

University IBN KHALDOUN of Tiaret
ANNEXE DE MÉDECINE



Optique Géométrique

Mme CHIBANI F

Optique

Géométrique

Partie 3

- Association des dioptries sphériques (Systèmes centrés)
- Lentilles minces
- Instruments optiques

Systemes centrés

Un système centré:

C'est un ensemble de milieux transparents séparés par des surfaces planes ou sphériques dont l'axe principal est celui de toutes les surfaces du système centré.

On distingue deux types de systèmes centrés :

- Systèmes dioptriques : composés seulement de dioptres
- Systèmes catadioptriques : composés de miroirs et de dioptres

Soit système optique est composé de plusieurs dioptries D_1, D_2, D_3, \dots

Pour chaque dioptrie nous avons :

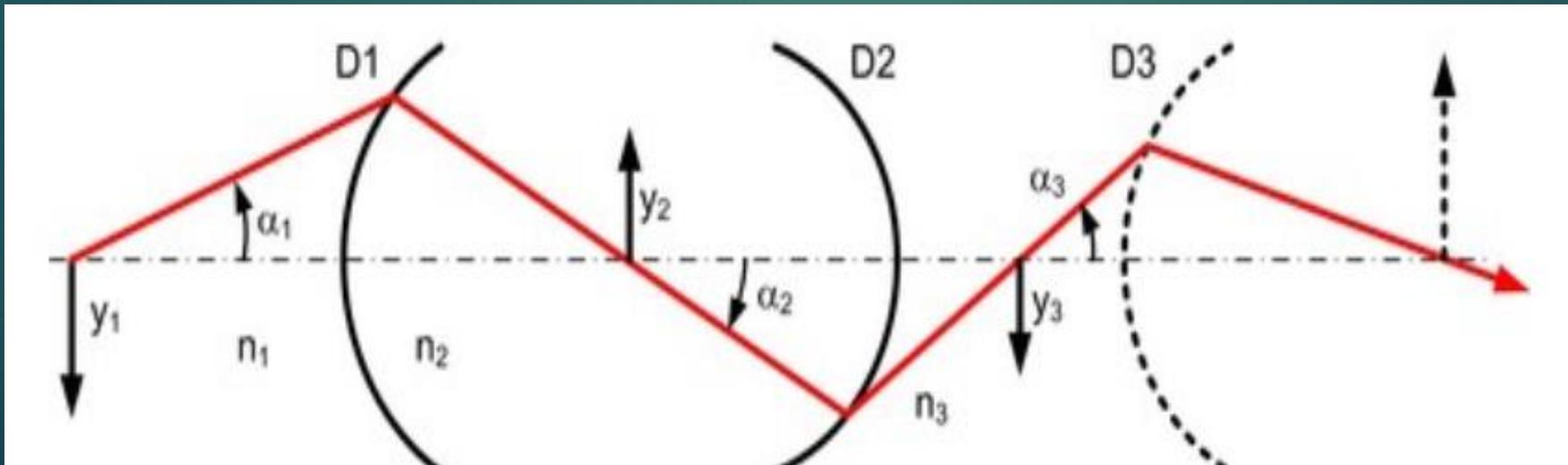
Dioptrie (D_1): Sommet S_1 ; Centre C_1 ; Objet AB et son image à travers D_1 étant A_1B_1

Dioptrie (D_2): Sommet S_2 ; Centre C_2 ; Objet A_1B_1 et son image à travers D_2 étant A_2B_2

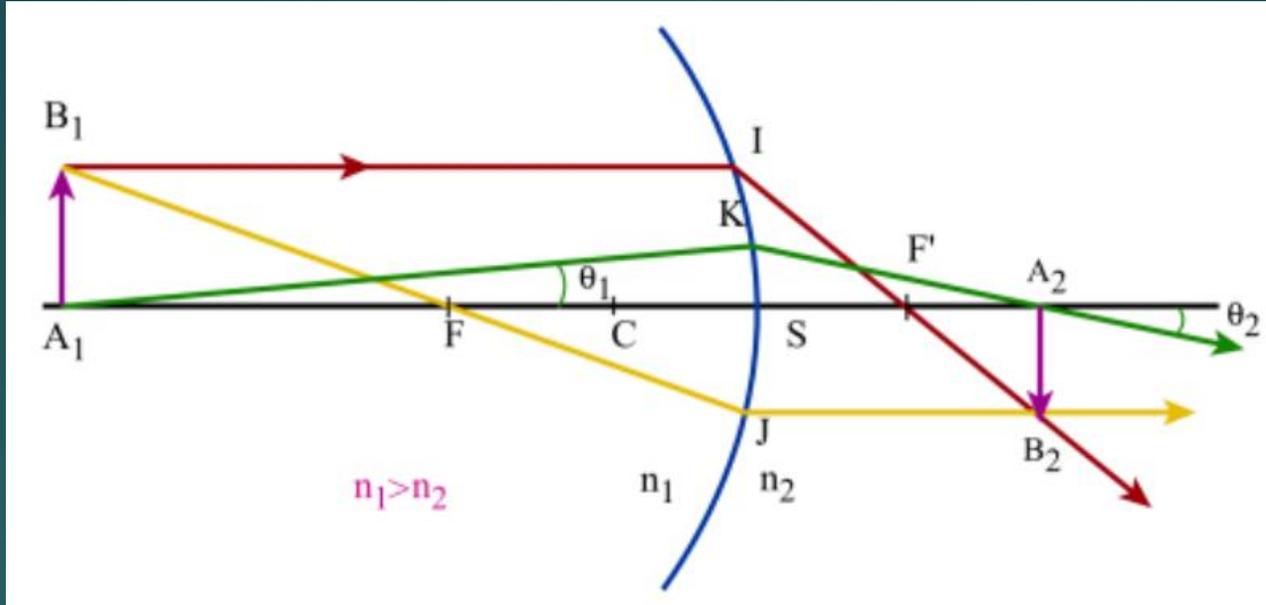
Dioptrie (D_3): Sommet S_3 ; Centre C_3 ; Objet A_2B_2 et son image à travers D_3 étant A_3B_3
etc....

Dioptrie (D_n): Sommet S_n ; Centre C_n ; Objet A_nB_n et son image à travers D_n étant $A'B'$

Ainsi un rayon passant par A passera successivement par les points A_1, A_2, \dots, A_n et A' en vérifiant pour chacun des dioptries traversés la relation de Lagrange-Helmholtz.



La relation de Lagrange-Helmholtz :



Si A_2B_2 est l'image de A_1B_1 un rayon issu de A_1 se réfracte en K en passant par A_2 . Si l'on choisit le sens trigonométrique comme sens positif des angles on peut écrire :

$$\overline{SK} = -\overline{SA_1} \tan \theta_1 = -\overline{SA_2} \tan \theta_2$$

puisque nous nous plaçons dans l'approximation de Gauss on pourra confondre les tangentes des angles avec les angles exprimés en radians :

$$\overline{SA_1} \theta_1 = \overline{SA_2} \theta_2$$

Nous avons vu que :

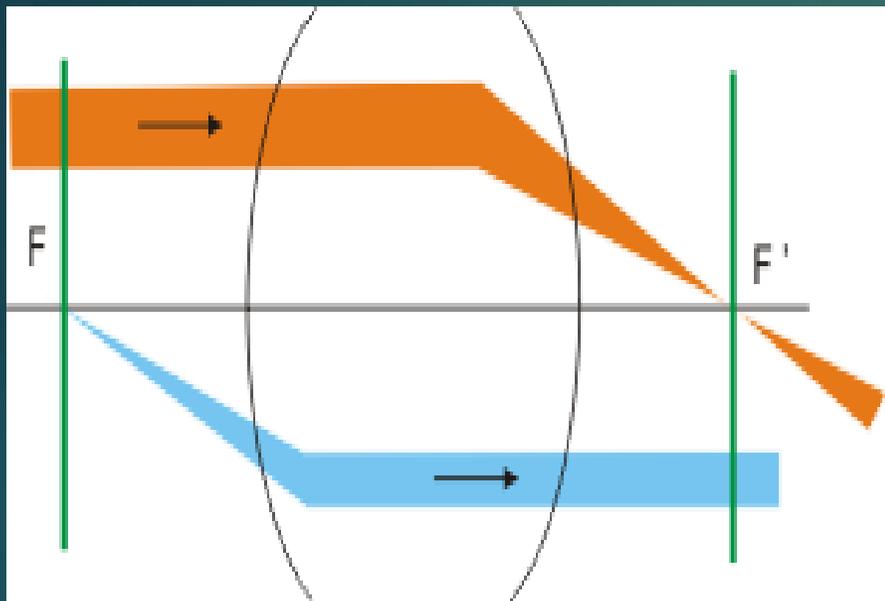
$$\gamma = \frac{n_1}{n_2} \frac{\overline{SA_2}}{\overline{SA_1}} = \frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_1B_1}}$$

Soit encore : $n_1 \cdot \overline{A_1B_1} \cdot \overline{SA_2} = n_2 \cdot \overline{A_2B_2} \cdot \overline{SA_1}$

On en déduit facilement le relation de Lagrange–Helmholtz

$$n_1 \cdot \overline{A_1B_1} \cdot \theta_1 = n_2 \cdot \overline{A_2B_2} \cdot \theta_2$$

Les foyers principaux objet F et image F' d'un système centré :



Si le point objet A est à l'infini, la position du point image A' est nommée **foyer principal image F'** . F' est le conjugué du point objet à l'infini. Un faisceau incident parallèle à l'axe converge vers F' .

Le plan normal à l'axe passant par F' est le **plan focal image**.

Le **foyer principal objet F** est le conjugué du point image situé sur l'axe à l'infini. Le plan normal à l'axe passant par F est le **plan focal objet**.

Un faisceau issu de F émerge en un faisceau parallèle à l'axe optique.

Si les foyers sont à distances finies, le système est dit **à foyers** sinon il est dit **afocal**. C'est le cas des systèmes qui donnent d'un objet à l'infini une image également à l'infini tels que les lunettes et les télescopes.

Les Lentilles



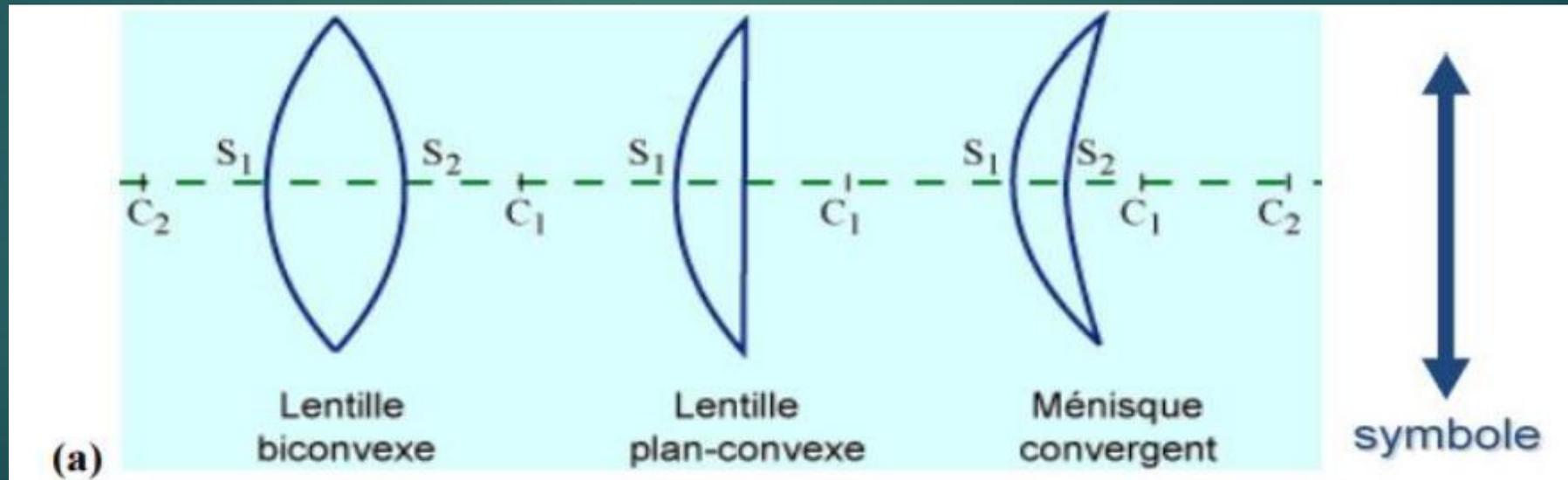
La lentille possède naturellement toutes les propriétés générales des systèmes centrés dans les conditions de l'approximation de Gauss,

Une lentille est constituée de deux dioptries dont l'un au moins est sphérique. L'épaisseur est la distance entre les sommets des dioptries mesurée sur l'axe optique. Si l'épaisseur de la lentille est négligeable devant les rayons de courbures des deux faces, la lentille est dite **mince**. Dans le cas contraire, c'est une lentille **épaisse**.

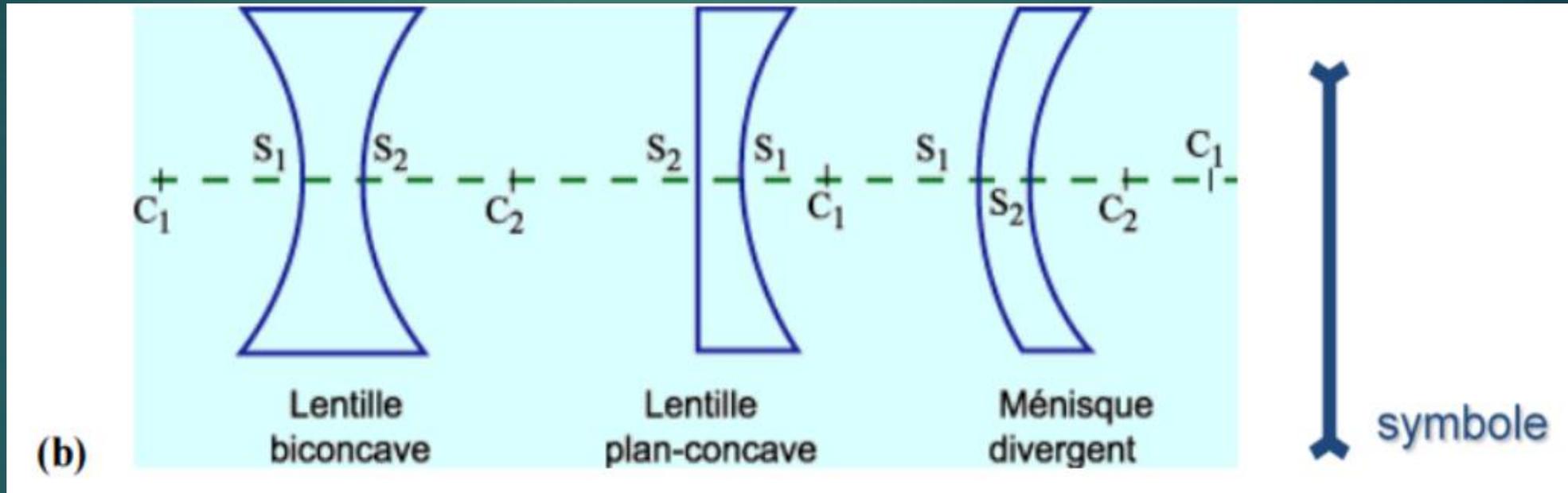
L'épaisseur d'une lentille est $e = \overline{S_1S_2}$

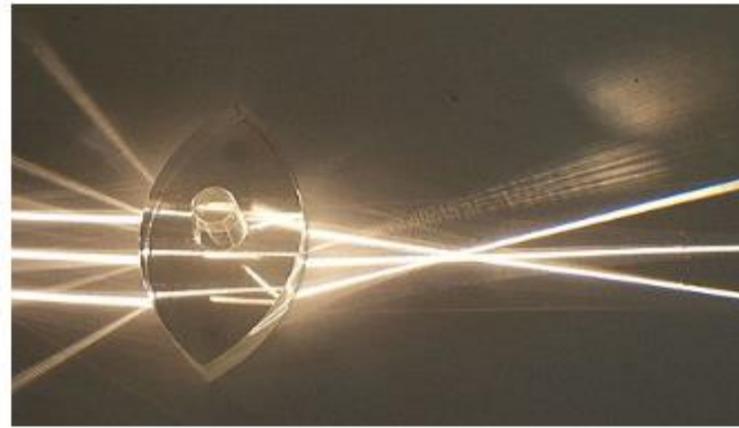
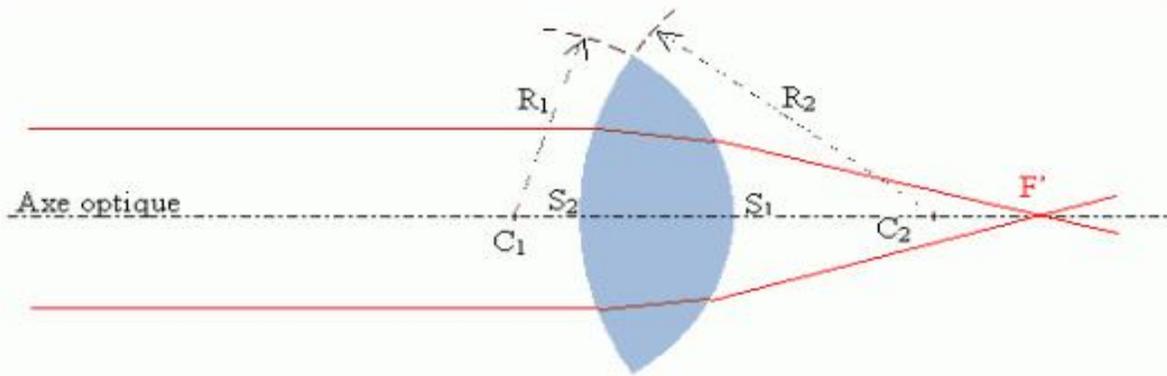
Selon les positions relatives des centres des dioptries on peut avoir six formes différentes de lentilles.

Trois sont à bords minces (convergentes): la lentille biconvexe, la lentille plan-convexe et le ménisque à bords minces.



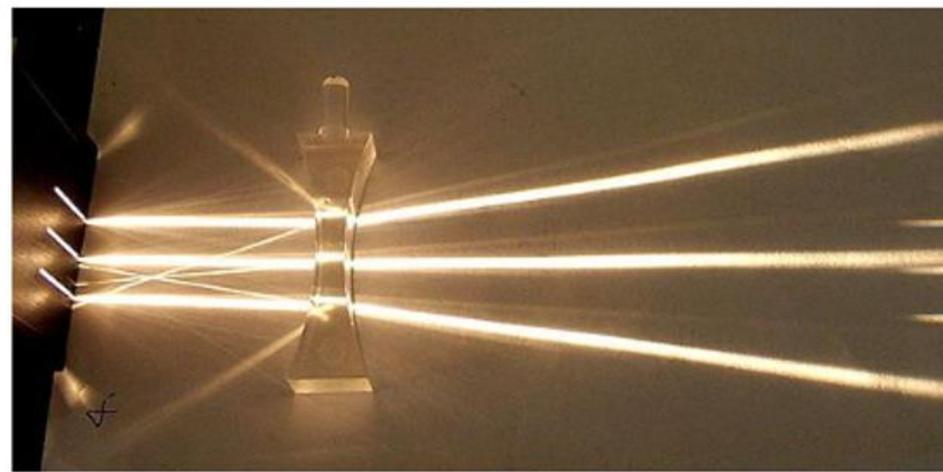
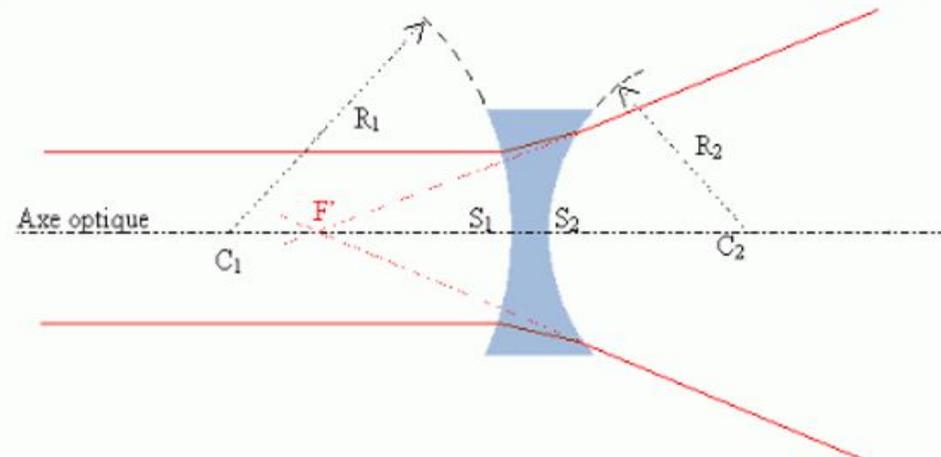
Trois sont à bords épais (divergentes) : la lentille biconcave, la lentille plan-concave et le ménisque à bords épais.





Lentille convergente.

Lentille convergente.



Lentille divergente.

Lentille divergente.



Vue de profil d'une lentille biconvexe



Lentilles de contact



Une loupe

Lentilles minces

La lentille est dite mince lorsque son épaisseur est négligeable par rapport aux deux rayons des dioptries. Nous étudierons dans cette partie uniquement ce type de lentilles et introduirons dans nos calculs la simplification due au fait que nous supposerons les sommets des deux dioptries confondus.

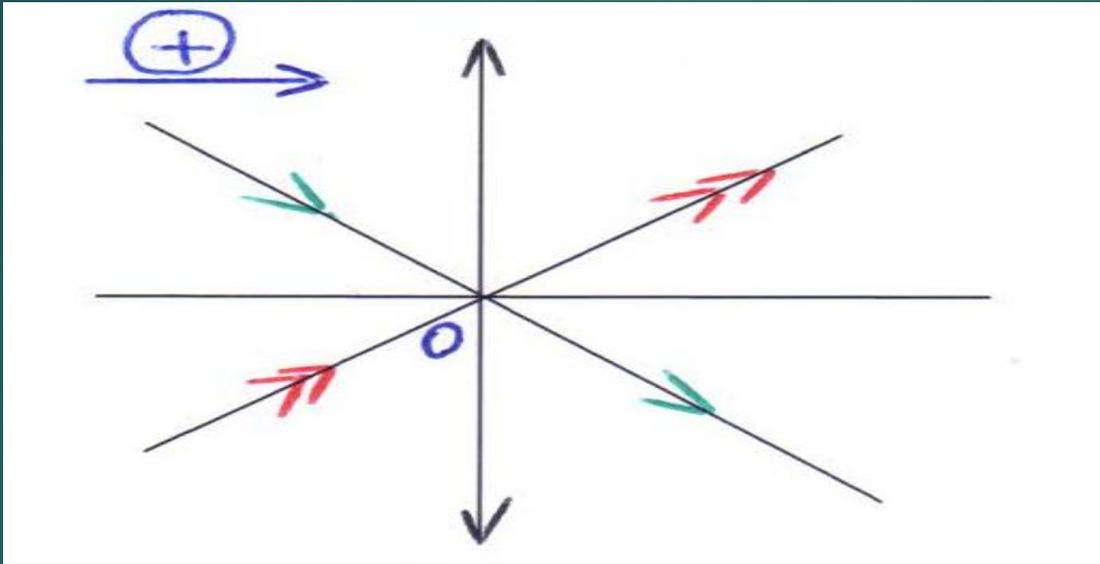


Lentilles minces convergentes

- Les lentilles minces convergentes font converger les rayons lumineux.
- Les lentilles minces convergentes forment une image virtuelle droite et agrandie d'un objet situé proche de la lentille.
- Les lentilles minces convergentes forment une image réelle inversée d'un objet situé loin de la lentille de la lentille.
- Les lentilles minces convergentes ont les trois propriétés suivantes.
 - Tout rayon passant par le centre optique n'est pas dévié.
 - Tout rayon incident parallèle à l'axe optique émerge de la lentille en passant par le foyer image F' .
 - Tout rayon passant par le foyer objet F émerge de la lentille parallèle à l'axe optique.

Centre optique :

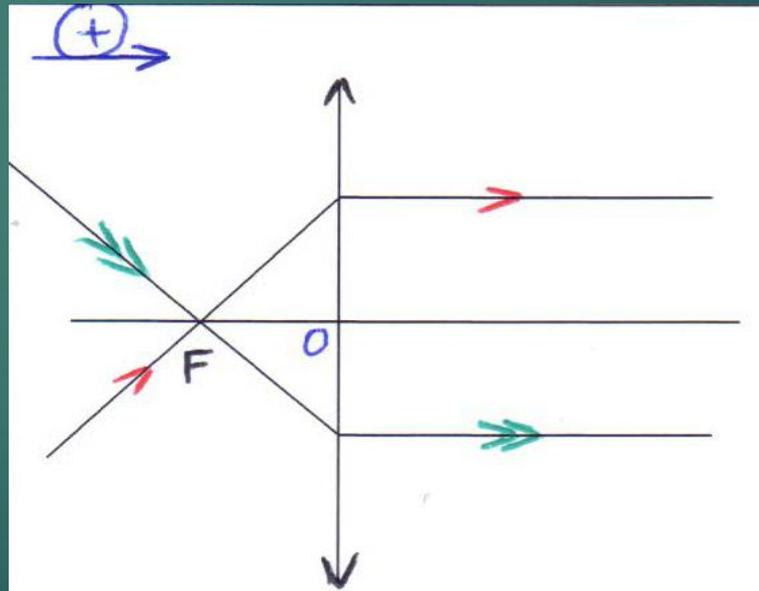
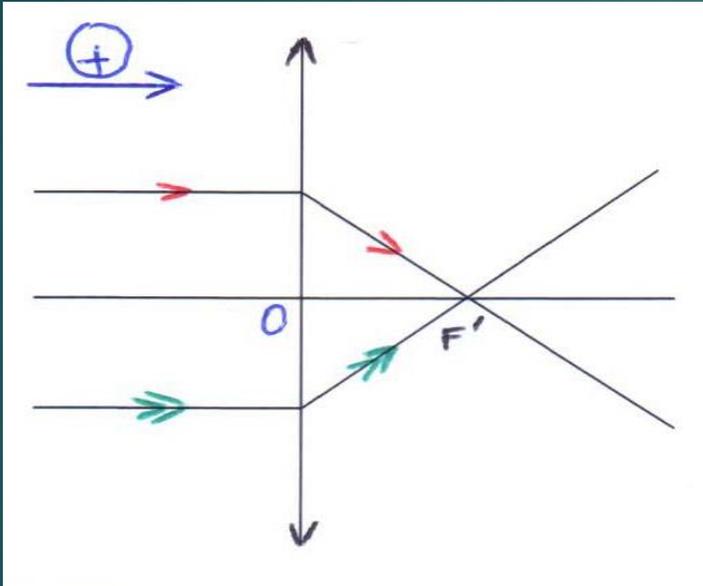
Un rayon passant par le centre optique O n'est pas dévié



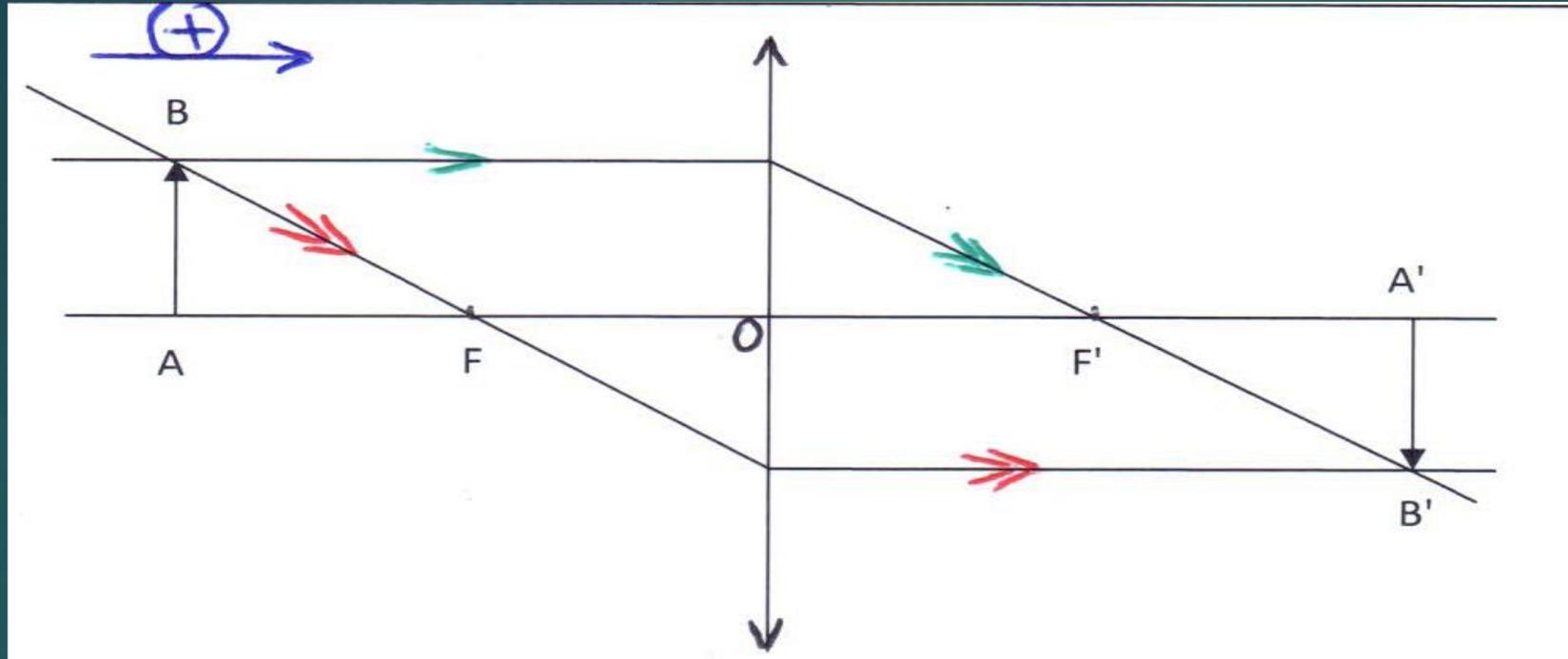
Foyer objet, foyer image d'une lentille mince convergente.

Le rayon parallèle à l'axe avant la lentille est dévié et le rayon sortant passe par le foyer image F' (réel) ($\overline{OF'} > 0, f' > 0$)

Le rayon passant par le foyer objet F (réel) avant la lentille est dévié et ressort parallèle à l'axe. ($\overline{OF} < 0, f < 0$)



Construction d'une image d'un objet étendu par rapport à une lentille convergente.



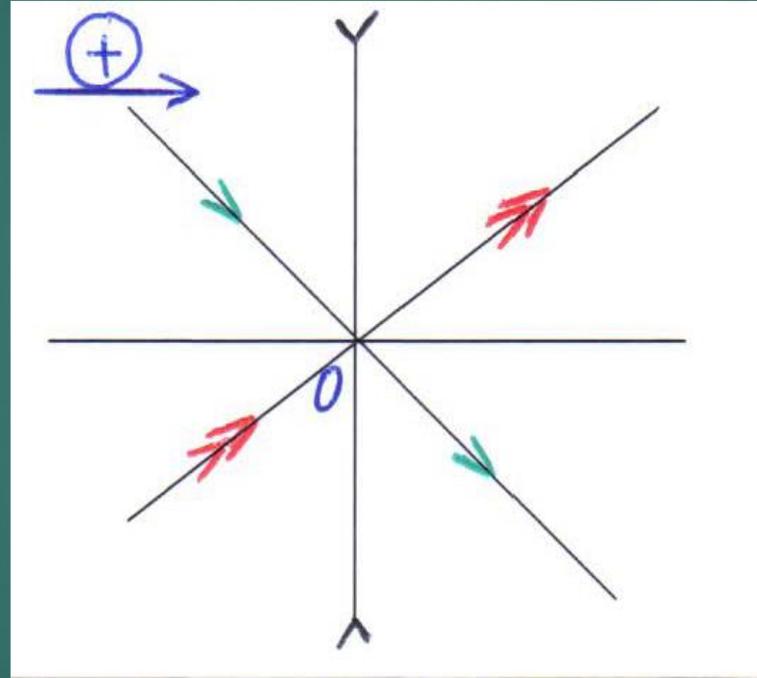


Lentilles minces divergentes

- Les lentilles minces divergentes font diverger les rayons lumineux.
- Les lentilles minces divergentes forment une image virtuelle droite et petite d'un objet situé proche de la lentille.
- Les lentilles minces divergentes forment une image réelle droite et agrandie d'un objet virtuel .
- Les lentilles minces divergentes ont les trois propriétés suivantes.
 - Tout rayon passant par le centre optique n'est pas dévié.
 - Tout rayon incident parallèle à l'axe optique émerge de la lentille en passant par le foyer image F' .
 - Tout rayon passant par le foyer objet F émerge de la lentille parallèle à l'axe optique.

Centre optique :

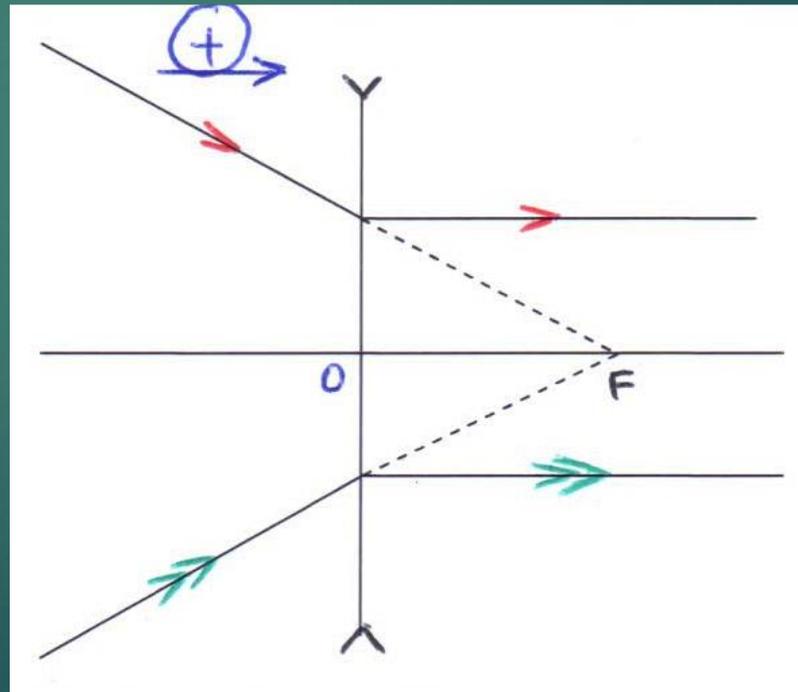
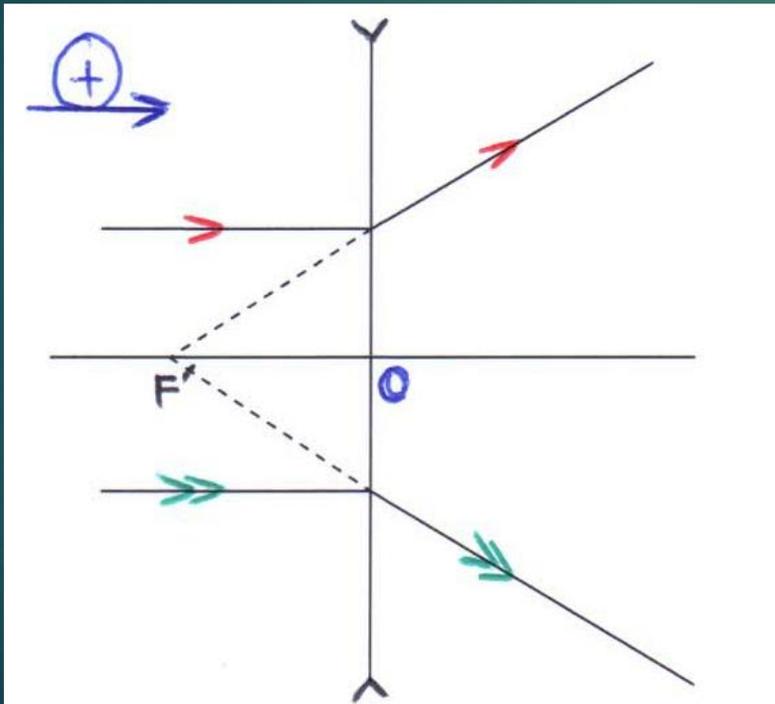
Un rayon passant par le centre optique O n'est pas dévié



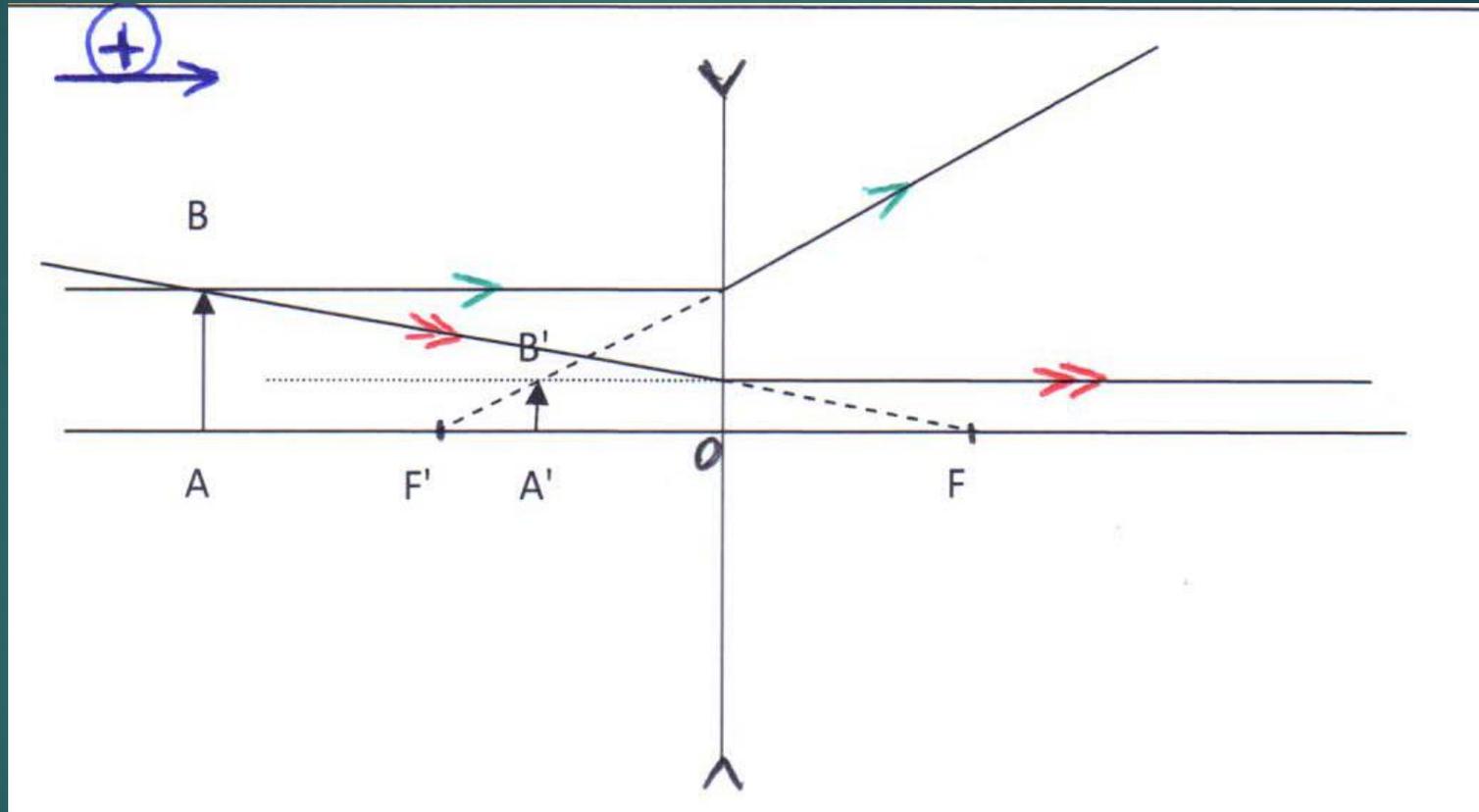
Foyer objet, foyer image d'une lentille mince divergente.

Le rayon parallèle à l'axe avant la lentille est dévié et le rayon sortant passe par le foyer image F' (virtuel) ($\overline{OF'} < 0, f' < 0$)

Le rayon passant par le foyer objet F (virtuel) avant la lentille est dévié et ressort parallèle à l'axe. ($\overline{OF} > 0, f > 0$)



Construction d'une image d'un objet étendu par rapport à une lentille divergente.



Les relations de conjugaison pour les lentilles minces:

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \text{ (Par rapport au Sommet)}$$

$\overline{OA'} < 0 \Rightarrow$ L'image est virtuelle ;

$\overline{OA'} > 0 \Rightarrow$ L'image est réelle ;

$$\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = f \cdot f' = -f'^2 \text{ (Par rapport au Foyer)}$$

Le grandissement :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} \text{ (Sans dimension)}$$

Si $\gamma > 0$ l'image est droite

Si $\gamma < 0$ l'image est renversée

Si $|\gamma| > 1$ l'image est plus grande que son objet

Si $|\gamma| < 1$ l'image est plus petite que son objet

La vergence :

$$V = \frac{1}{f'} \text{ (son unité est la dioptrie } \delta \text{ ou } m^{-1} \text{)}$$

Si $V > 0$ Lentille convergente

Si $V < 0$ lentille divergente

Instruments

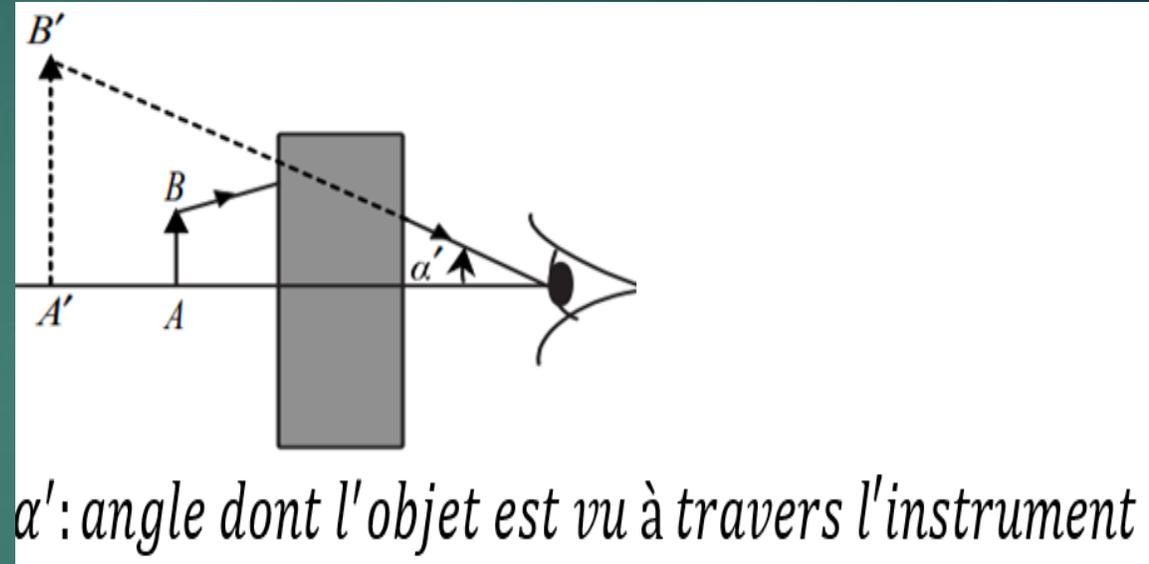
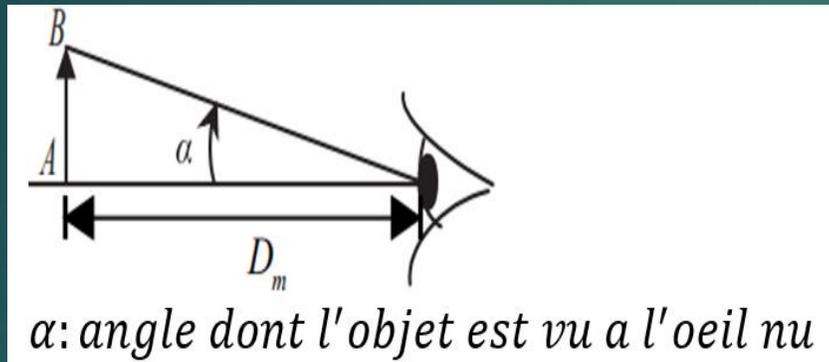
optiques

oculaires



- **Les appareils projectifs** : Ils donnent d'un objet réel ou virtuel, une image réelle que l'on recueille sur un écran. Par exemple l'œil,
- **Les appareils oculaires** : Ils donnent une image virtuelle que l'on observe à l'œil. Par exemple la loupe, le microscope, la lunette astronomique, le télescope.

Les instruments d'optique seront supposés parfaits et capable de grossir des objets de petites tailles. L'image obtenue sera vue sous un angle beaucoup plus grand ainsi sont déterminées les caractéristiques de l'instrument.



Le grossissement : $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$

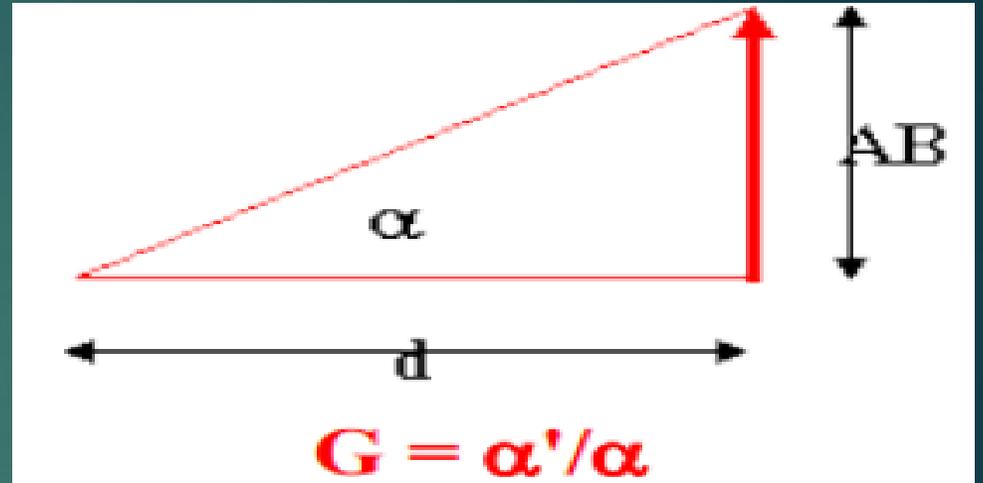
La puissance optique : $P = \frac{\alpha'}{\overline{AB}}$ (son unité est en dioptrie δ .)

Avec : $\left\{ \begin{array}{l} \alpha' : \text{angle sous lequel on voit l'objet à travers l'instrument} \\ \overline{AB} : \text{dimension linéaire de l'objet} \end{array} \right.$

La puissance dépend des conditions de vision. Si l'œil regarde à l'infini, la puissance prend le nom de puissance intrinsèque ou vergence.

$$P_i = \frac{1}{f'}$$

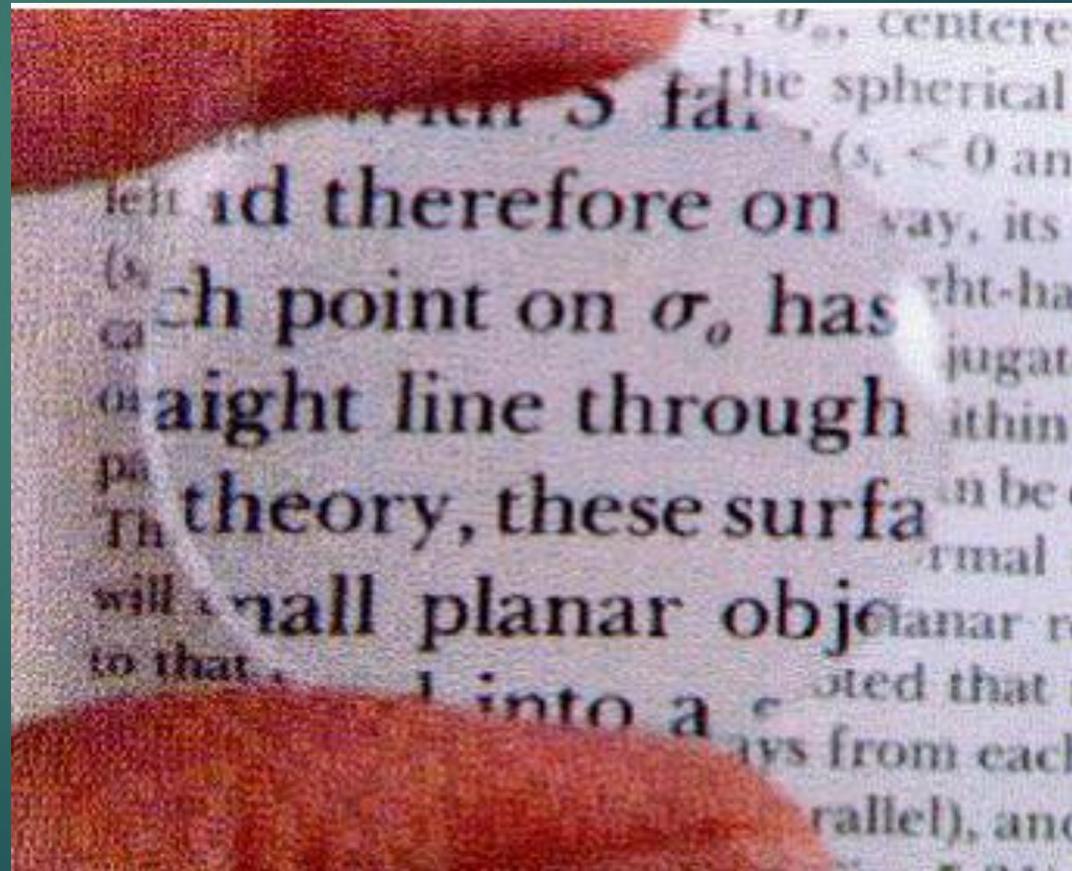
Le grossissement : $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ (sans dimension)



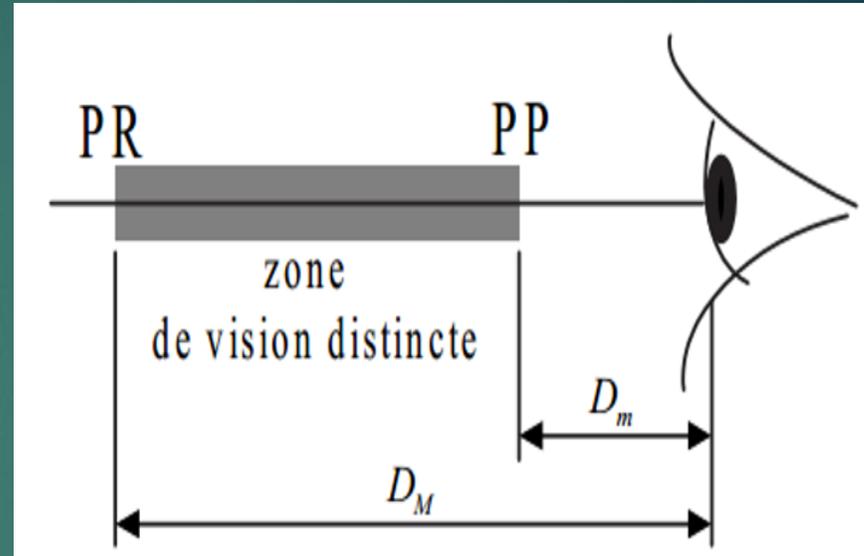
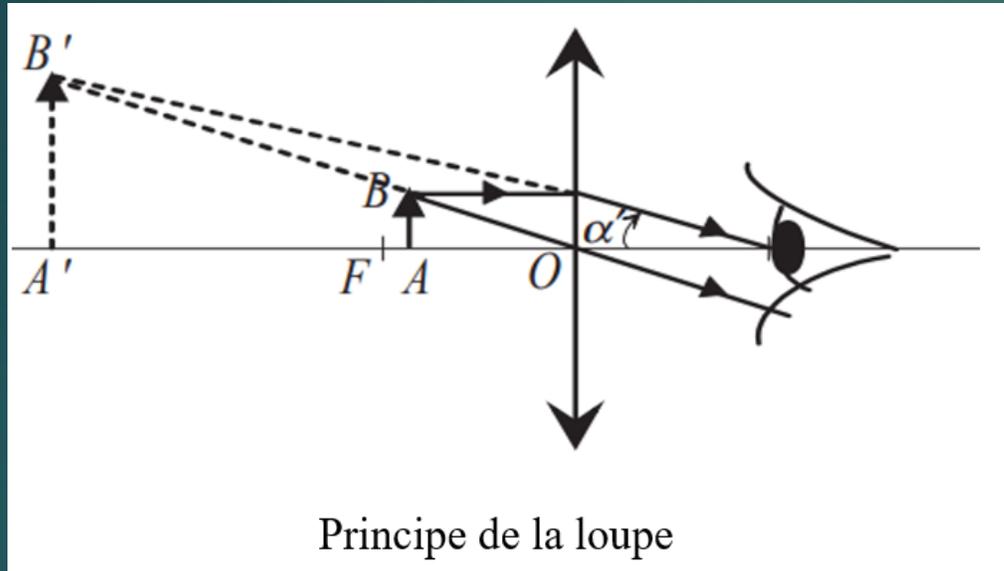
$\left\{ \begin{array}{l} \alpha: \text{angle dont l'objet est vu à l'oeil nu} \\ \alpha': \text{angle dont l'objet est vu à travers l'instrument} \end{array} \right.$

➤ La loupe :

La loupe est un instrument qui permet d'observer un objet sous un plus grand angle (en formant une image plus grande).



La loupe est une lentille convergente de faible distance focale (quelques cm). On place l'objet AB entre le plan focal objet et la lentille, de façon à en former une image virtuelle droite A'B', agrandie et située entre le PP et le PR de l'œil nu.



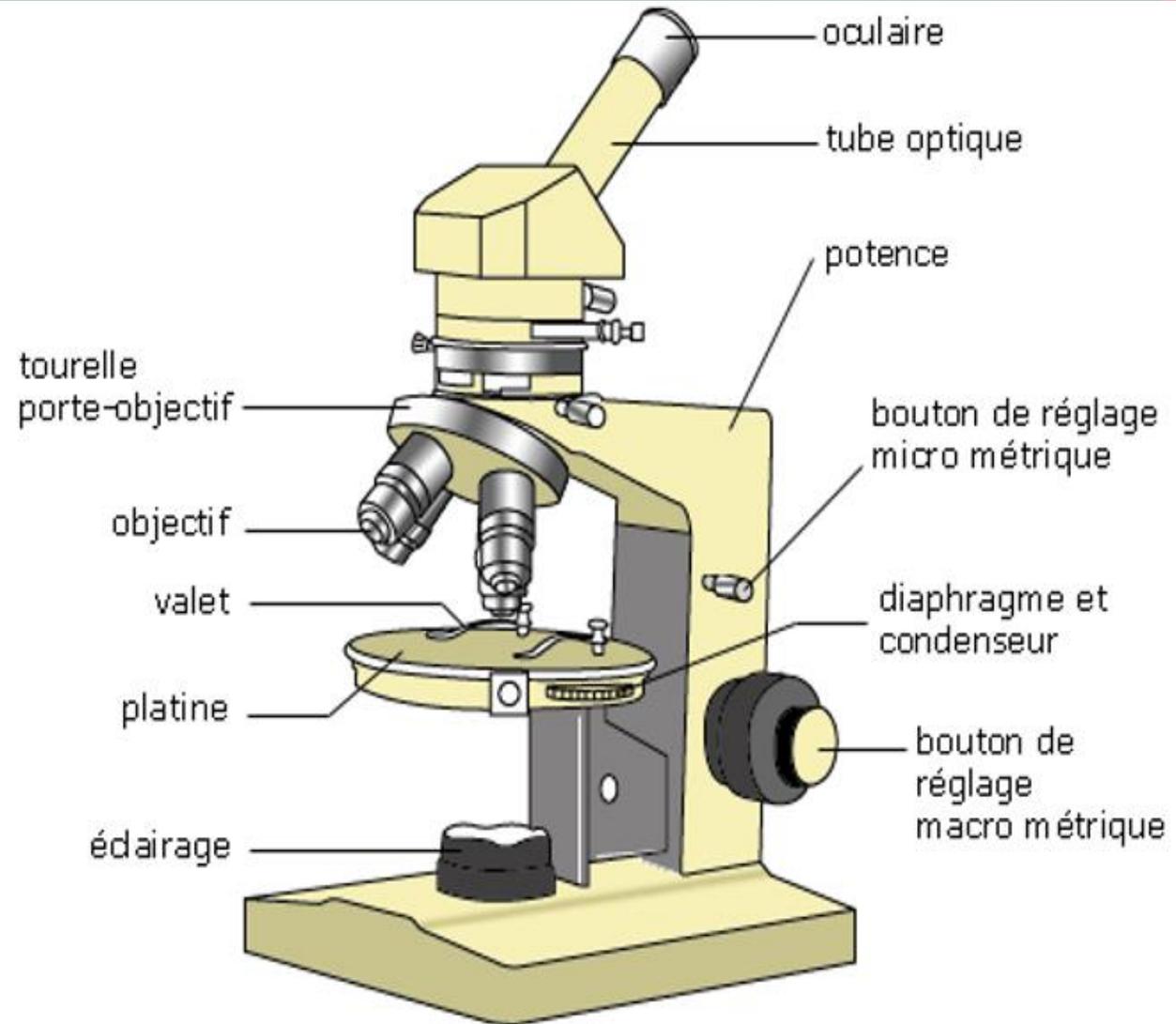
D_M appelée distance maximale de vision qui correspond au point PR (punctum rectum)

D_m appelée distance minimale de vision qui correspond au point PP (punctum proximum)

Pour un adulte $D_M = \infty$ et $D_m = 20\text{cm}$

➤ Le microscope :

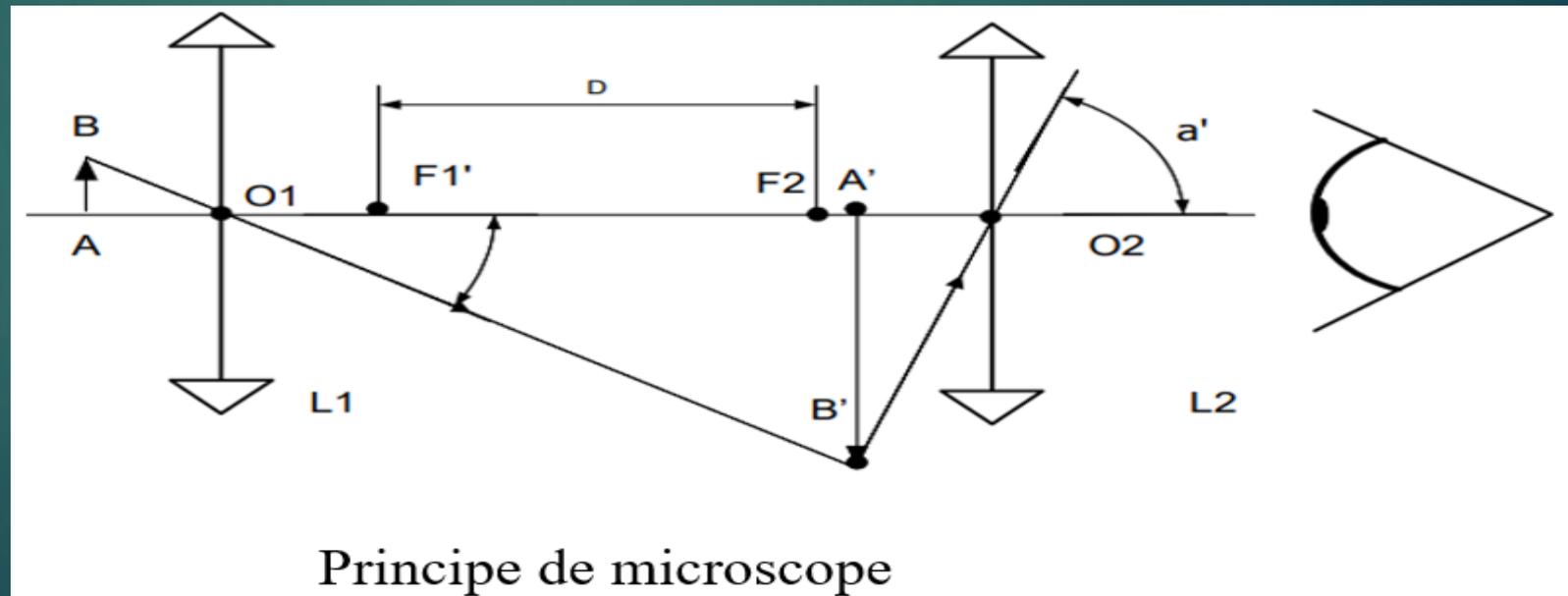
Le microscope est constitué de l'association de deux lentilles convergentes, L1 et L2.



Le microscope optique

La première étant appelée l'objectif, placé près de l'objet, possède un faible diamètre d'ouverture et une grande ouverture angulaire. Il donne de l'objet une image réelle très agrandie, renversée.

La dernière l'oculaire, derrière lequel se place l'œil. Il joue le rôle de loupe dans l'observation de l'image objective. L'image définitive sera donc virtuelle, renversée par rapport à l'objet. L'objectif et l'oculaire sont maintenus, à l'aide d'un support, à distance constante l'un de l'autre. La distance $F_2 F_1'$ est caractéristique de l'instrument.



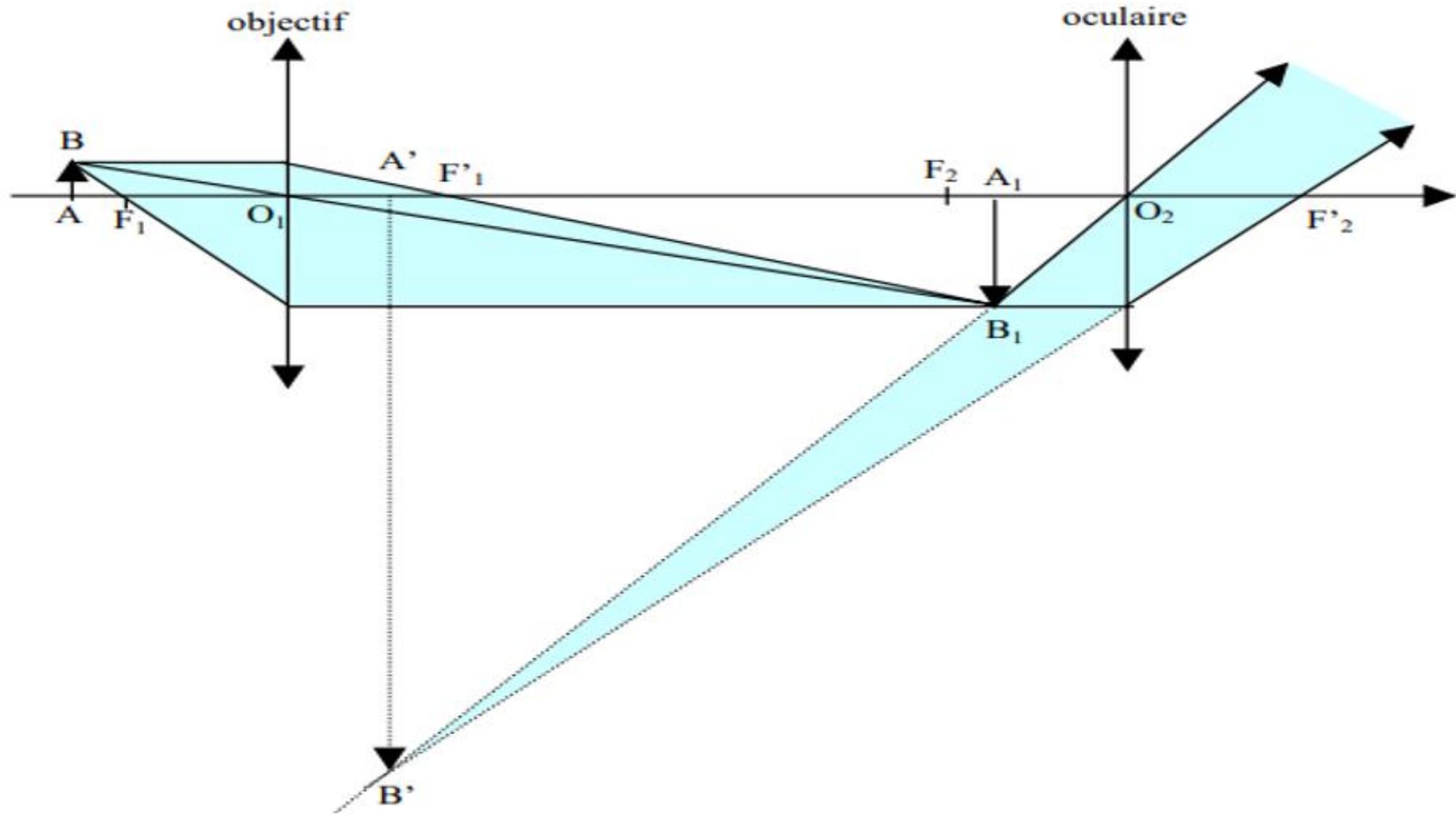


Image virtuelle, renversée et plus grande que son objet à travers le microscope

Application 1: Construction d'un microscope.

Soit un microscope composé de deux lentilles convergentes L_1 et L_2 .

Quelle est nom de chacune de ces lentilles?

Quel est le rôle de chacune de ces lentilles ?

Etant donné le rôle de la première lentille, comment doit-on placer l'objet AB par rapport à la première lentille (centrée en O_1) – autrement dit : comment doit être $\overline{O_1A}$ par rapport à $\overline{O_1F_1}$?

Solution:

1) L_1 est l'objectif L_2 est l'oculaire en suivant les conventions de gauche à droite de l'optique géométrique.

2) L_1 donne une image (réelle) de l'objet qui servira d'objet pour l'oculaire L_2 .

L_2 donne une image (virtuelle) qui sera aperçu par l'œil de l'observateur.

(De nos jours l'œil du « l'observateur » est souvent remplacé par une caméra CCD)

3) Afin de former une image réelle, AB doit être placé avant F_1 .

$\overline{O_1A}$ plus négatif que $\overline{O_1F_1}$ (autrement dit $\overline{O_1A} < 0$ et $|\overline{O_1A}| > |\overline{O_1F_1}|$)

Application 2: Grandissement d'un microscope

Un objet AB de 0.5 mm de hauteur placé à 4 mm devant l'objectif d'un microscope de distance focale 3 mm L'oculaire de distance focale 5 mm est à 16 mm de l'objectif donc à l'échelle 10

Solution:

O_{obj} : L'origine de L_{obj1} , $f'_{obj} = +3mm$ et $\overline{O_{obj}A} = -4mm$

O_{ocu} : L'origine de L_{ocu2} , $f'_{ocu} = +5mm$ et $\overline{O_{obj}O_{ocu}} = +16mm$

La relation de conjugaison : $\frac{1}{\overline{O_{obj}A'}} - \frac{1}{\overline{O_{obj}A}} = \frac{1}{f'}$

d'où $\overline{O_{obj}A'} = \frac{\overline{O_{obj}A} \cdot f'}{\overline{O_{obj}A} + f'} = 12mm > 0$ Image réelle

Le grandissement : $\gamma_{obj} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{O_{obj}A'}}{\overline{O_{obj}A}}$

$\gamma_{obj} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{12}{-4} = -3 < 0$ Image renversée, trois fois plus grande que son objet \overline{AB}

Cette image (réelle) obtenue de L_{obj1} servira d'objet pour l'oculaire L_{ocu2} .

$\overline{O_{obj}O_{ocu}} = +16mm$ or $\overline{O_{ocu}A'} = -(16 - 12) = -4mm$ cet objet se trouve entre O_{ocu} et le foyer f'_{ocu}

La relation de conjugaison : $\frac{1}{\overline{O_{ocu}A''}} - \frac{1}{\overline{O_{ocu}A'}} = \frac{1}{f_{ocu}'}$

d'où $\overline{O_{ocu}A''} = \frac{\overline{O_{ocu}A'} \cdot f_{ocu}'}{\overline{O_{ocu}A'} + f_{ocu}'} = -20mm < 0$ Image virtuelle

Le grandissement : $\gamma_{ocu} = \frac{\overline{A'B''}}{\overline{A'B'}} = \frac{\overline{O_{ocu}A''}}{\overline{O_{ocu}A'}}$

$\gamma_{ocu} = \frac{\overline{A'B''}}{\overline{A'B'}} = \frac{-20}{-4} = 5 > 0$ Image droite, cinq fois plus grande que son objet $\overline{A'B'}$

Finalement les grandissements des objectifs γ_{obj} et γ_{ocu} sont :

$\gamma_{obj} = -3$ et $\gamma_{ocu} = 5$

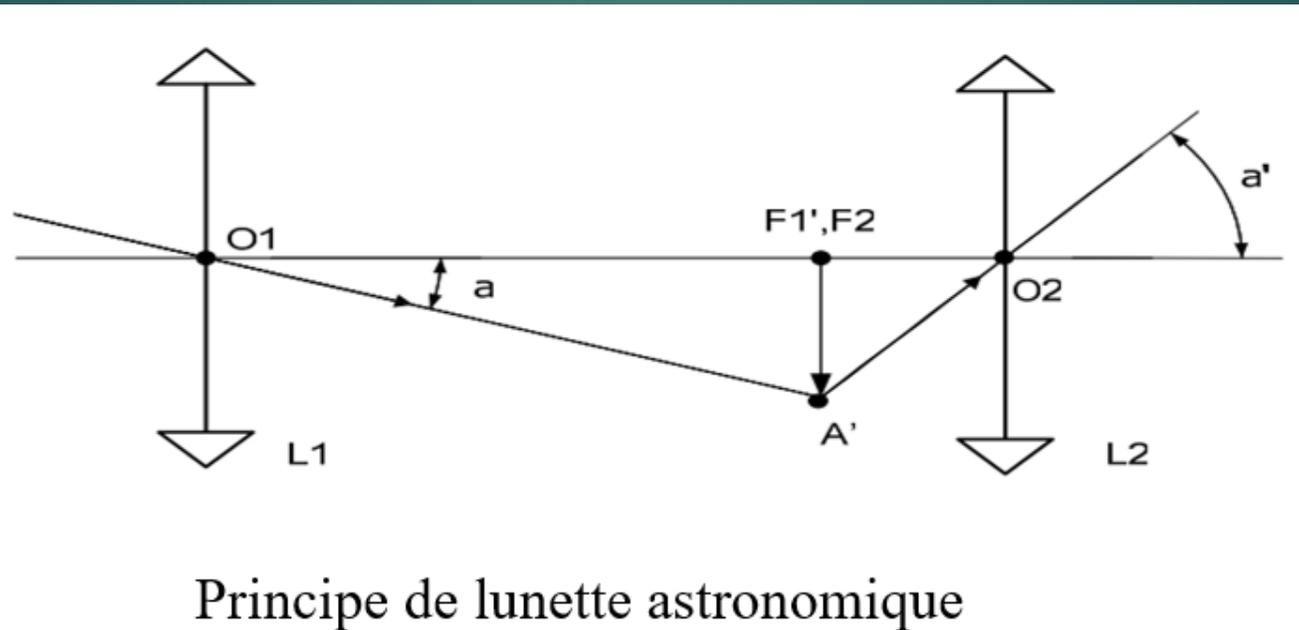
Lunette astronomique :

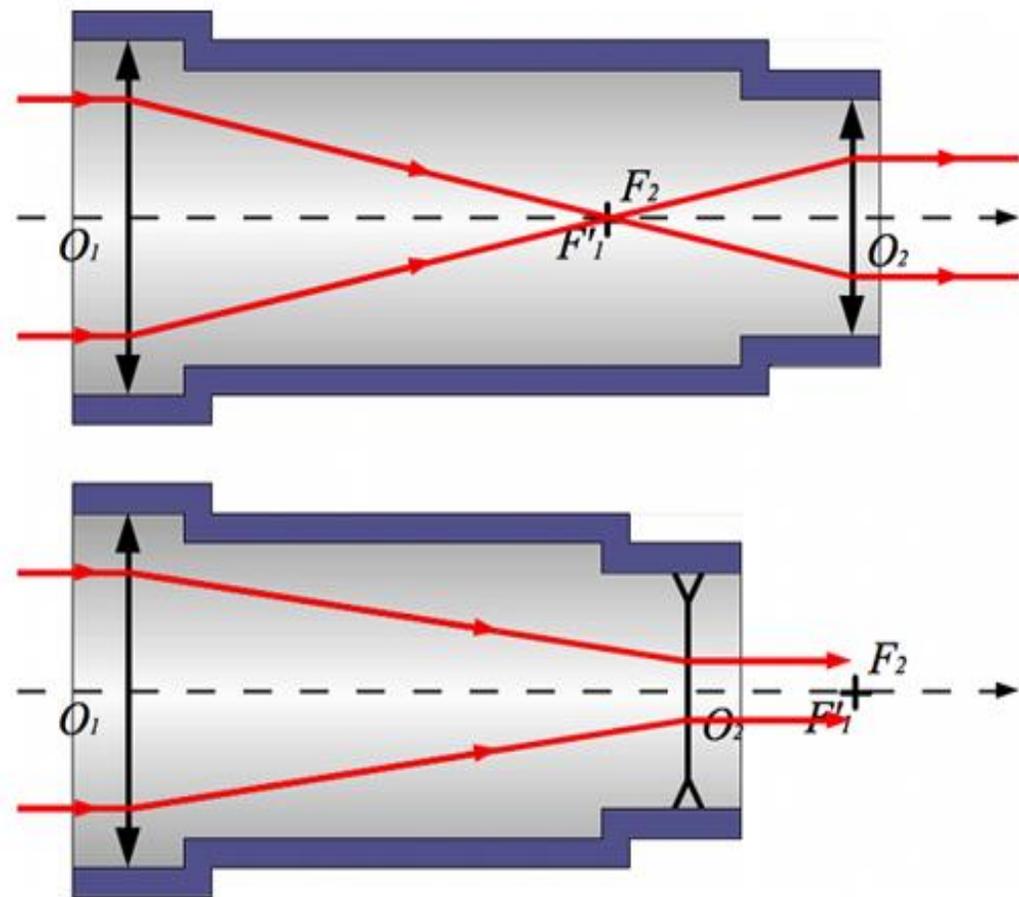
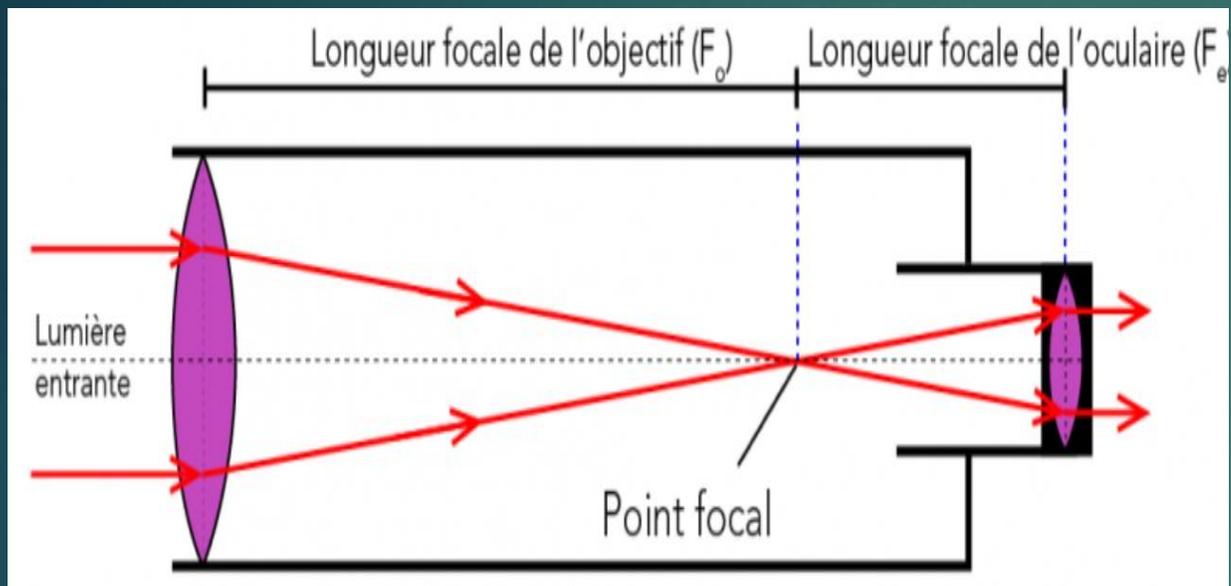
La lunette astronomique utilise la réfraction, d'où son autre nom de réfracteur qui nous permet d'observer les détails des objets situés à l'infini. Elle est construite de manière à maximiser d'une part le grossissement de manière à voir les détails des objets (typiquement des planètes) et d'autre part la clarté de l'instrument (autrement dit l'ouverture de l'objectif)



Galilée et sa lunette. Crédit : Christian Jégou/Observatoire de Paris/Découvertes Gallimard

Dans une lunette astronomique, la lumière entre dans le tube par l'objectif. La **lentille** de l'objectif est une **lentille convergente**. Elle fait converger la lumière. Les rayons lumineux convergent au point focal, où ils recommencent à diverger. Une deuxième lentille convergente, logée dans l'oculaire, capture la lumière convergente et la redresse. Cela agrandit l'image au point focal et permet sa mise au point. Une lunette astronomique a donc besoin d'une longue voie dégagée pour permettre aux rayons lumineux de se courber. L'un des inconvénients est que l'image finale apparaît inversée.





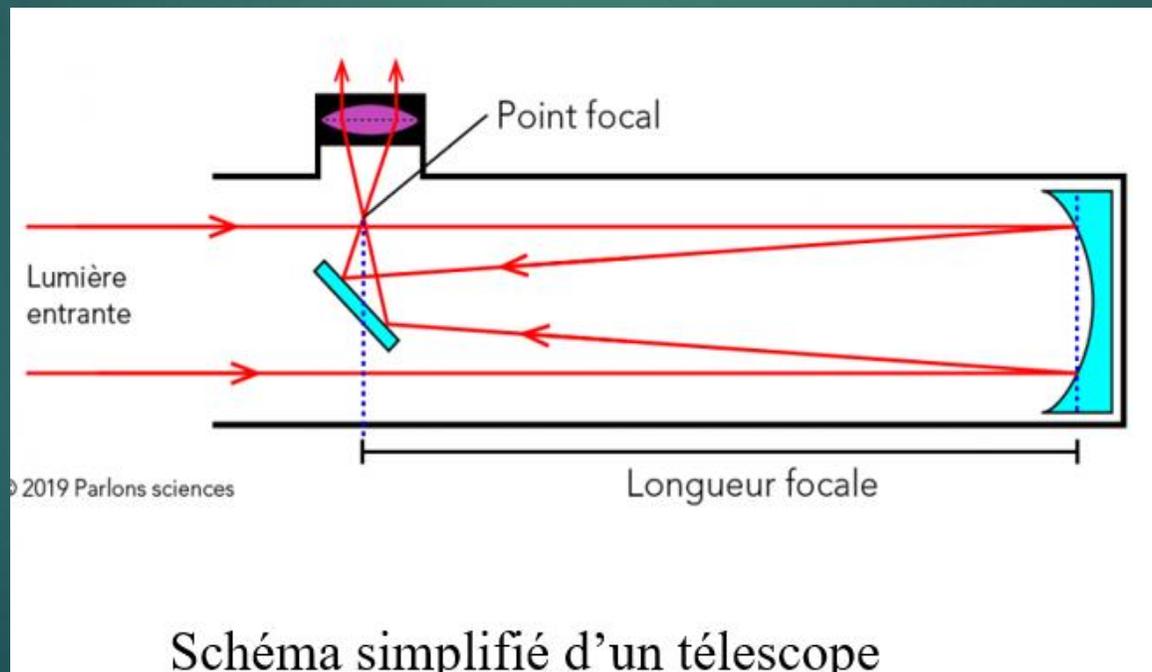
Schémas simplifiés de lunette astronomique

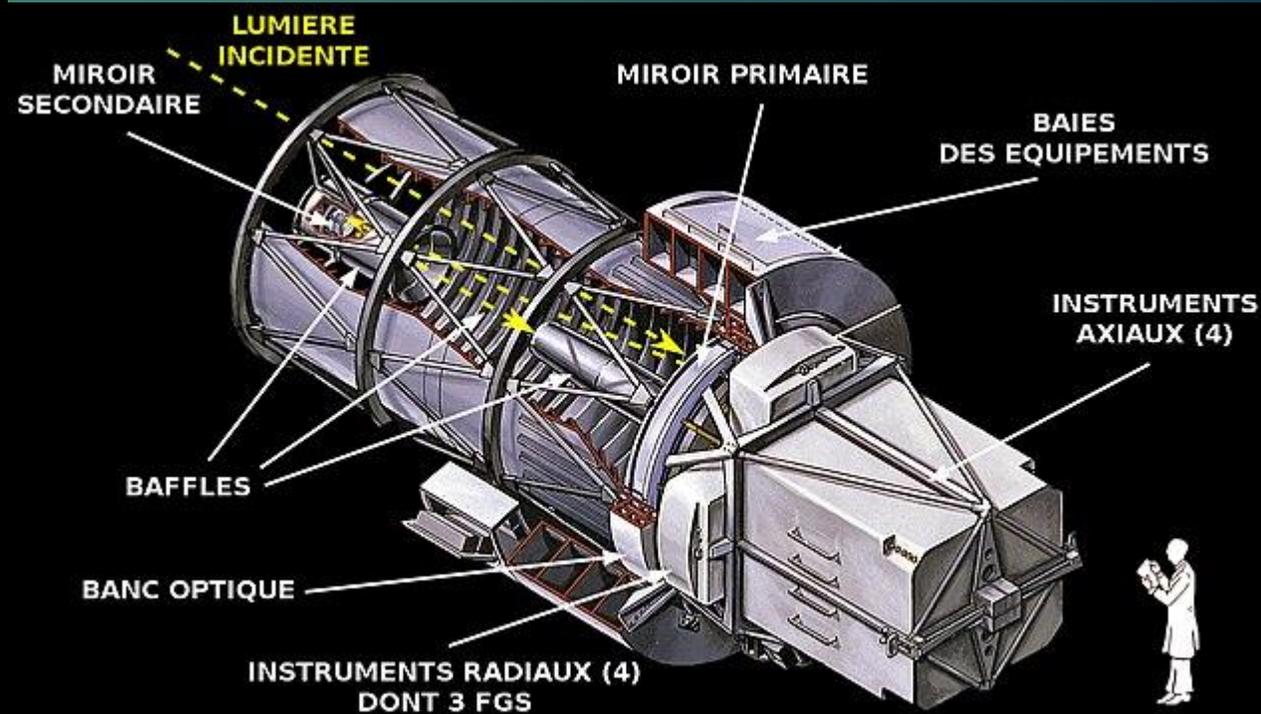
➤ Le télescope :

C'est un instrument analogue à la lunette astronomique utilise la réflexion, d'où son autre nom de réflecteur, servant à observer les astres, mais dans lequel les constituants de l'objectif ne sont plus des lentilles mais des miroirs, le miroir principal est concave et le miroir secondaire pouvant être plan, convexe ou concave.

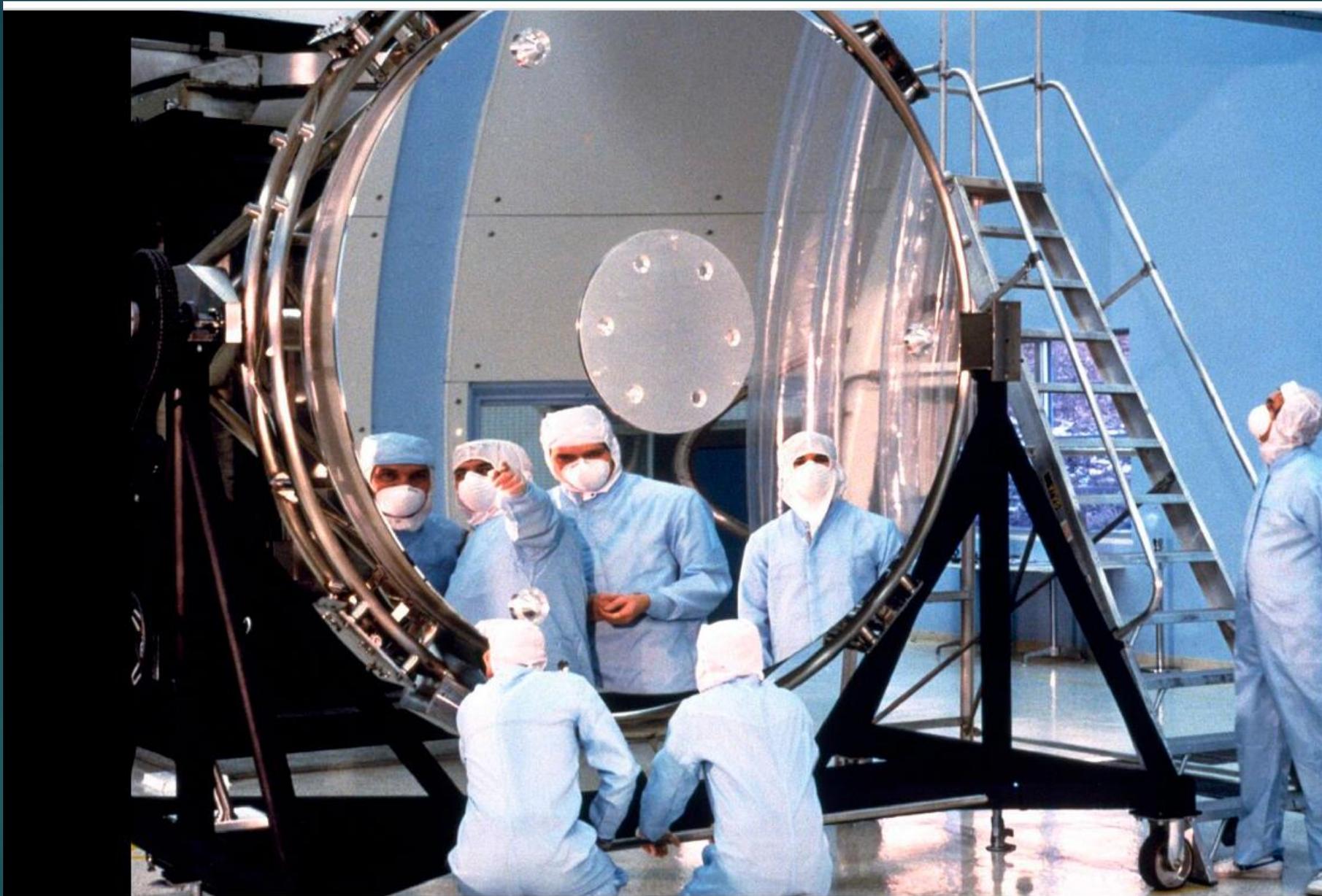
Les objets observés sont en général lointains (donc placés à l'infini) : lorsque la surface du télescope est parfaitement régulière (surface sphérique, parabolique ...etc.), l'observation des objets lointains s'effectue alors dans les conditions de stigmatisme. La seconde qualité d'un télescope réside donc dans la régularité de sa surface.

Dans un télescope, la lumière entre par l'extrémité qui se trouve en face du miroir primaire. Ce miroir est un miroir concave. À l'instar d'une lentille convexe, le miroir concave fait converger la lumière vers un miroir secondaire. Les rayons lumineux convergent au point focal, où ils recommencent à diverger. La lentille convexe qui se trouve dans l'oculaire capture la lumière convergente et la redresse. Comme pour la lunette astronomique, l'image est inversée. Elle apparaît comme une **image virtuelle** au-delà du télescope dans la direction vers laquelle la personne regarde.

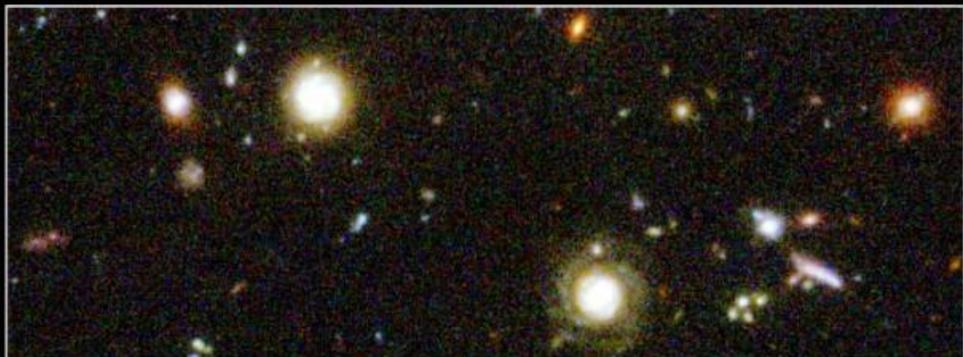
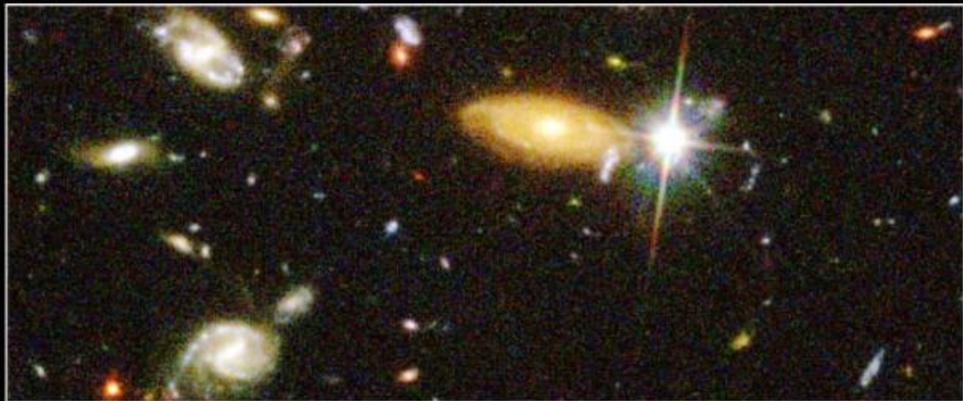
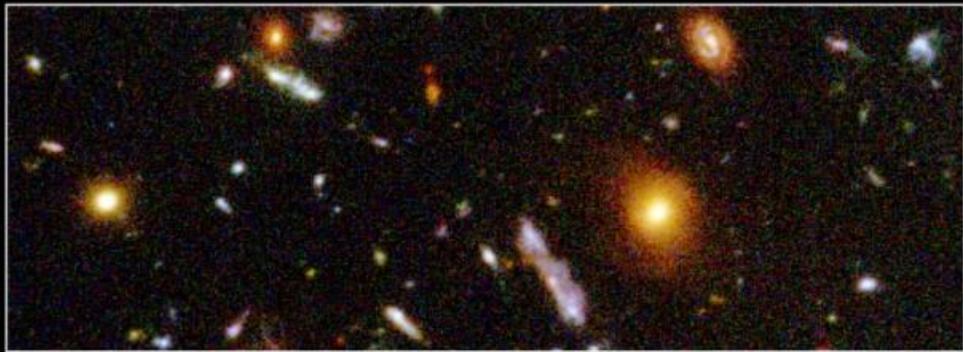




the Hubble Space Telescope as seen from the departing Space Shuttle *Atlantis*, flying STS-125, HST Servicing Mission 4.



miroir principal.



Hubble Deep Field Details HST · WFPC2
PRC96-01b · ST Scl OPO · January 15, 1996 · R. Williams (ST Scl), NASA



Merci pour votre
attention