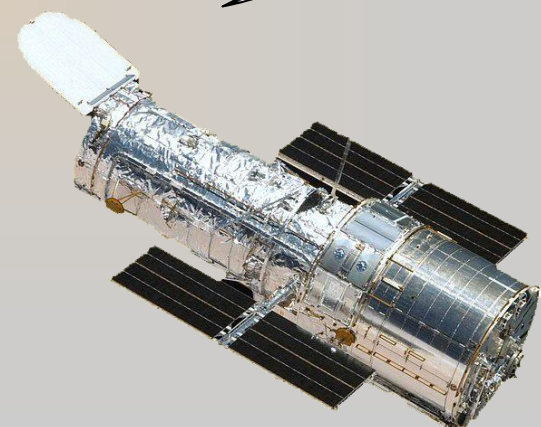
Quelle sera la grandeur de l'image sur le capteur ?



- ★ Le rayon de courbure (CS) = 60 m
- ★ La taille angulaire (α) de Jupiter = 1 min-d'arc

$$h = \frac{CS}{2} \times \alpha(\text{rad})$$

On trouve $h = 9$ mm





SÉRIE DE CAPSULES DU DÉBUTANT SUR L'OPTIQUE



- ★ La lumière (novembre)
- ★ Les bases de l'optique (décembre)
- ★ Les instruments d'optique
 - L'œil (janvier)
 - Les jumelles (février)
 - La lunette astronomique (mars)
 - Le télescope (avril)
 - Les montures (mai)



RÉFÉRENCES

- ★ Ondes, Optique et Physique moderne
Resnick R, Halliday D
Éditions du Renouveau Pédagogique Inc., 1978
- ★ Guide du ciel pour astronomes amateurs
Chartrand MR, Wimmer HK
Éditions Broquet Inc., 1995
- ★ Cours et exercices d'optique
Sincère F
<http://fabrice.sincere.pagesperso-orange.fr/optique.htm>



RÉFÉRENCES

- ★ Notions d'optique pour les astronomes amateurs
Bertorello S

<http://serge.bertorello.free.fr/optique/optique.html>

- ★ Wikipédia (L'encyclopédie libre) sur :

- Optique géométrique
- Lentille optique
- Miroir sphérique
- Relations de conjugaison



RÉFÉRENCES

- 
- ★ Ressources libres – Lumières sur l'Univers
Optique géométrique

https://media4.obspm.fr/public/ressources_lu/pages_optique-geometrique/og-introduction.html

- 
- ★ Série de vidéos sur l'optique géométrique
Taillet R

<https://www.youtube.com/watch?v=dckvoph10p4>

