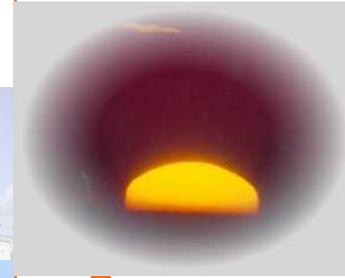


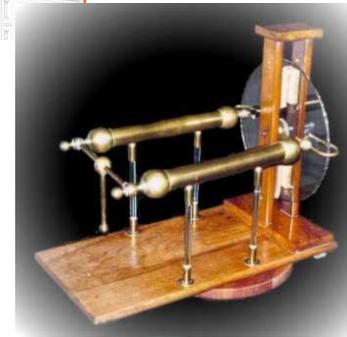


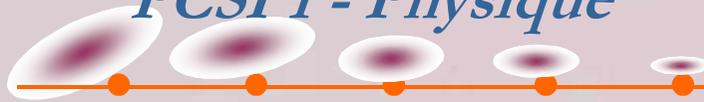
PCSI 1 (O.Granier)

Lycée
Clemenceau



Les lentilles minces (approximation de Gauss)

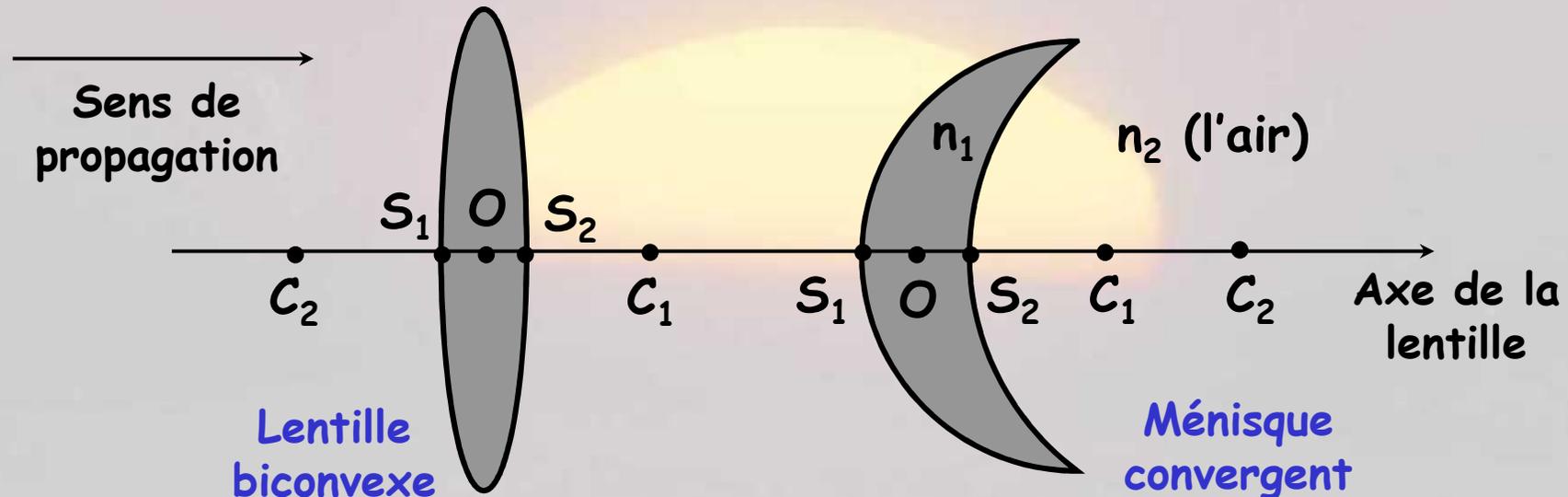




1 - Définitions, lentilles convergentes et divergentes :

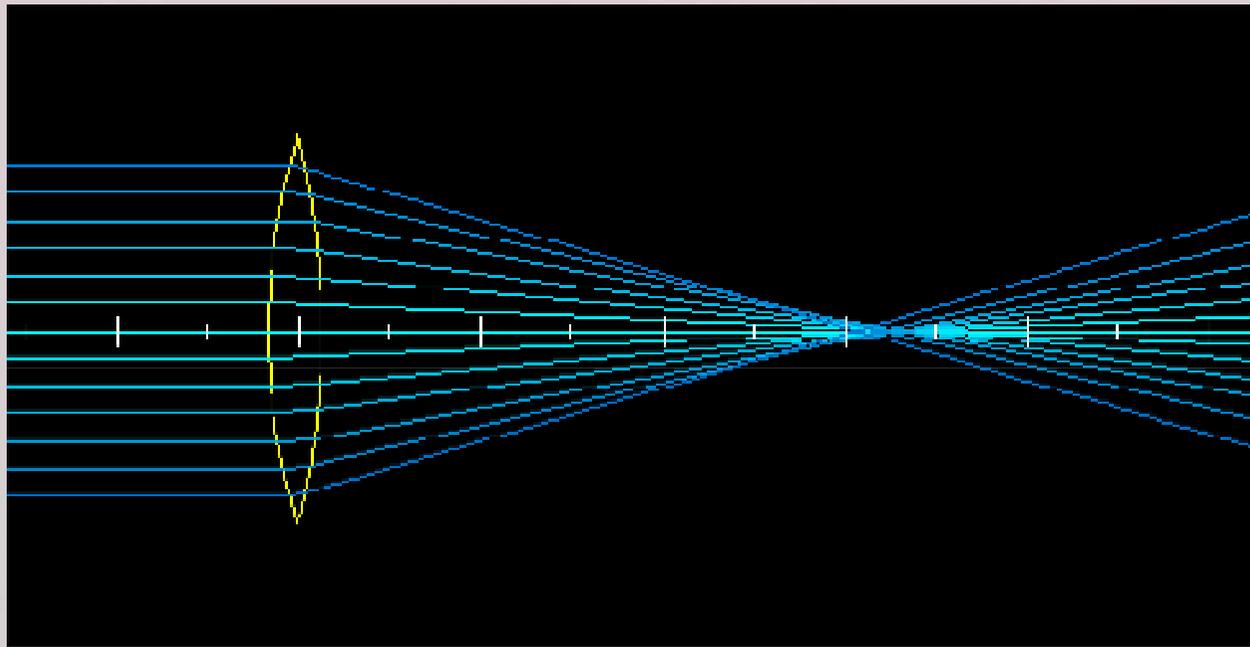
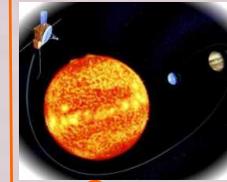
Dioptré sphérique : on appelle « dioptré sphérique » une surface sphérique de centre C et de sommet S , séparant un milieu d'indice n_1 d'un milieu d'indice n_2 .

Lentille mince : une lentille mince est formée par l'association de 2 dioptrés sphériques dont les sommets sont pratiquement confondus en un même point O , appelé centre optique de la lentille.



Lycée *Clemenceau*

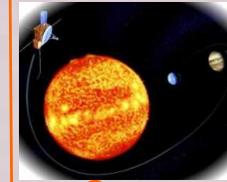
PCSI 1 - Physique



Animation Rousseau (Types de lentilles)

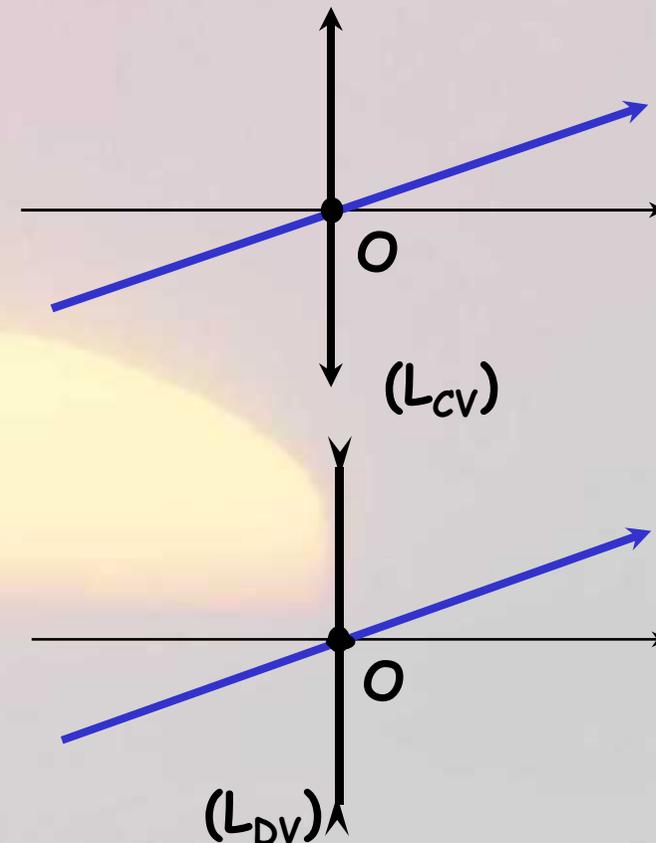
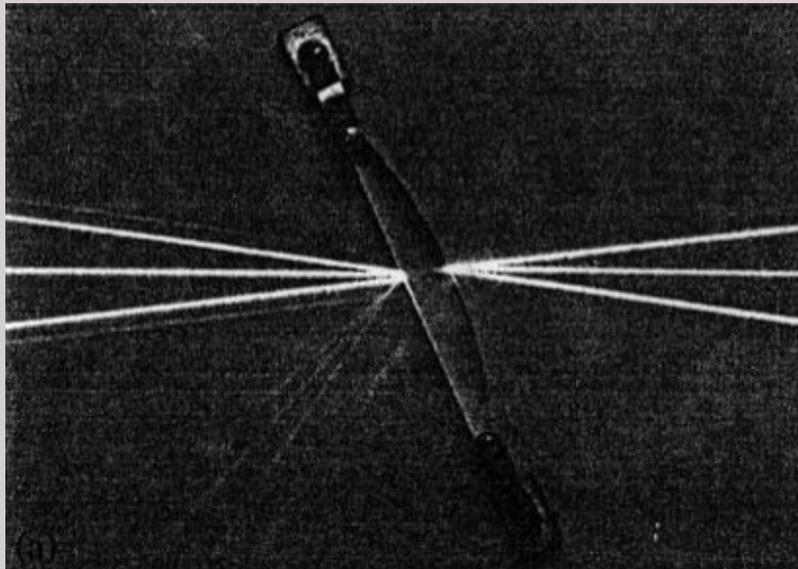
On admet que, dans les conditions de Gauss, les lentilles minces vérifient les conditions de **stigmatisme approché** et **d'aplanétisme approché**.

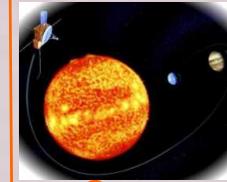




2 - Centre optique, foyers objet et image :

Centre optique O : un rayon lumineux passant par le centre optique O d'une lentille n'est pas dévié.

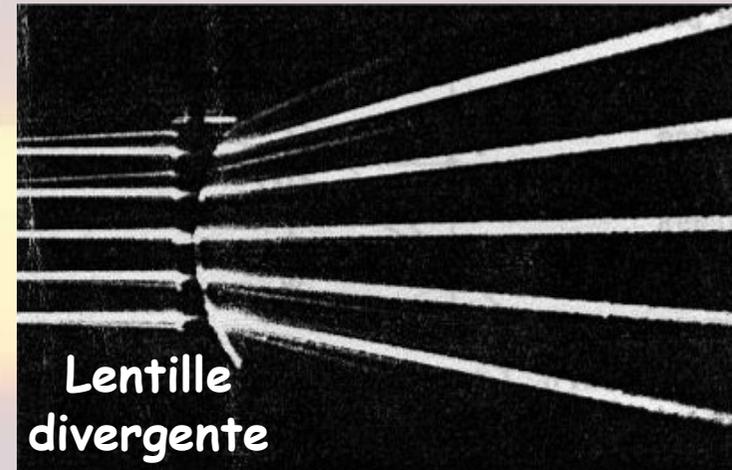
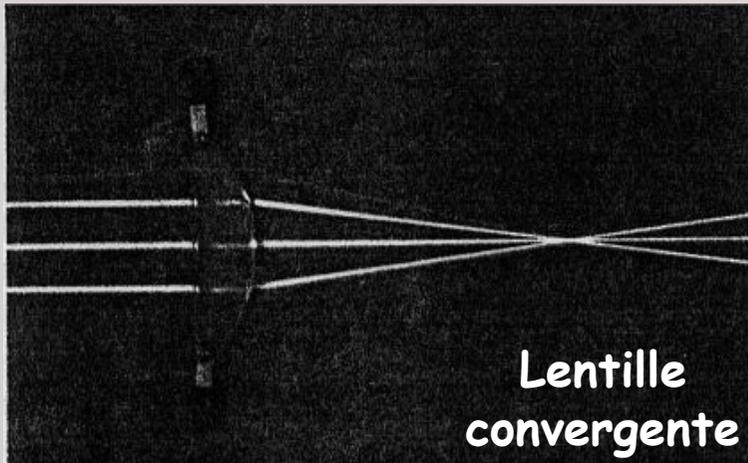




Foyer image F' : Un faisceau de lumière parallèle à l'axe optique converge en un point de l'axe optique, appelé « foyer image » et noté F' .

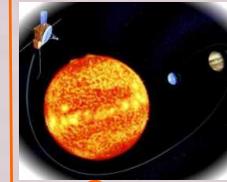
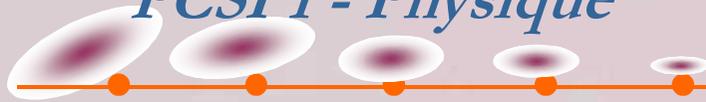
$f' = \overline{OF'}$ est appelée distance focale image de la lentille.

Son inverse $V' = 1/f'$ est la vergence image de la lentille exprimée en dioptrie, ($\delta = \text{m}^{-1}$).



Animation Cabri

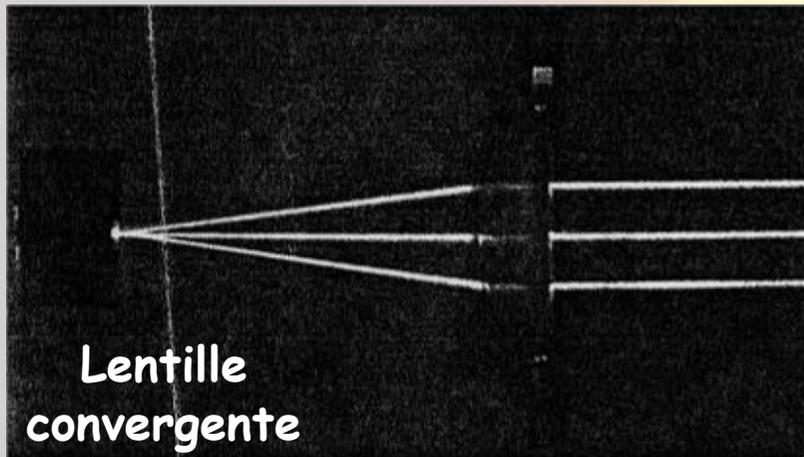
(Foyer image)



Foyer objet F : Un faisceau de lumière divergent à partir d'un point situé sur l'axe F (appelé « foyer objet ») ressort de la lentille parallèle à son axe. Les deux foyers F et F' sont symétriques par rapport au centre O de la lentille.

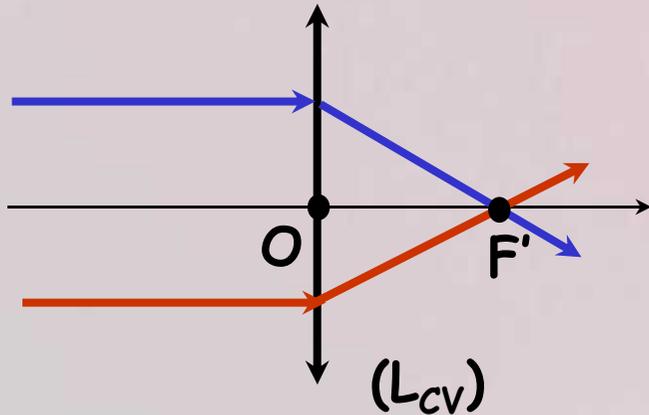
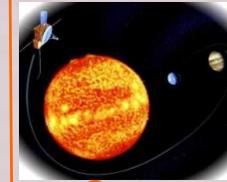
$f = \overline{OF} = -f'$ est appelée distance focale objet de la lentille.

Son inverse $V = 1/f$ est la vergence objet de la lentille exprimée en dioptrie, $\delta = m^{-1}$).

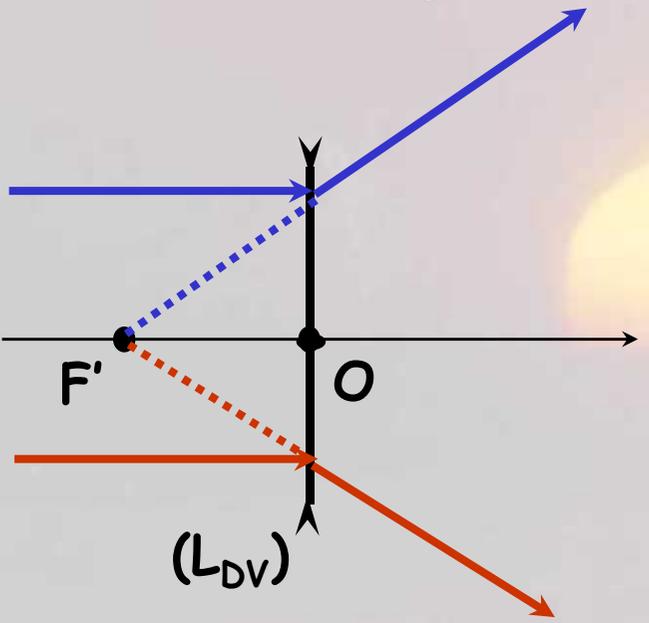
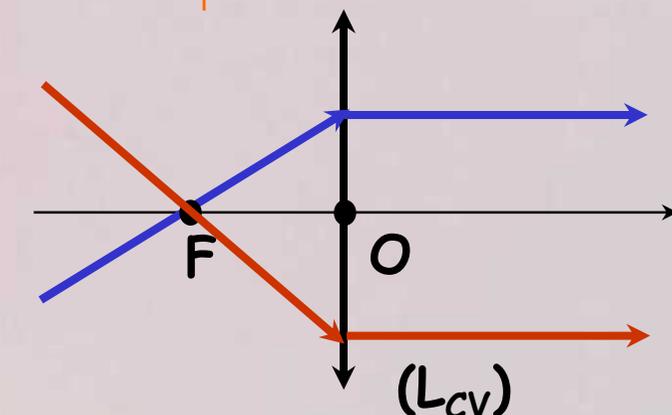


Lycée Clemenceau

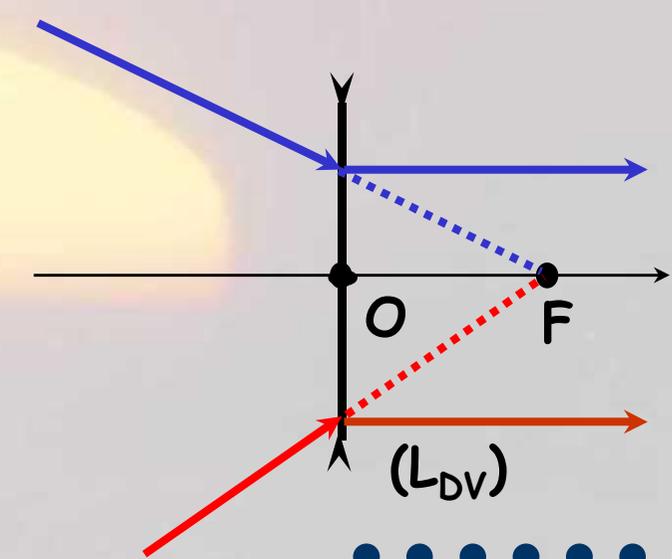
PCSI 1 - Physique



F et F' sont réels
 $f' > 0$

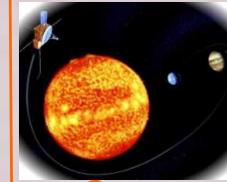
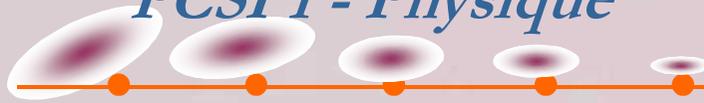


F et F' sont virtuels
 $f' < 0$

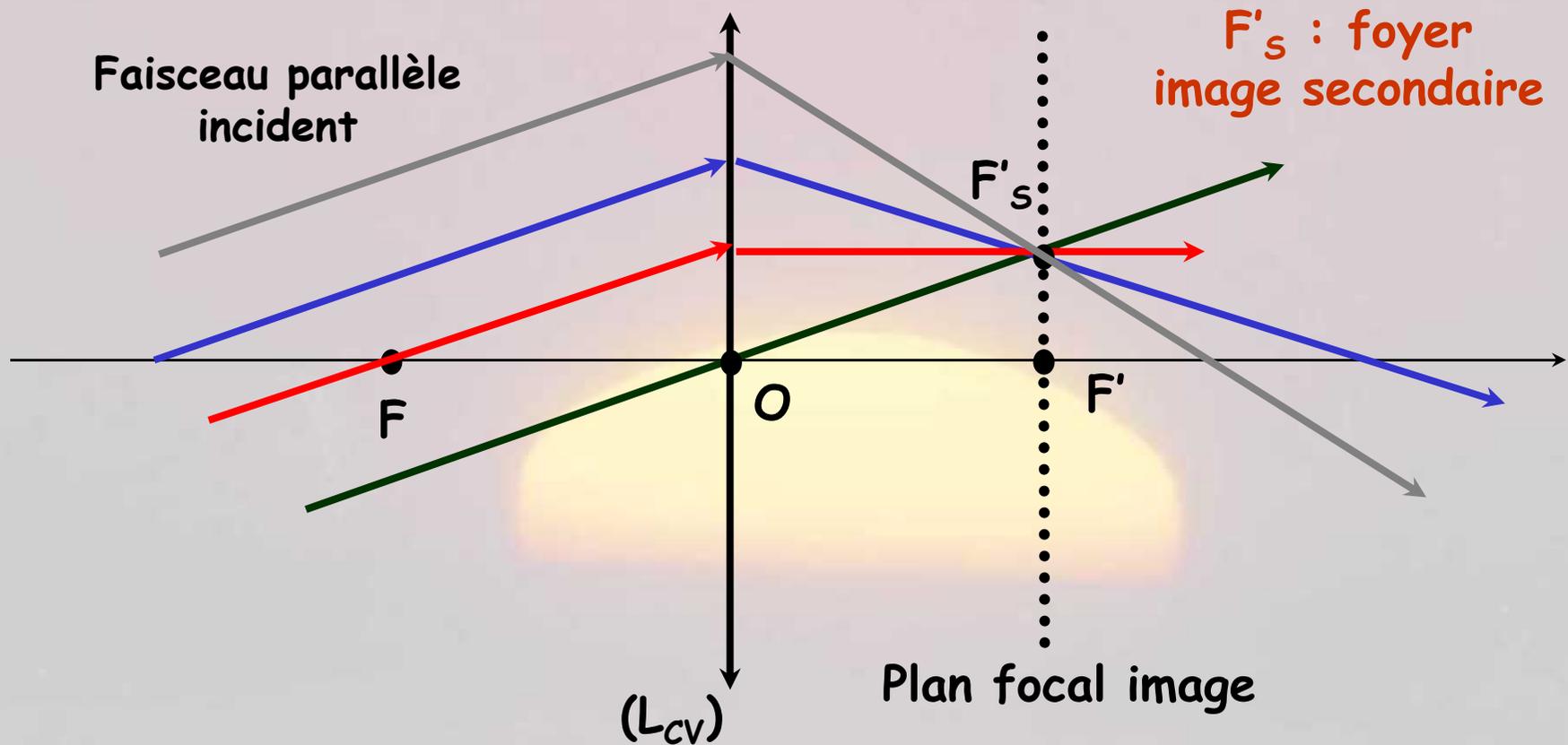


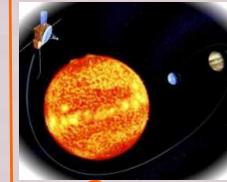
Lycée *Clemenceau*

PCSI 1 - Physique

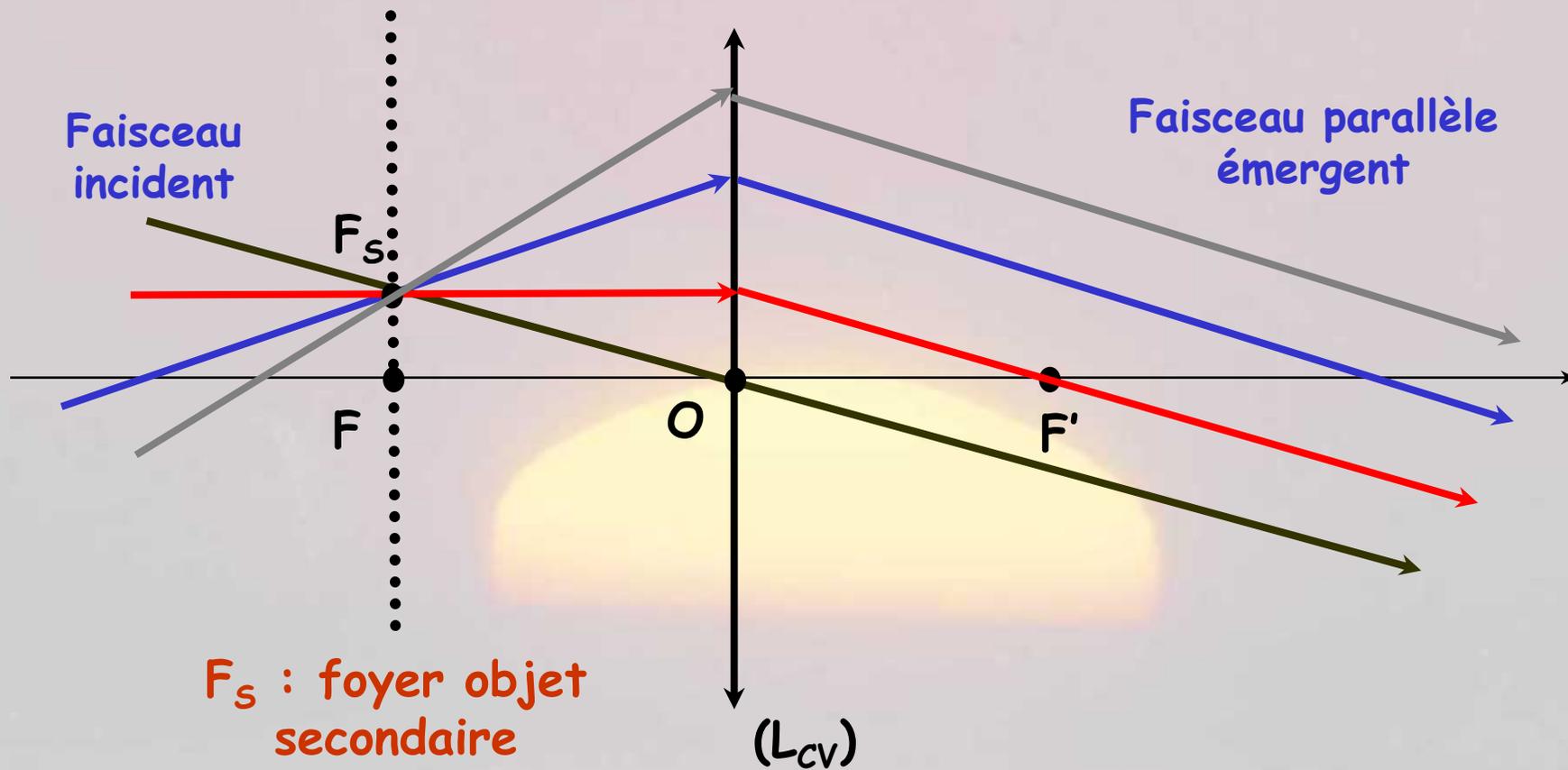


Propriétés des plans focaux (objet et image, lentille convergente) :





Plan focal objet

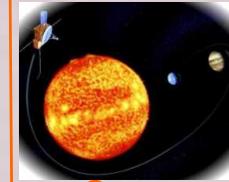
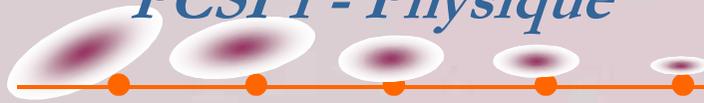


F_s : foyer objet secondaire

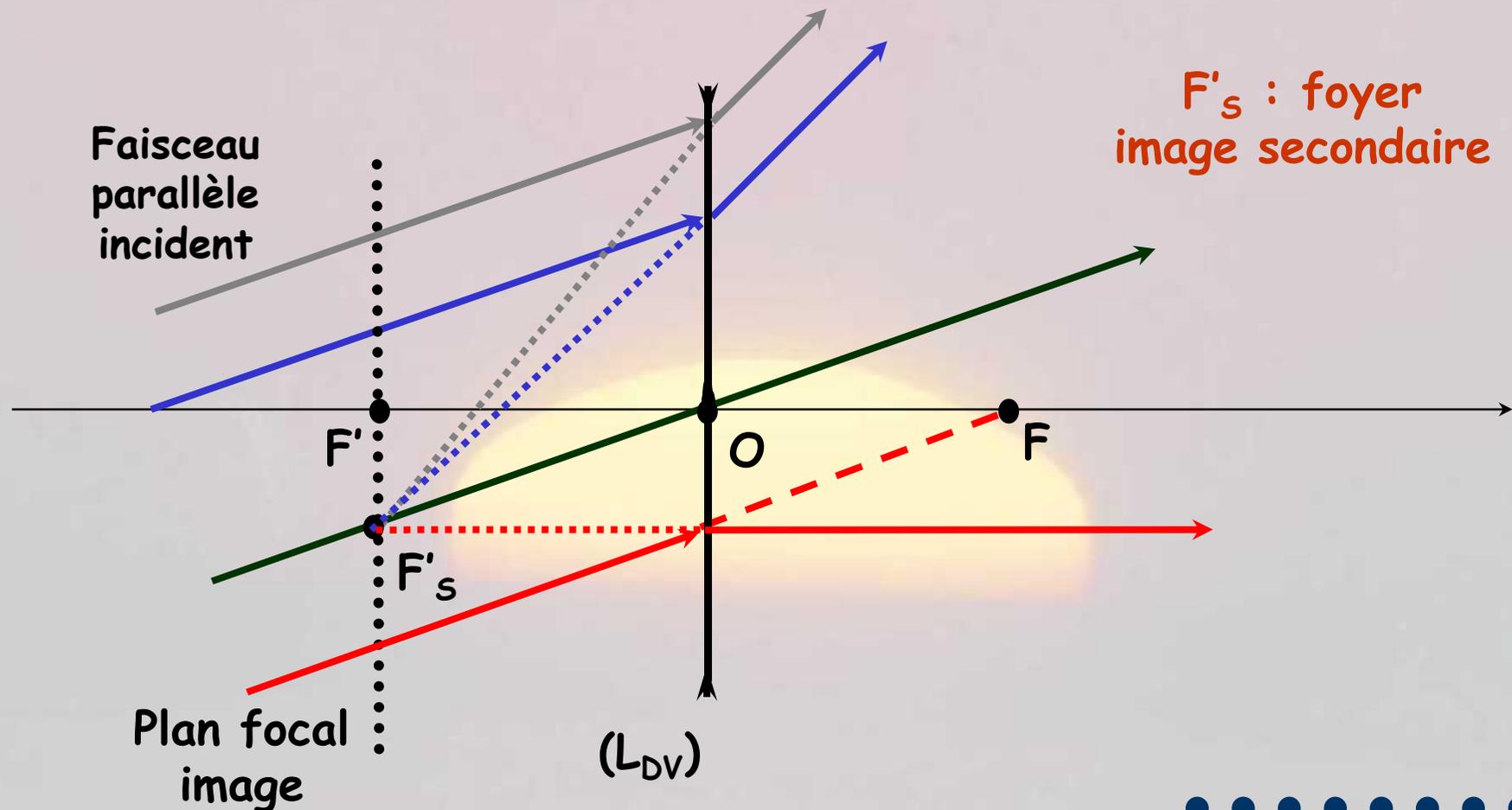


Lycée *Clemenceau*

PCSI 1 - Physique

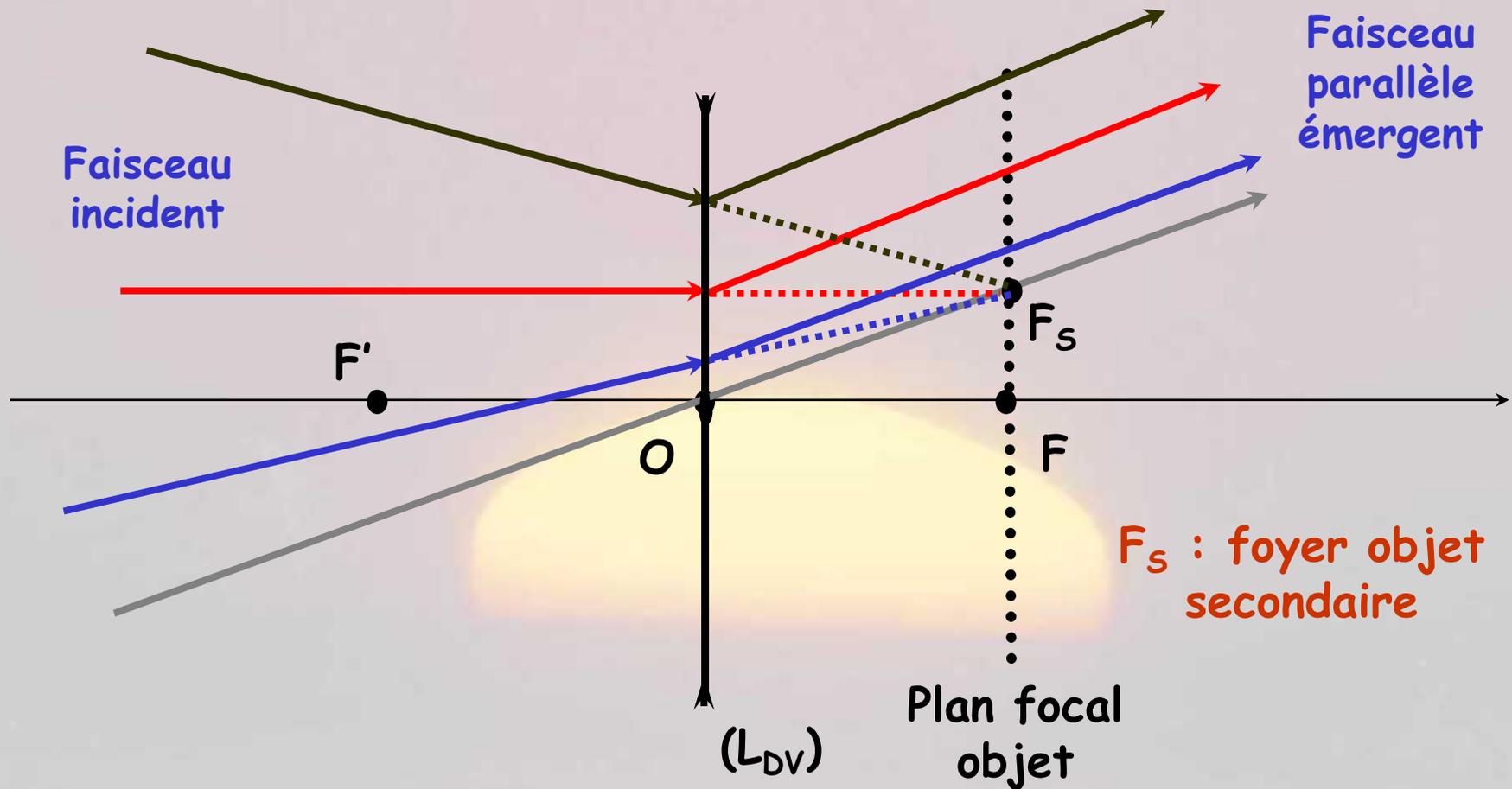
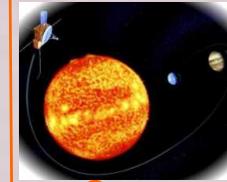


Propriétés des plans focaux (objet et image, lentille divergente) :



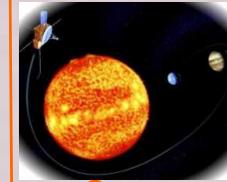
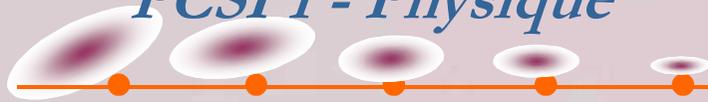
Lycée *Clemenceau*

PCSI 1 - Physique



Lycée **Clemenceau**

PCSI 1 - Physique



3 - Constructions d'images par des lentilles minces :

Animation Cabri

(Stigmatisme et lentille
plan-convexe)

Animation Cabri

(Stigmatisme du
dioptre sphérique)

Animation Cabri

(Stigmatisme et lentille
bi-convexe)

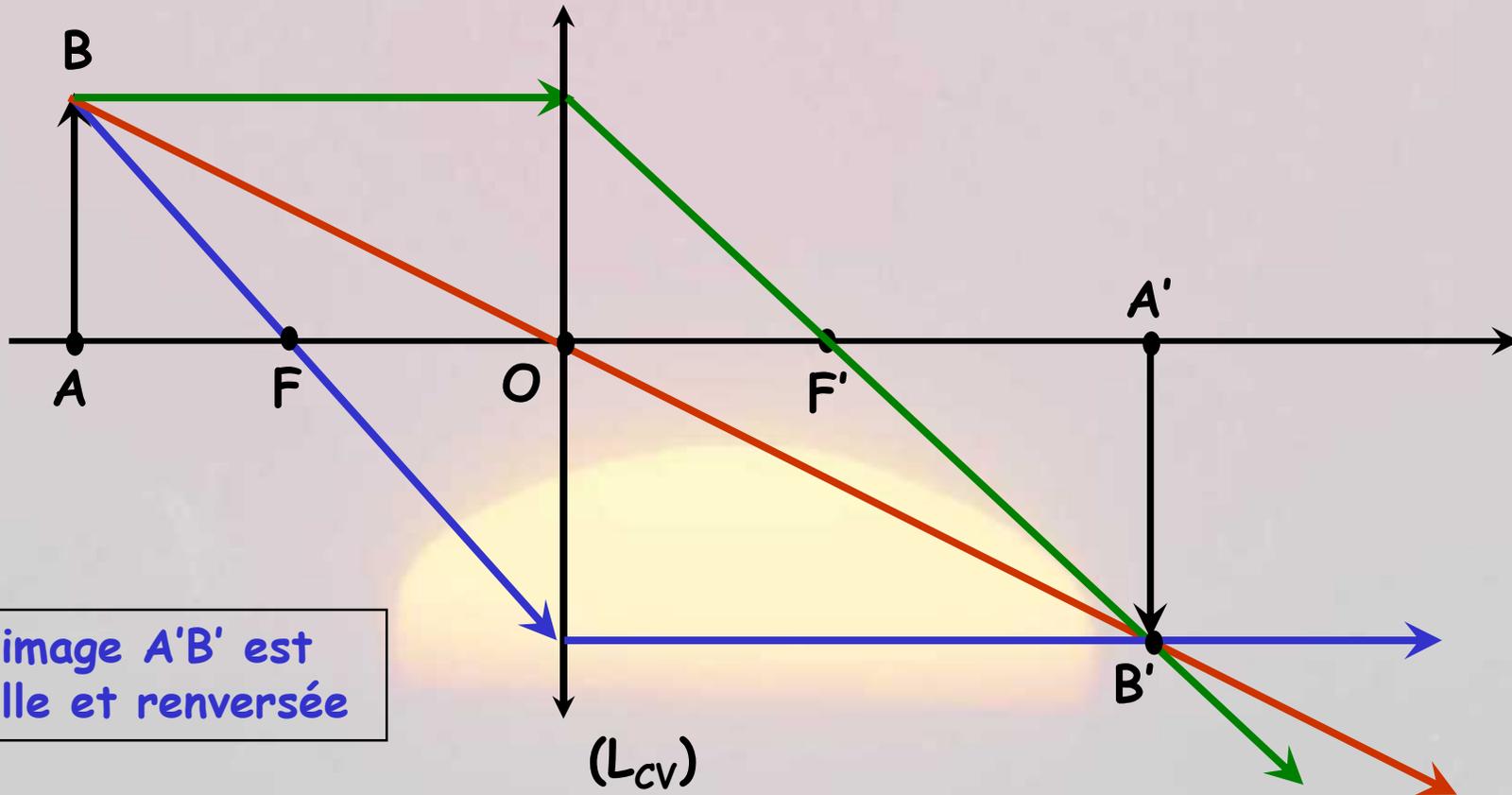
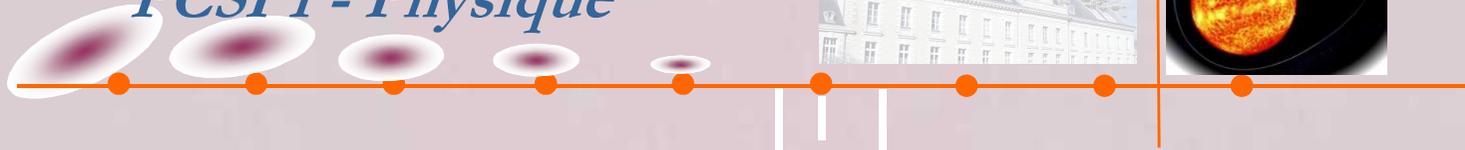
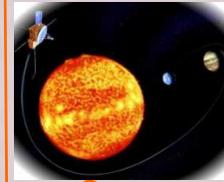
Animation Rousseau

(Constructions d'images)

Animation Cabri

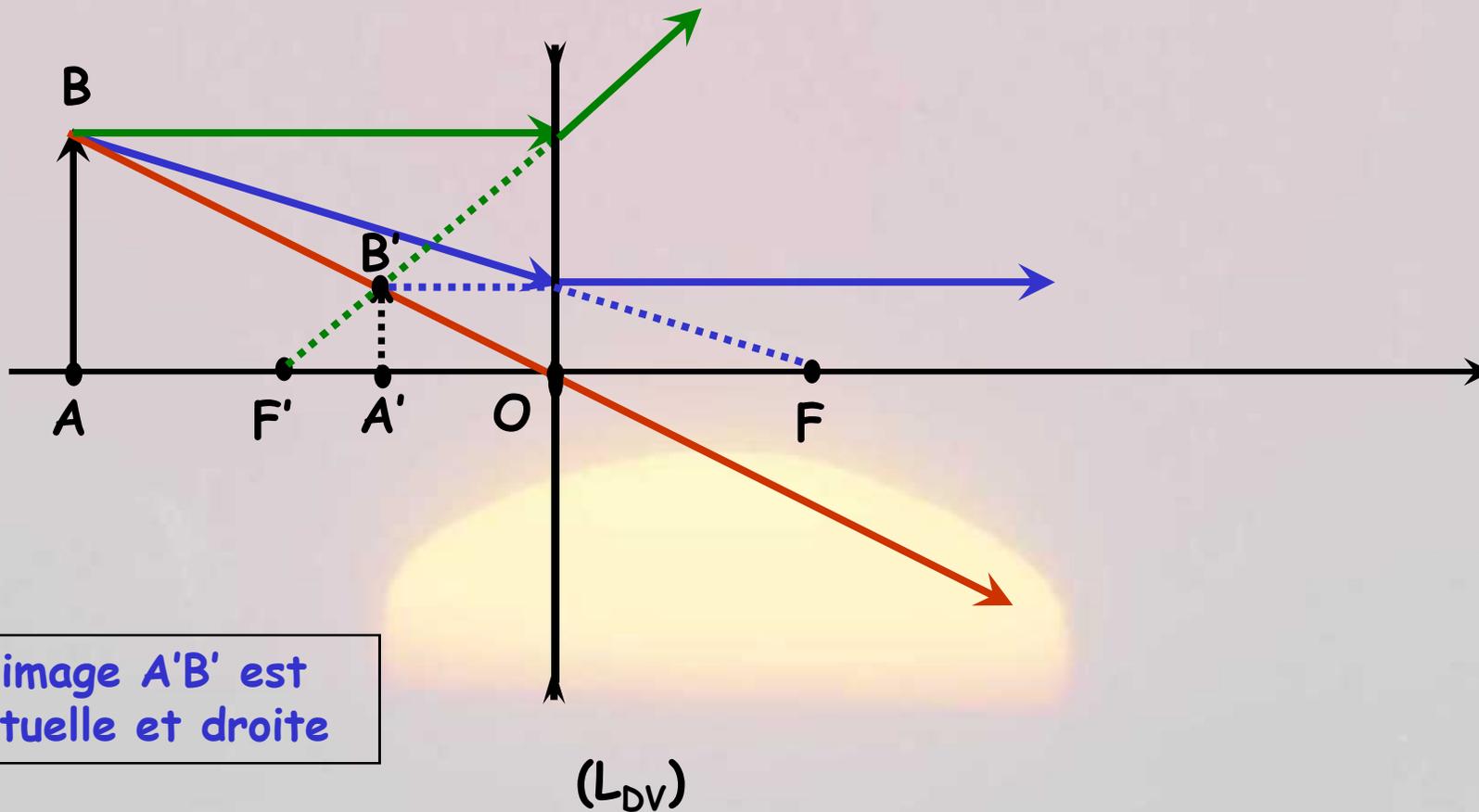
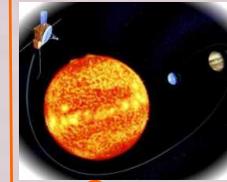
(Constructions d'images)





L'image $A'B'$ est réelle et renversée



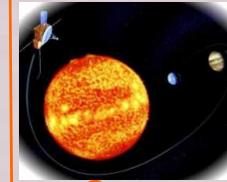
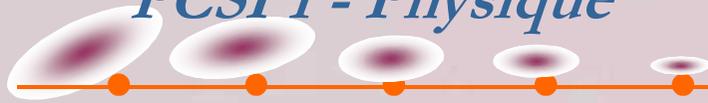


L'image $A'B'$ est virtuelle et droite

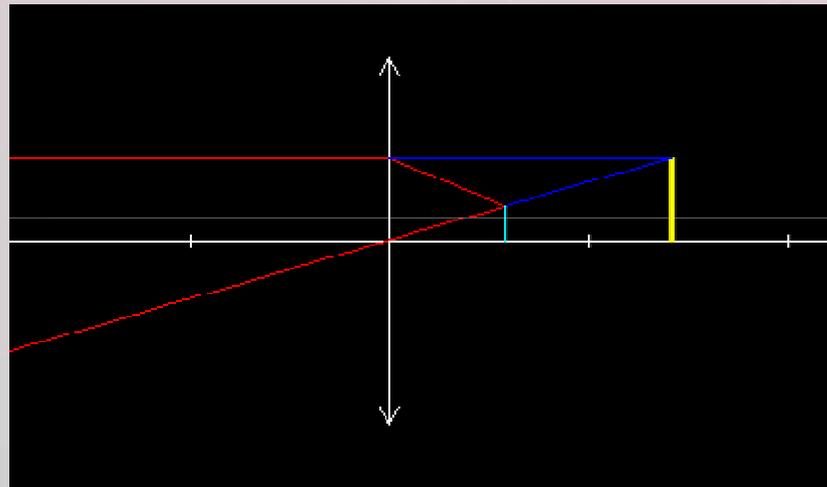


Lycée *Clemenceau*

PCSI 1 - Physique

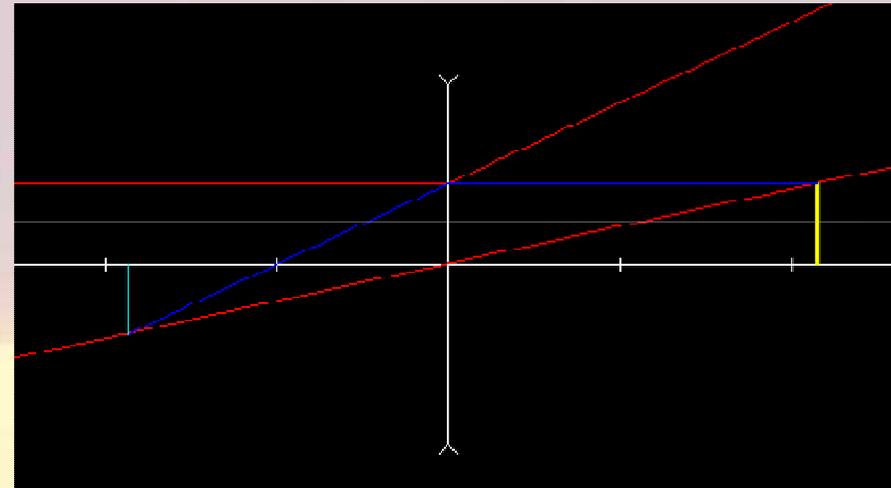


Animation Rousseau (Constructions d'images)



Objet virtuel

Image réelle



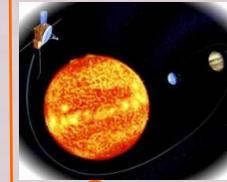
Objet virtuel

Image virtuelle

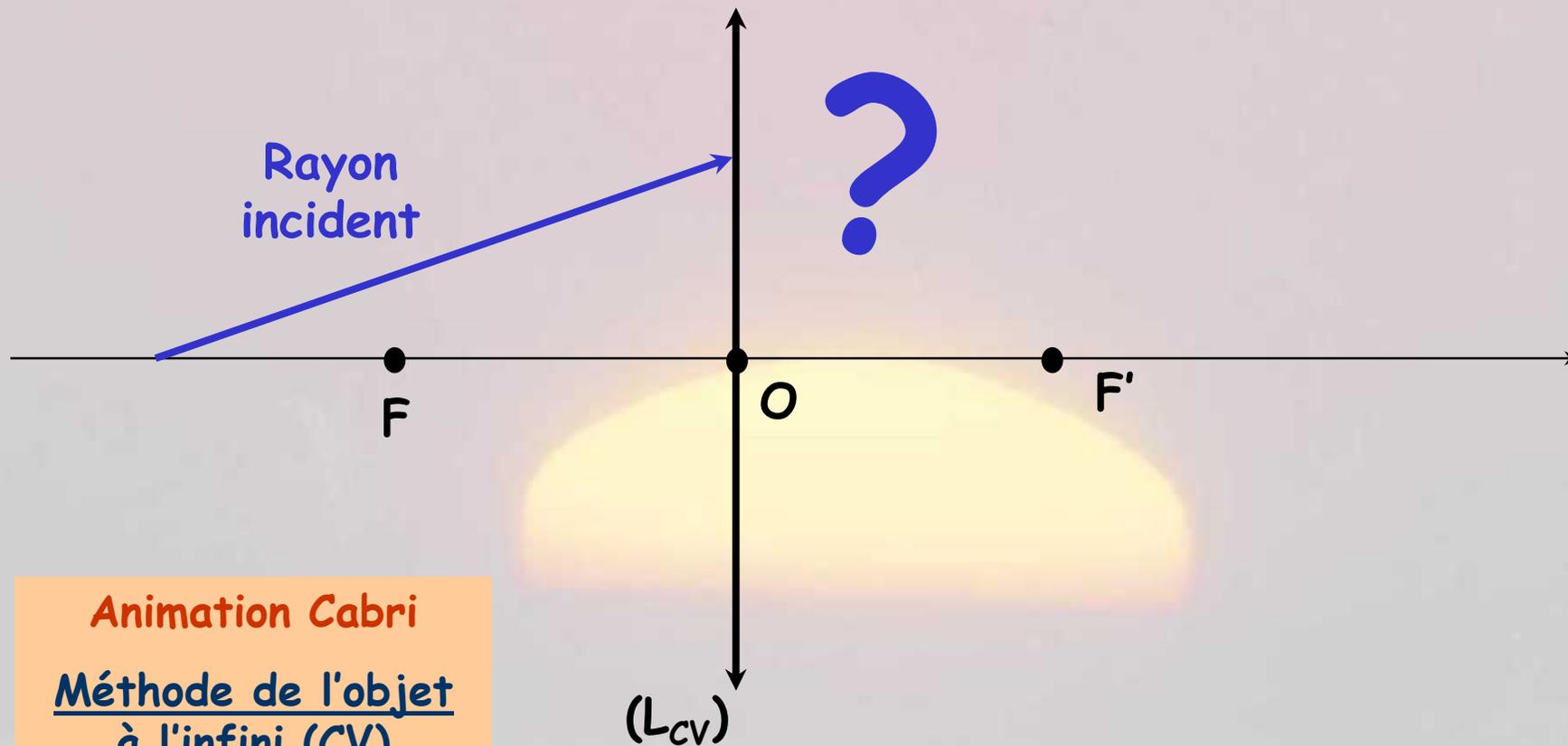


Lycée **Clemenceau**

PCSI 1 - Physique



Application : cheminement d'un rayon à travers une lentille



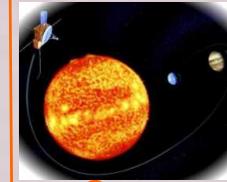
Animation Cabri

Méthode de l'objet
à l'infini (CV)

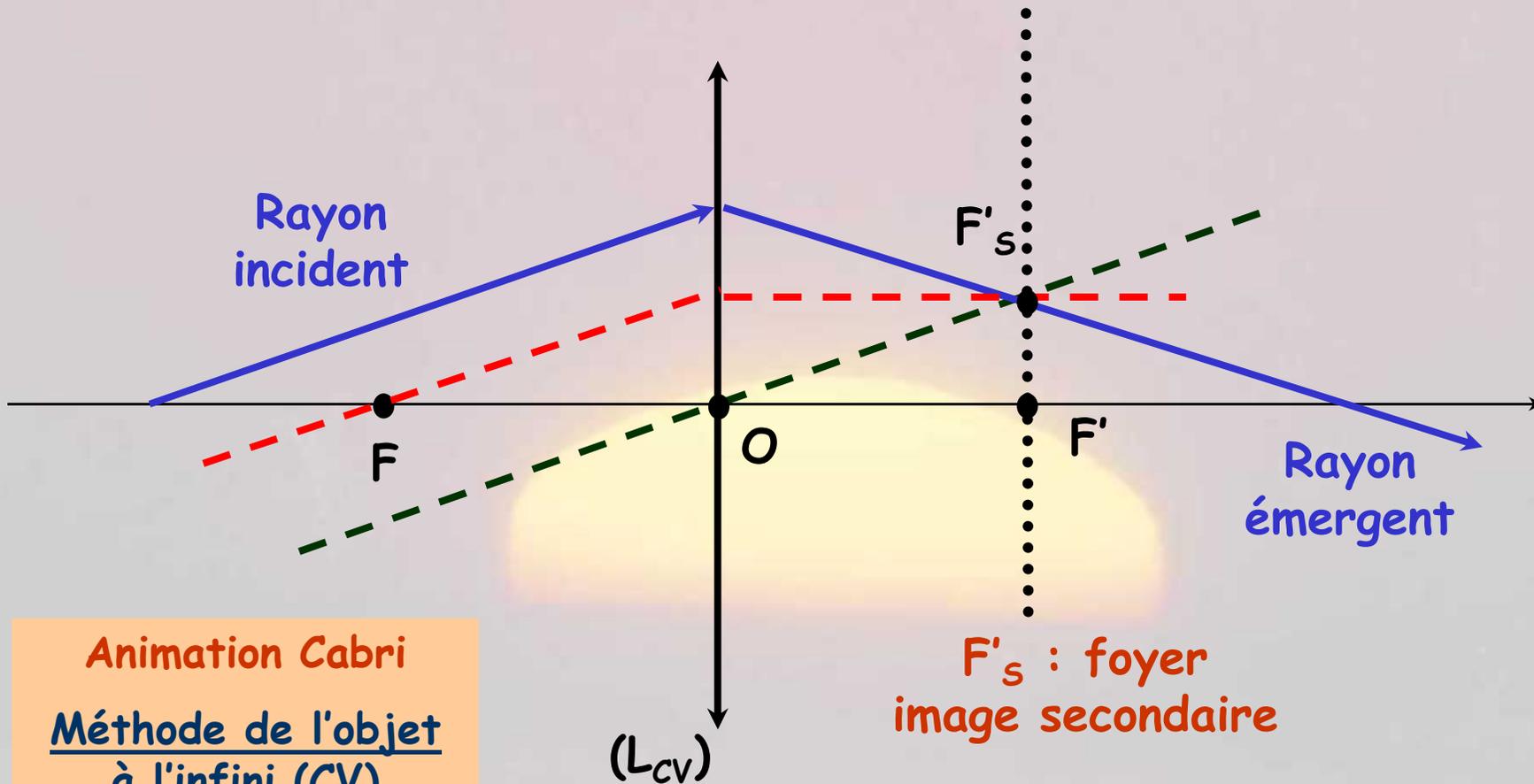


Lycée *Clemenceau*

PCSI 1 - Physique



Plan focal image

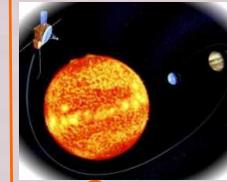


Animation Cabri

Méthode de l'objet à l'infini (CV)

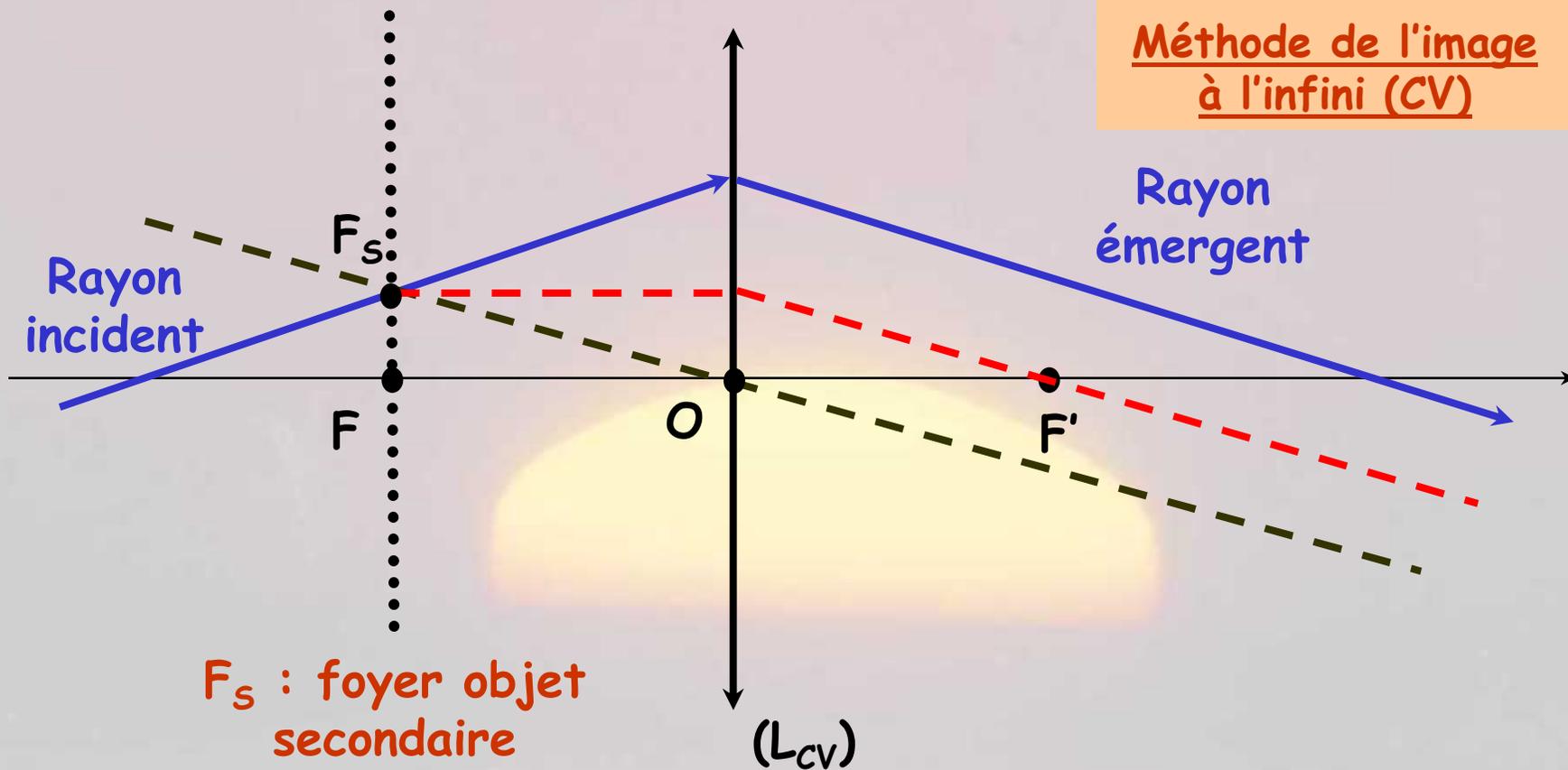
F'_s : foyer image secondaire





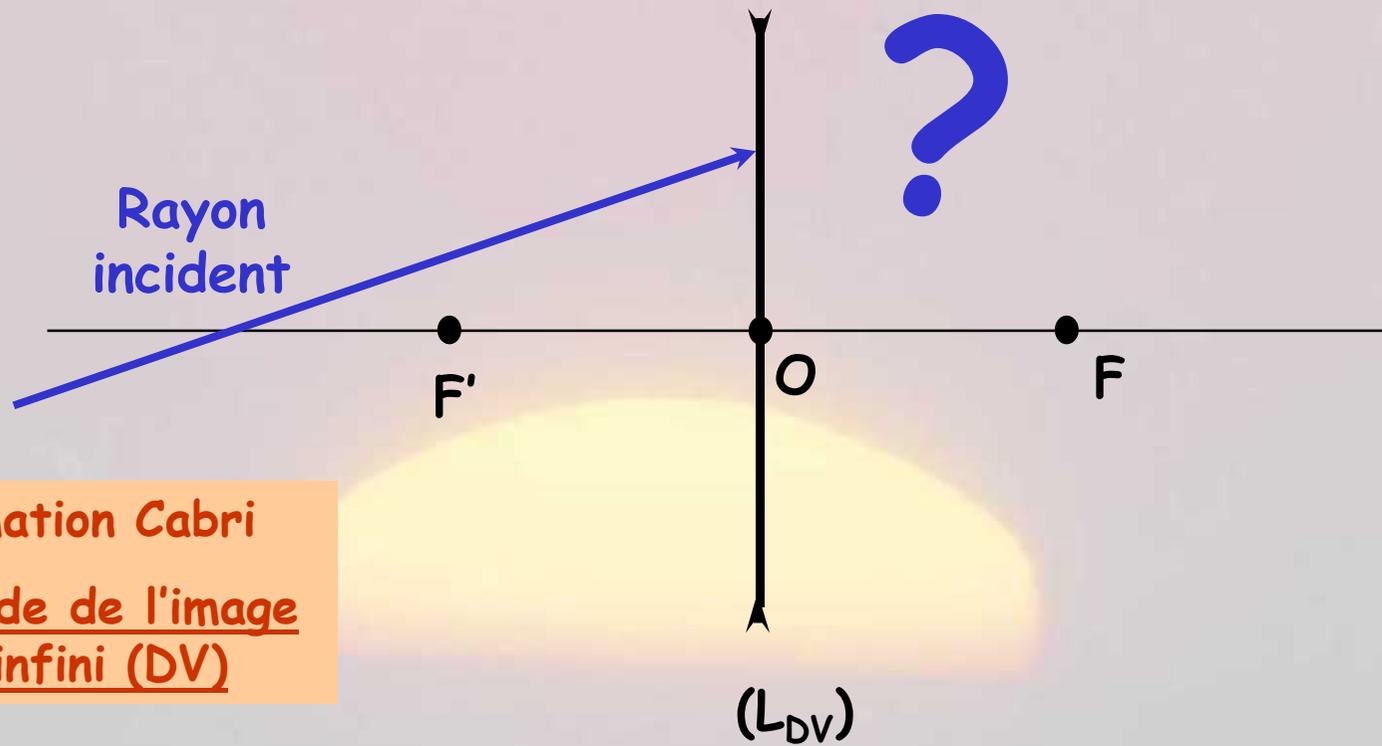
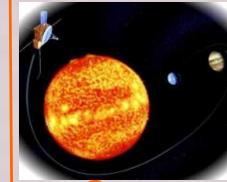
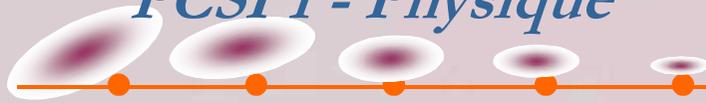
Plan focal objet

Animation Cabri
Méthode de l'image à l'infini (CV)



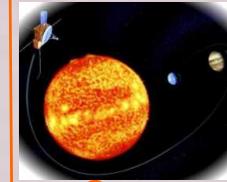
Lycée *Clemenceau*

PCSI 1 - Physique



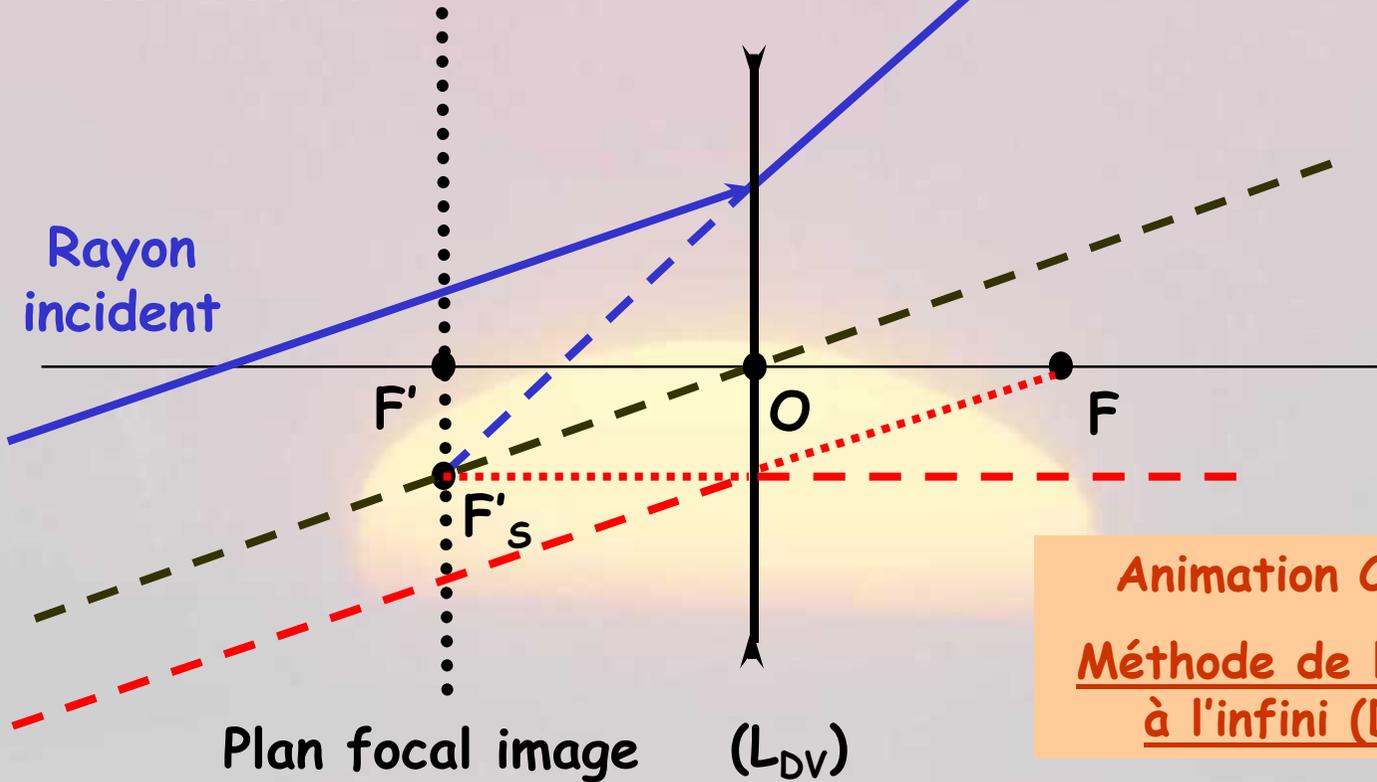
Animation Cabri
Méthode de l'image
à l'infini (DV)





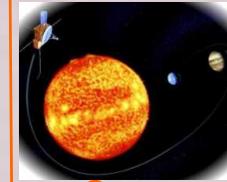
F'_s : foyer objet
secondaire

Rayon
émergent



Animation Cabri
Méthode de l'objet
à l'infini (DV)

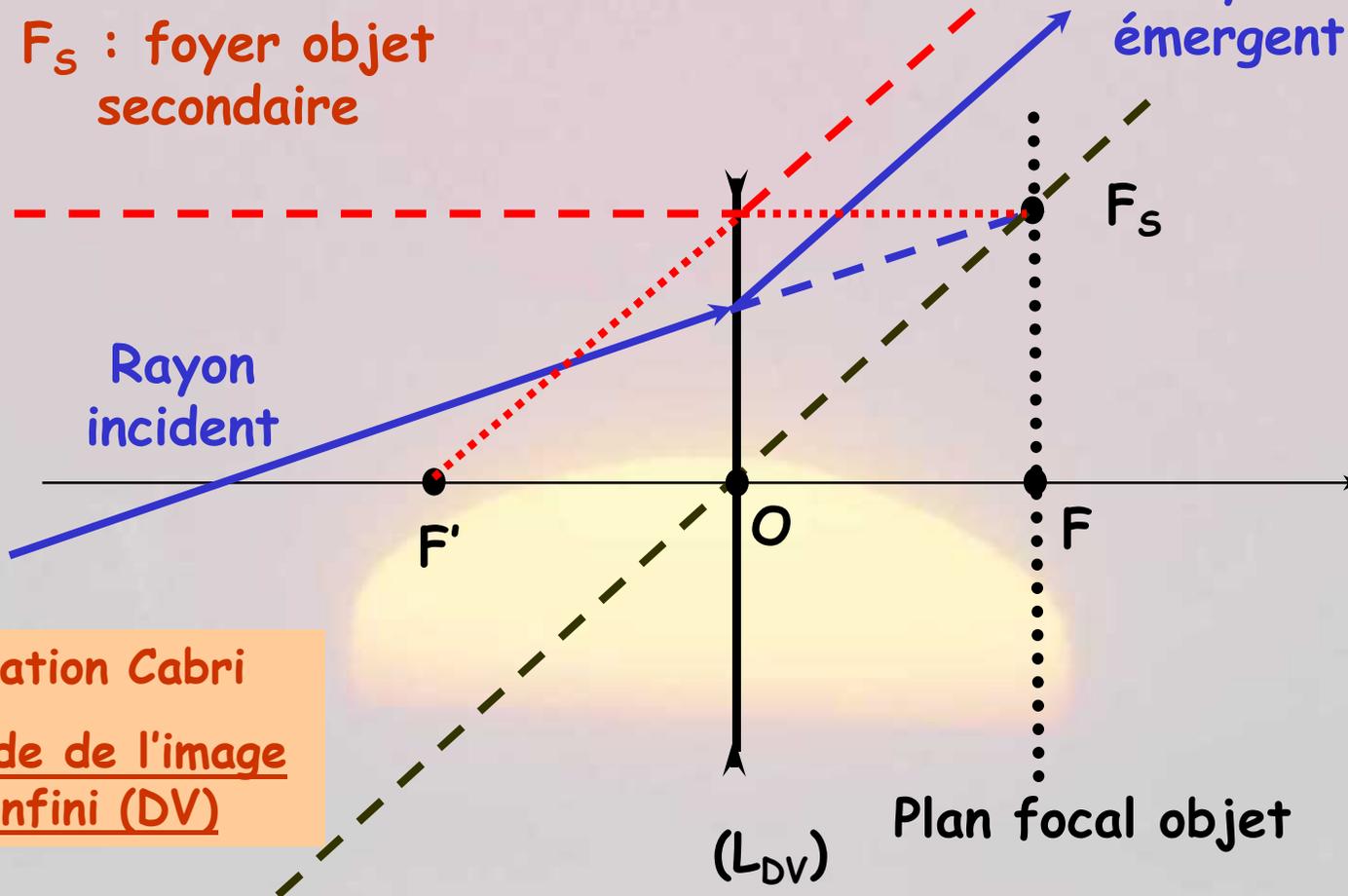




F_S : foyer objet
secondaire

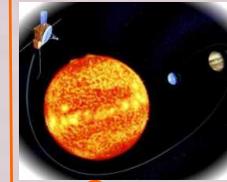
Rayon
émergent

Rayon
incident



Animation Cabri
Méthode de l'image
à l'infini (DV)

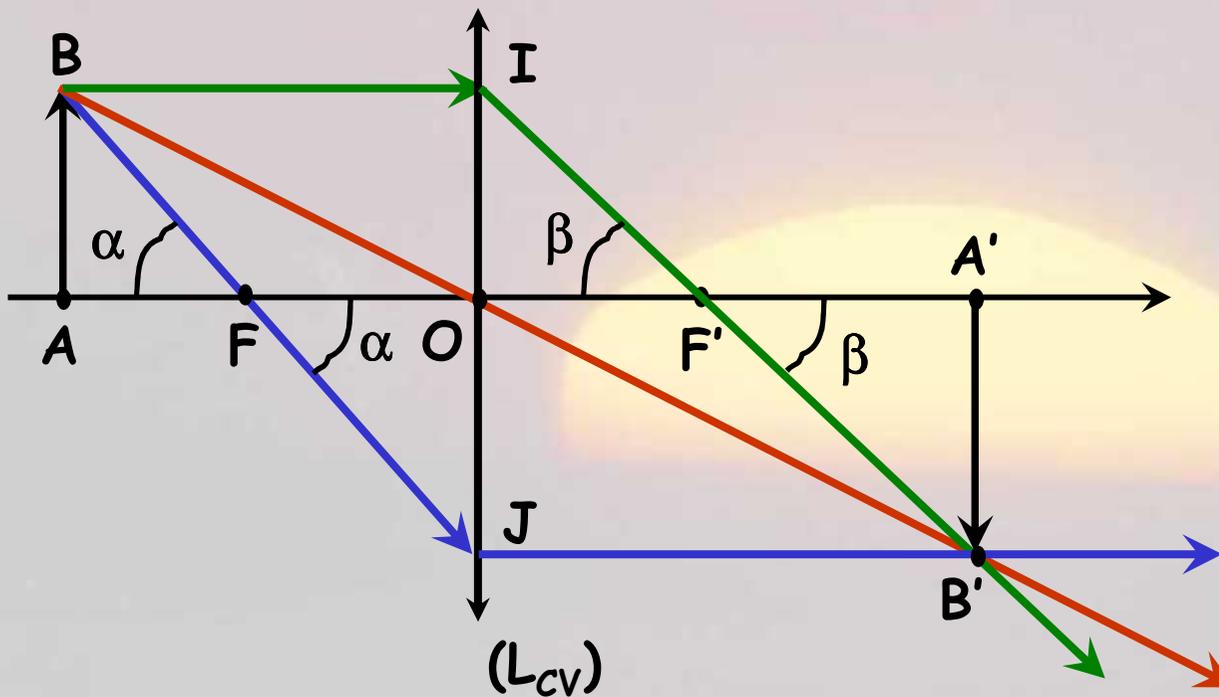




4 - Relations de conjugaison et grandissements :

a - Origine aux foyers (formules de Newton) :

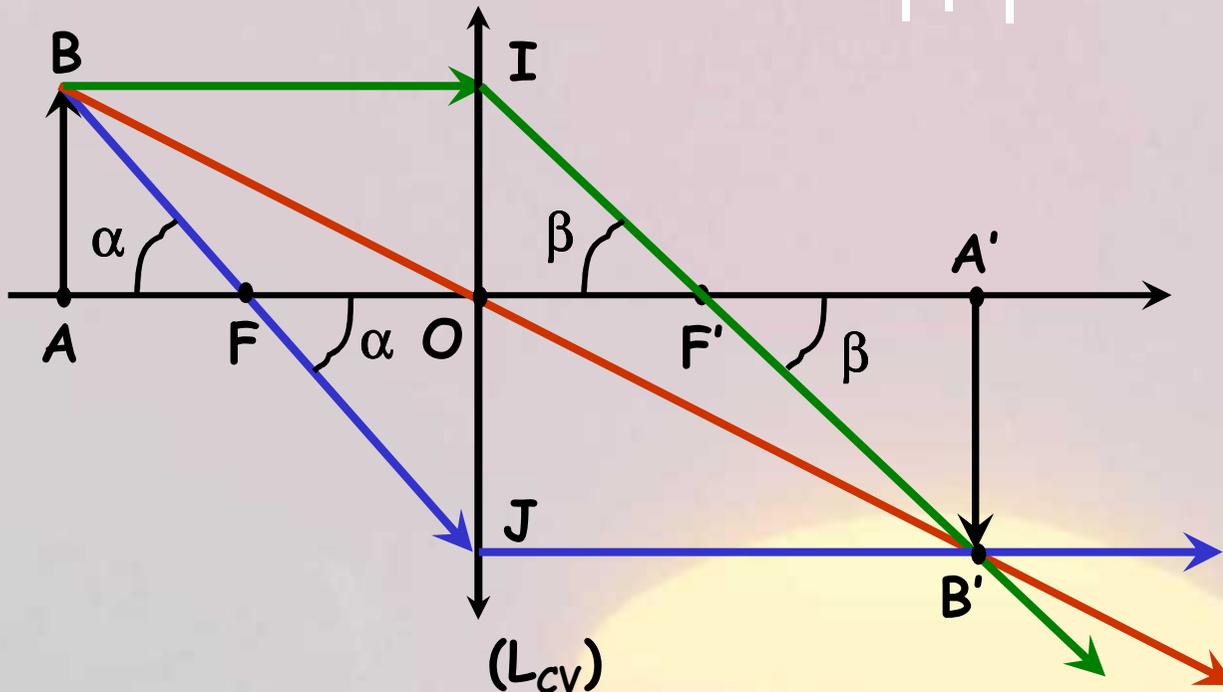
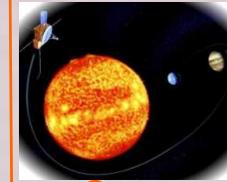
On raisonne sur la figure suivante et on généralise ensuite (lentille CV ou DV).



$$\alpha = \frac{\overline{AB}}{(-FA)} = \frac{\overline{JO}}{(-OF)}$$

$$\beta = \frac{-\overline{A'B'}}{(\overline{F'A'})} = \frac{\overline{OI}}{(\overline{OF'})}$$





Or :

$$\overline{OI} = \overline{AB}$$

et $\overline{JO} = -\overline{A'B'}$

Donc :

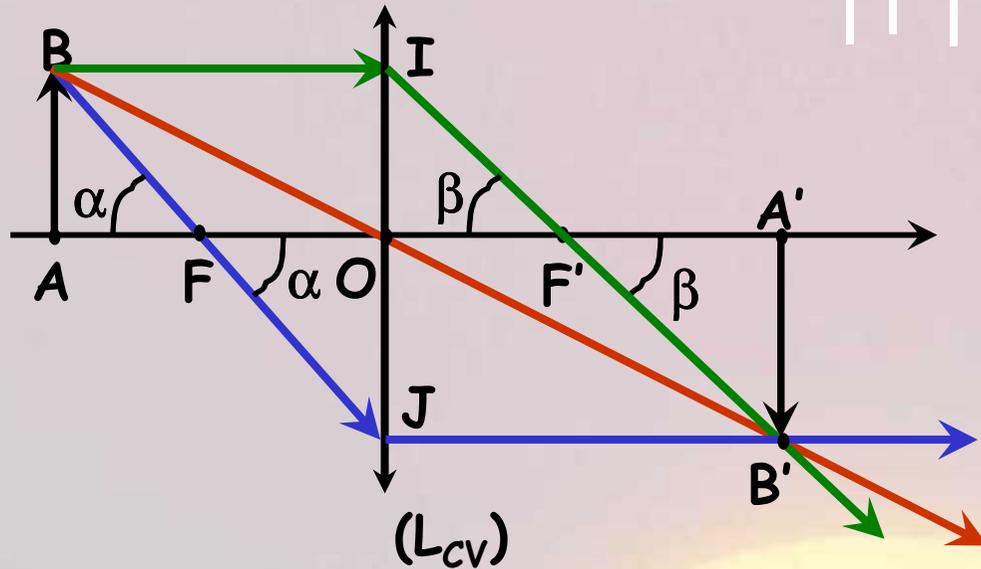
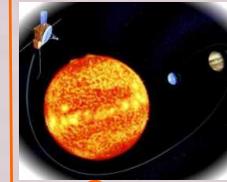
$$\frac{\overline{OF}}{\overline{FA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{\overline{OF'}}$$

Soit :

$$\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = \overline{OF} \cdot \overline{OF'} = f \cdot f' = -f'^2$$

(Formule de conjugaison avec origine aux foyers)





Le grandissement est, par définition :

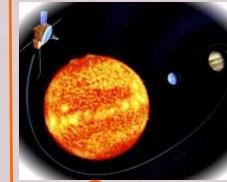
$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}}$$

Soit :

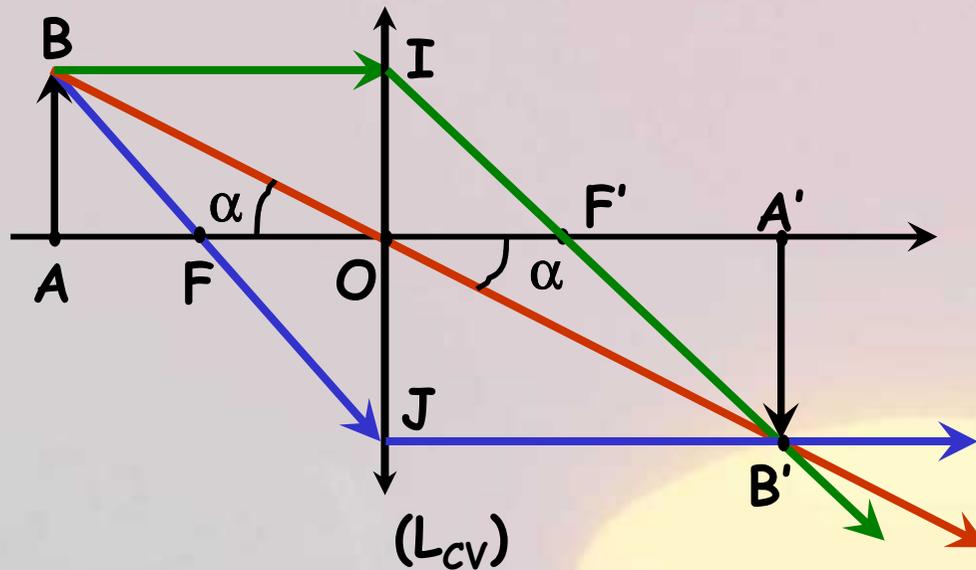
$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{OF}}{\overline{FA}} = -\frac{\overline{F'A'}}{\overline{OF'}}$$

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{f}{FA} = -\frac{\overline{F'A'}}{f'}$$





b - Origine au centre (formule de Descartes) :



On part de la relation :

$$\overline{FA} \cdot \overline{F'A'} = \overline{OF} \cdot \overline{OF'} = f \cdot f' = -f'^2$$

En utilisant :

$$\overline{FA} = \overline{OA} - \overline{OF} = \overline{OA} + f'$$

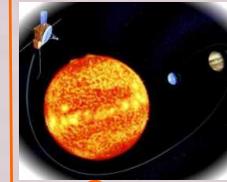
$$\overline{F'A'} = \overline{OA'} - \overline{OF'} = \overline{OA'} - f'$$

Il vient :

$$(\overline{OA} + f') \cdot (\overline{OA'} - f') = -f'^2$$

$$\overline{OA} \cdot \overline{OA'} - f' \cdot \overline{OA} + f' \cdot \overline{OA'} = 0$$



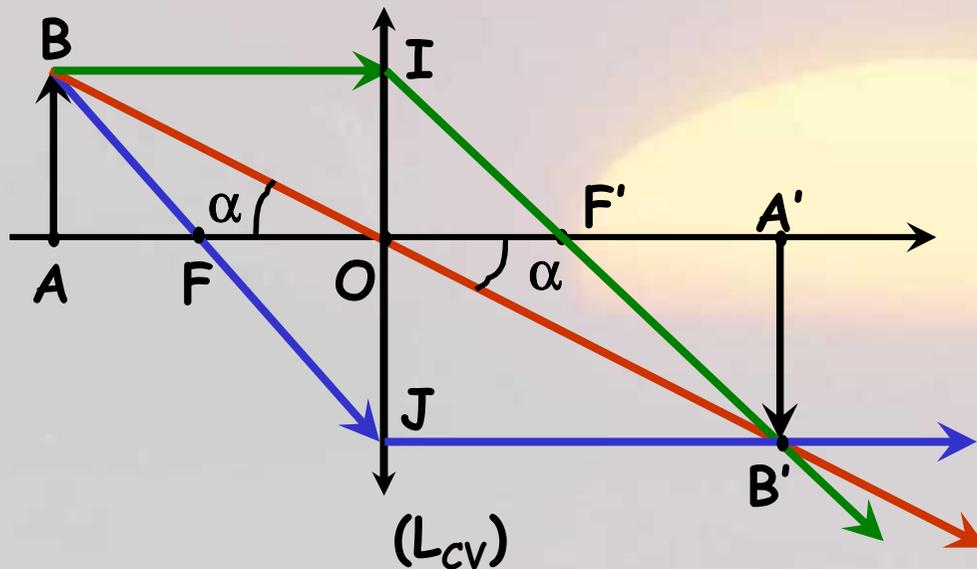


En divisant par $f' \cdot \overline{OA} \cdot \overline{OA}'$:

$$\frac{1}{f'} - \frac{1}{\overline{OA}'} + \frac{1}{\overline{OA}} = 0 \quad \text{soit}$$

$$-\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{\overline{OA}'} = \frac{1}{f'}$$

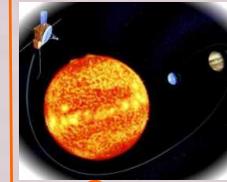
C'est la relation de conjugaison des lentilles minces avec origine au centre (formule de Descartes). On pose souvent :



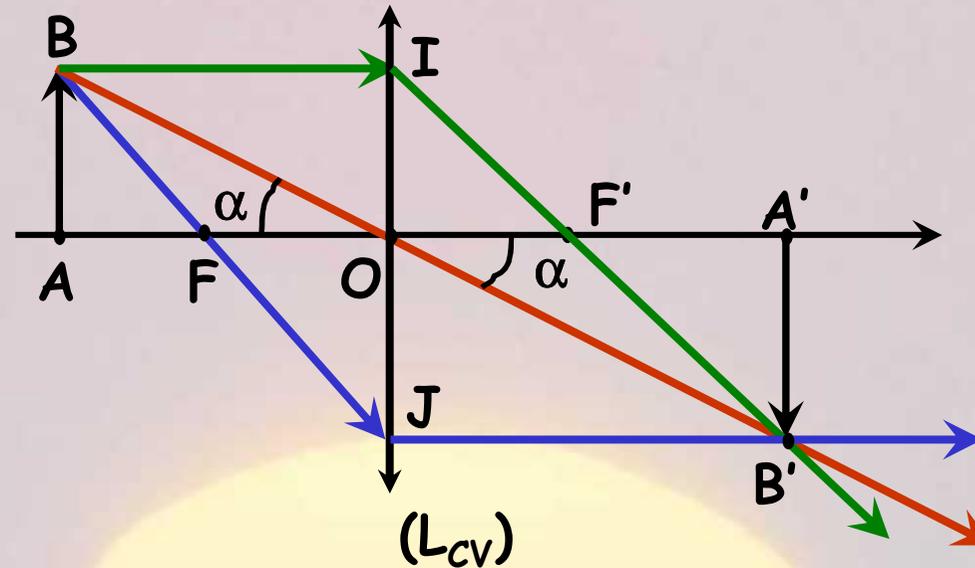
$$p = \overline{OA} ; \quad p' = \overline{OA}'$$

$$-\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f'}$$





Grandissement avec origine au centre :



On exprime l'angle α de deux manières différentes :

$$\alpha = \frac{\overline{AB}}{(-OA)} = \frac{-(\overline{A'B'})}{(\overline{OA'})}$$

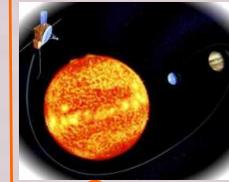
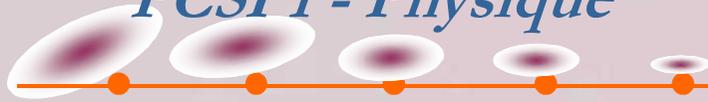
soit

$$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{p'}{p}$$



Lycée **Clemenceau**

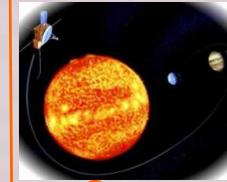
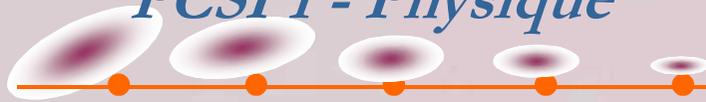
PCSI 1 - Physique



5 - Le principe de la loupe :

Fichier HTML





6 - Étude expérimentale :

a - Reconnaissance de lentilles CV et DV :

Lentille CV : à bords minces

Lentille DV : à bords épais

On observe un objet placé à courte distance d'une lentille :

* Image plus grande (effet loupe), la lentille est CV (permet d'estimer la distance focale)

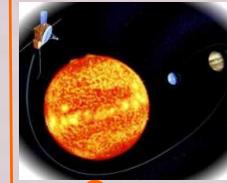
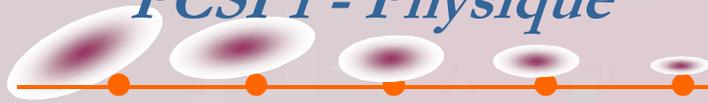
* Image plus petite, la lentille est DV (cas de la lentille de correction pour les myopes)

On observe un objet placé à grande distance d'une lentille :

* Si l'image est renversée, la lentille est CV

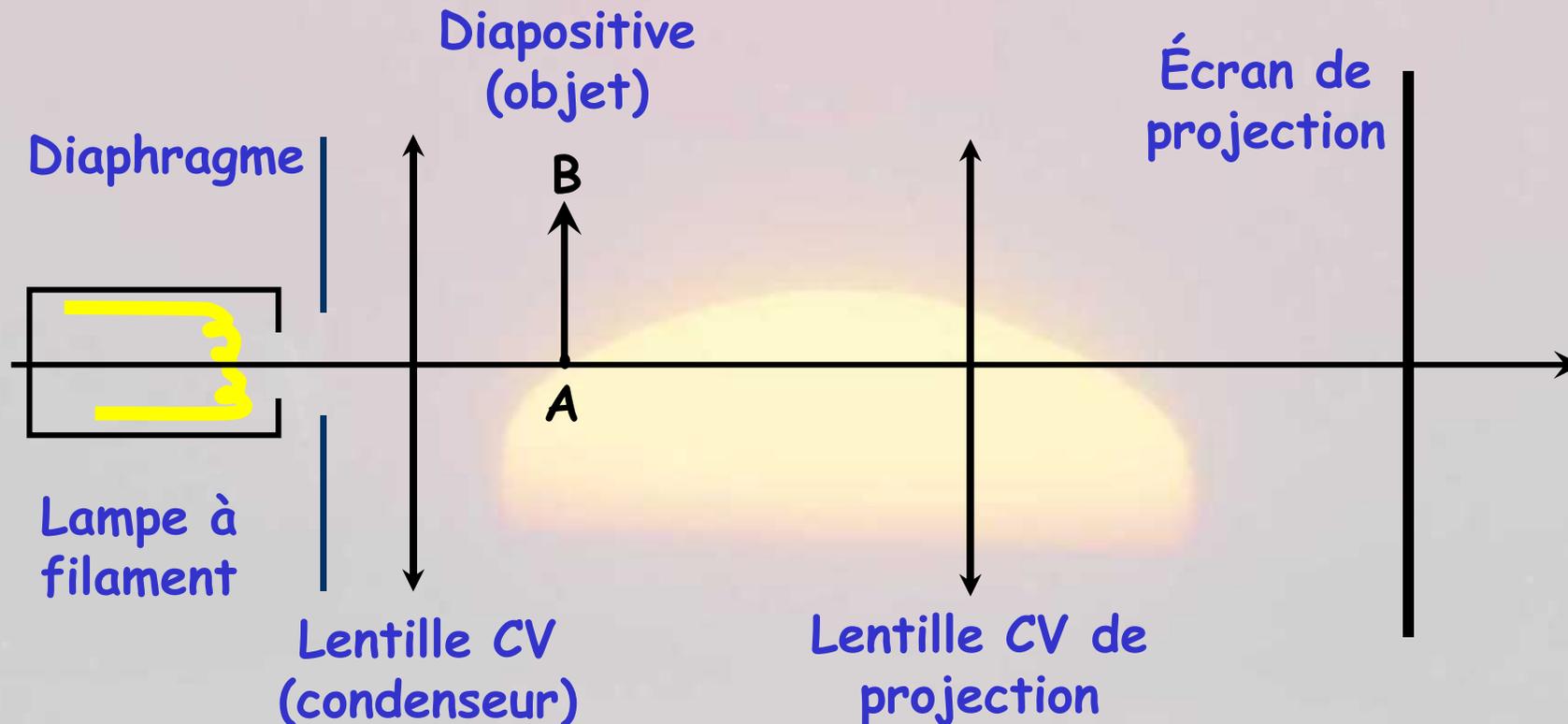
* Si l'image est droite, la lentille est DV

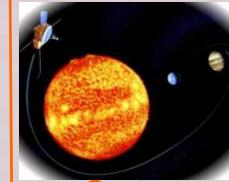




b - Mise en œuvre d'une projection (projecteur de diapositives) :

Réaliser le montage expérimental suivant (sur banc Jeulin) :





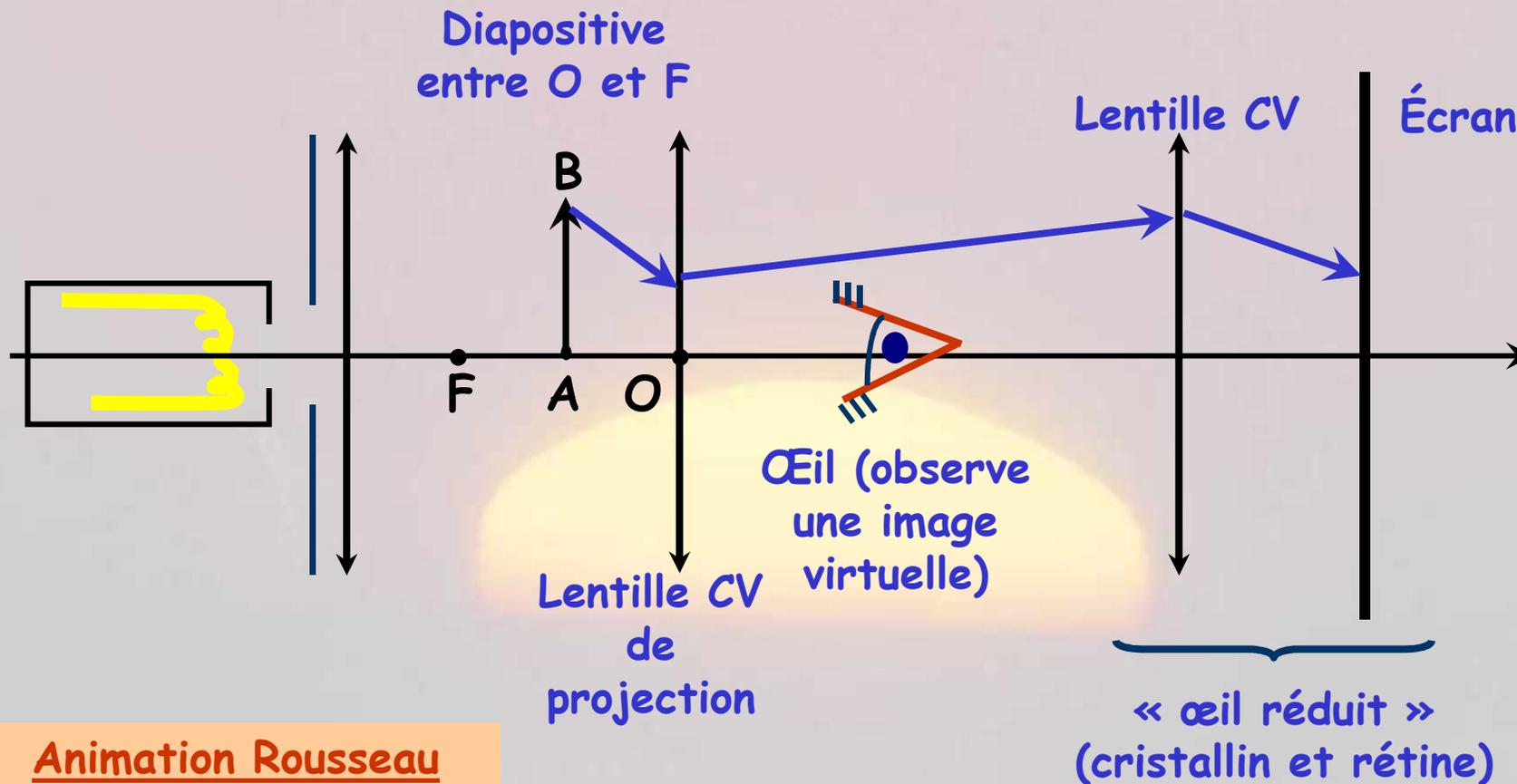
- * **Diaphragme** : cache en papier noir.
- * **Lentille CV (condenseur)** : lentille de distance focale image $f'=5$ cm qui permet de condenser la lumière régulièrement sur la diapositive.
- * **Lentille CV de projection** : choisir une lentille de distance focale image f' de 10 ou 20 cm.
- * **Diapositive (objet)** : elle doit être éclairée de manière uniforme et placée de telle manière que son image soit droite et non inversée.
- * **Écran de projection** : observer l'image de la diapositive sur un écran blanc.
- **Mesurer p et p' ainsi que le grandissement et vérifier les deux relations de Descartes (conjugaison et grandissement).**
- **On souhaite un grandissement de -3 . Quelle doit être la distance D entre la diapositive et l'écran (on choisit $f'=10$ ou 20 cm) ?**

$$D = -\frac{(1-\gamma)^2}{\gamma} f'$$





c - Réalisation d'une image virtuelle, modèle de l'œil réduit :



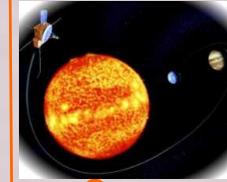
Animation Rousseau

(L'œil)



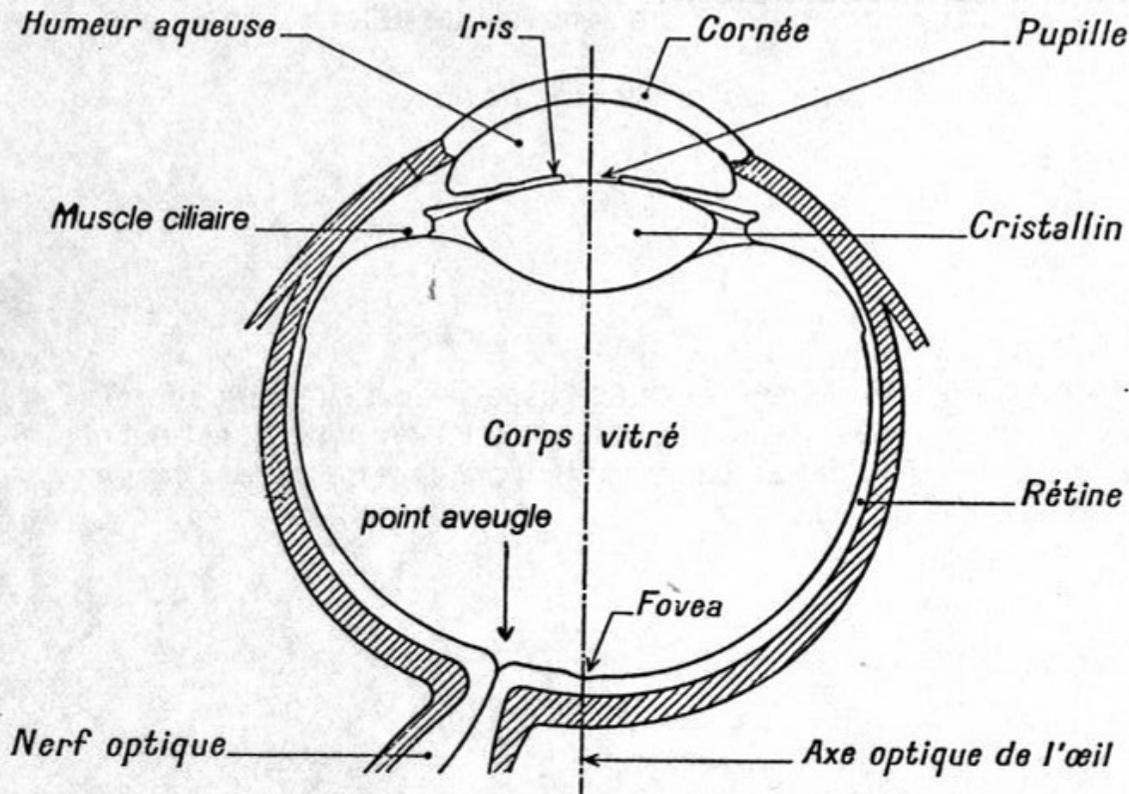
Lycée *Clemenceau*

PCSI 1 - Physique

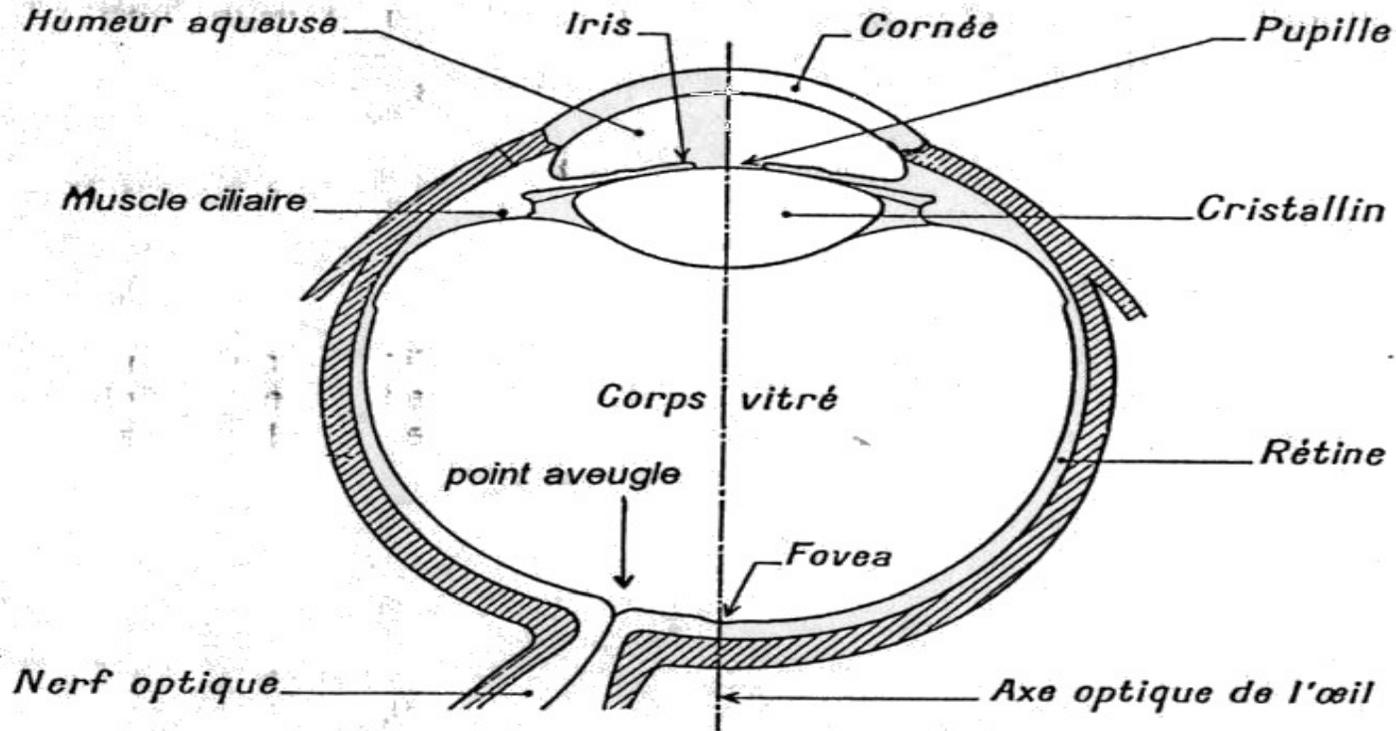


Présentation de l'œil :

Animation Rousseau
(L'œil)



1 - Description de l'œil



L'œil est l'organe de la vision. Il a sensiblement la forme d'une sphère de 20 à 25 mm de diamètre. Il est composé d'une suite de milieux transparents limités par des surfaces qui sont pratiquement sphériques et centrées sur le même axe.

On rencontre successivement, de l'extérieur vers l'intérieur :

- **la cornée** : membrane transparente d'environ 2 mm d'épaisseur.
- **l'humeur aqueuse** : liquide transparent d'indice 1,336 (environ 4 mm d'épaisseur).
- **le cristallin** : sorte de lentille biconvexe (environ 4 mm d'épaisseur)

et 10 mm de diamètre); indices : 1,36 sur les bords et 1,42 au centre.

Devant le cristallin se trouve l'iris (diaphragme coloré) dont l'ouverture ou **pupille** a un diamètre variable de 2 à 8 mm selon l'intensité lumineuse des objets que l'on regarde.

- **l'humeur vitrée** (ou corps vitré) : substance transparente gélatineuse d'indice 1,336 (environ 15 mm d'épaisseur).

- **la rétine** : elle tapisse le fond de l'œil . Elle sert d'écran sur lequel se forme l'image. Elle est l'épanouissement du **nerf optique**, dont les fibres aboutissent à deux sortes de cellules de formes et de fonctions différentes, **les cônes et les bâtonnets**.

La répartition de ces cellules n'est pas régulière :

- une légère dépression, la **fovea centralis** , de 0,3 mm de diamètre , ne comporte que des cônes ;

- la fovea est elle même située au centre de la tache jaune ou **macula** (diamètre 2 mm) très riche en cônes ;

- le reste de la rétine appelé **rétine périphérique** comporte presque uniquement des bâtonnets.

2 - Œil réduit

Pour voir nettement les objets, il faut que le système optique constitué par l'œil donne des images situées sur la rétine

Si pour une raison quelconque, l'image de l'objet n'est pas sur la rétine, l'objet paraît flou.

Au point de vue optique, l'œil est donc assimilable à une lentille mince convergente dont le centre optique est situé à environ 5 mm derrière la cornée et dont la distance focale est de l'ordre de 20 mm lorsque l'œil regarde des objets éloignés.

Cette lentille équivalente à l'œil est appelée **œil réduit**.

3 - Accommodation

a- Définition

Soit un œil voyant nettement un objet éloigné : l'image se forme sur la rétine.

Si l'on rapproche l'objet, sans apporter de modification à l'œil, l'image se forme en arrière de la rétine et est floue.

Pour que l'image redevienne nette, il faut la ramener sur la rétine en augmentant la vergence de l'œil (ce qui entraîne une diminution de sa distance focale).

Dans l'œil ceci est possible grâce à une déformation du cristallin sous l'action des "muscles ciliaires" : la face avant du cristallin devient plus bombée.

C'est cette augmentation de la vergence de l'œil qui est appelée accommodation.

b - Accommodation maximum :

C'est la limite de déformation que les muscles ciliaires peuvent produire sur le cristallin.

A cette accommodation maximum correspond le point le plus rapproché que l'œil soit capable de voir nettement : ce point est appelé **punctum proximum**.

La distance entre le punctum proximum et l'œil correspond à la **distance minimum de vision distincte**. (Pour un œil normal elle est de 10 à 15 cm avec fatigue de l'œil et de 25 cm sans fatigue. Elle augmente avec l'âge.)

Quand l'œil n'accommode pas, on dit qu'il est au repos.

4 - Défauts de l'œil

On considère comme normal (ou emmétrype) un œil qui, en l'absence d'accommodation, donne d'un objet situé à l'infini, une image nette sur la rétine.

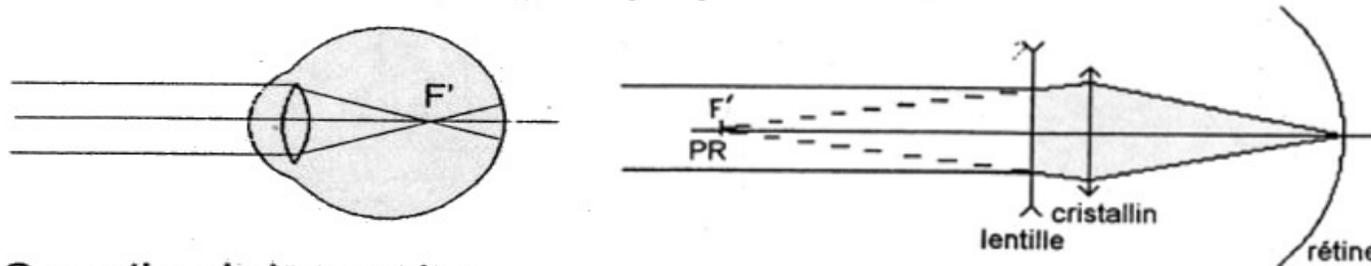
Le point le plus éloigné qu'il peut voir (où **punctum remotum**) est à l'infini.

Si, un œil étant au repos l'image d'un point situé à l'infini se forme en avant ou en arrière de la rétine, cet œil est dit anormal (ou amétrype).

a- Œil myope :

Un œil myope est trop convergent. L'image d'un objet à l'infini se forme au foyer image F' , situé en avant de la rétine; par suite la vision est floue. Si l'objet se rapproche de l'œil, alors l'image s'éloigne de F' ; pour une certaine distance la vision devient nette. Cette position de l'objet correspond au **punctum remotum**.

Si l'on continue à rapprocher l'objet, l'œil accommode et la vision reste nette jusqu'à la limite d'accommodation ; l'objet est alors situé à la distance minimum de vision distincte (**punctum proximum**). Pour un œil myope, le **punctum proximum** est situé plus près que pour l'œil normal.



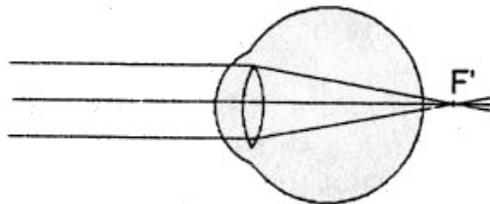
Correction de la myopie :

L'œil myope étant trop convergent, on lui associe une lentille divergente. Cette lentille doit donner d'un objet à l'infini une image qui soit vue nettement par l'œil au repos, donc située au **punctum remotum**. Par suite, le foyer image de la lentille divergente doit coïncider avec le **punctum remotum**.

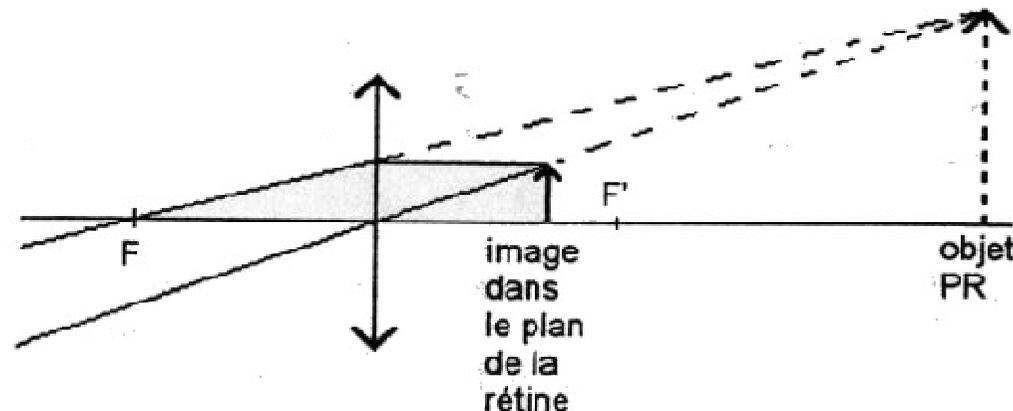
b- Œil hypermétrope :

L'œil hypermétrope n'est pas assez convergent. Au repos, le foyer image F' est en arrière de la rétine; l'image d'un objet situé à l'infini se forme en F' et pour l'amener sur la rétine, l'œil doit accommoder.

Si l'objet se rapproche, l'œil accommode davantage; la vision reste nette jusqu'à la limite d'accommodation: l'objet est alors au punctum proximum. Pour un œil hypermétrope, le punctum proximum est situé plus loin que pour un œil normal.

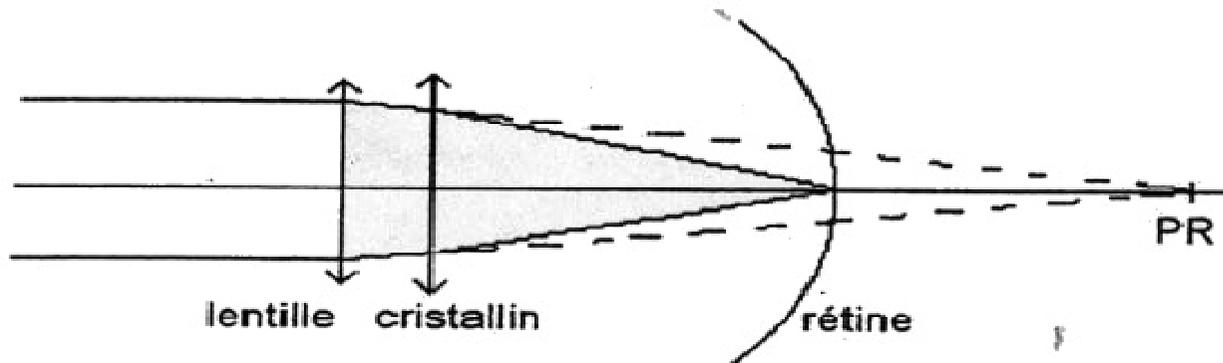


Remarque : L'œil étant au repos, et F' en arrière de la rétine, l'objet dont l'image se forme sur la rétine est virtuel. Le punctum remotum d'un œil hypermétrope est virtuel.



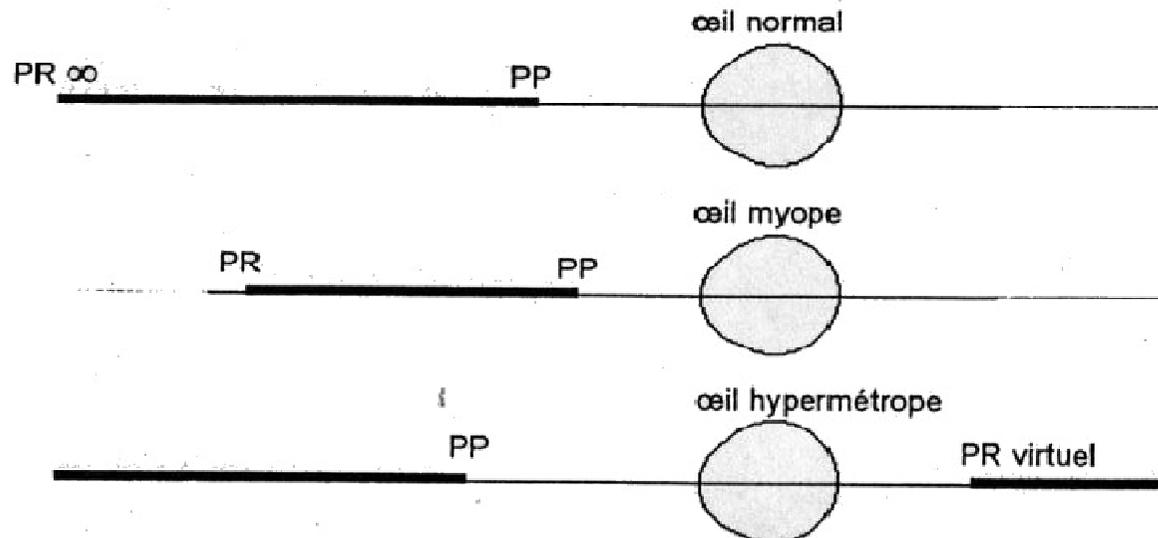
Correction de l'hypermétropie :

L'œil hypermétrope n'étant pas assez convergent, on lui associe une lentille convergente. Cette lentille doit donner d'un objet situé à l'infini une image qui soit vue nettement par l'œil au repos donc située au punctum remotum. Par suite, le foyer image de la lentille doit coïncider avec le punctum remotum.



Conclusion :

La figure suivante résume les résultats précédents : le domaine de vision accessible grâce à l'accommodation est marqué sur l'axe en traits plus épais.



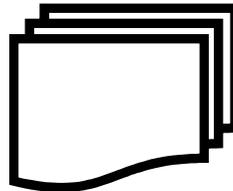
c- Presbytie :

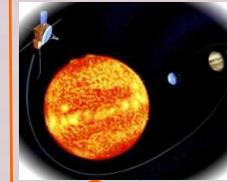
La presbytie est une diminution du pouvoir d'accommodation de l'œil. Elle survient avec l'âge et s'explique par la diminution de la plasticité du cristallin et une diminution de la vigueur des muscles ciliaires. Elle se traduit par une augmentation de la distance de vision distincte (environ 7 cm à 10 ans, 25 cm à 40 ans, 1 m à 60 ans).

Correction de la presbytie :

L'œil presbyte ne peut accommoder suffisamment pour voir nettement les objets rapprochés : le cristallin ne peut plus prendre une courbure suffisante. On associe donc à l'œil presbyte une lentille convergente, qui ne sera utilisée que pour la vision rapprochée (lecture,...) ; pour la vision éloignée, donc sans accommodation, l'œil presbyte possède une vision normale.

Remarque : Etant donnée son origine (vieillesse), la presbytie peut affecter toutes les vues. Par exemple, un myope devenu presbyte avec l'âge, doit utiliser deux verres correcteurs : l'un, divergent, pour la vision des objets éloignés, corrige la myopie; l'autre, convergent, pour la vision des objets rapprochés, corrige la presbytie. Plutôt que d'utiliser deux verres différents, on les associe en un seul à double foyer : la partie supérieure divergente est utilisée pour la vision éloignée et la partie inférieure convergente pour la vision rapprochée.

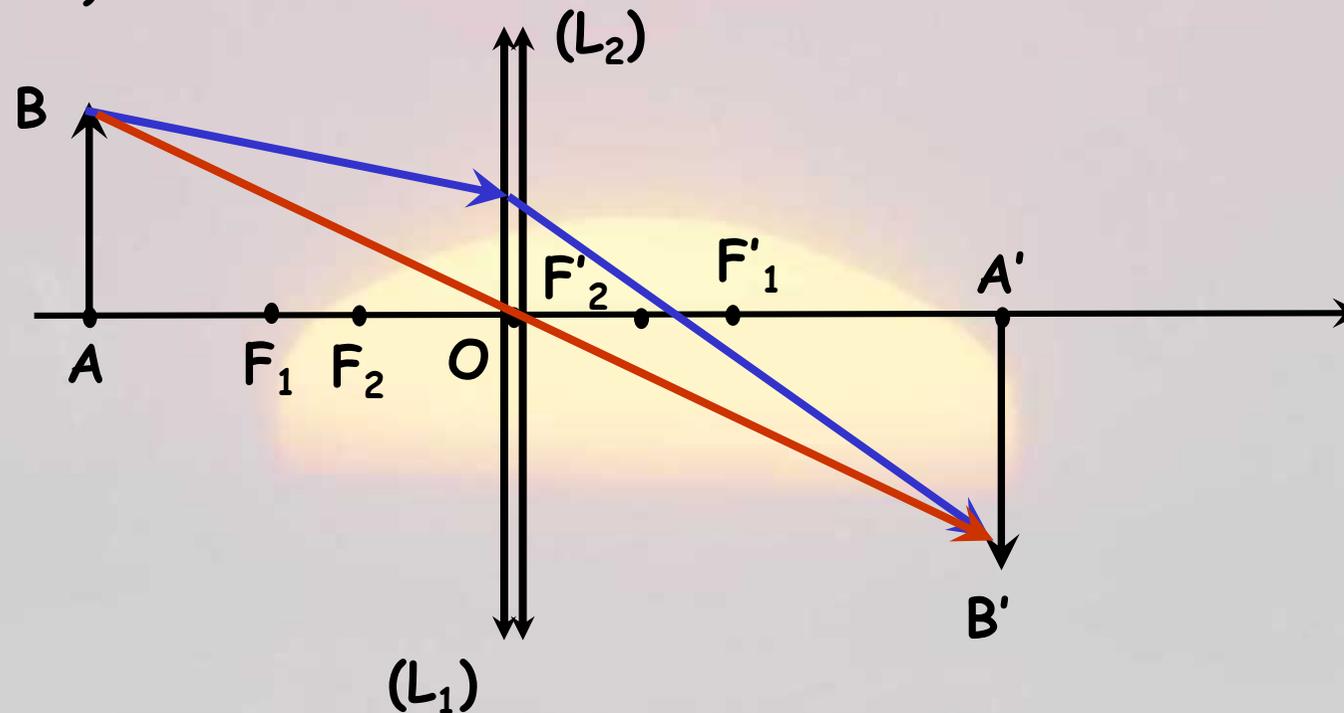


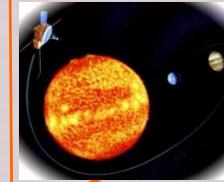


7 - Associations de deux lentilles minces :

a - Doublet accolé :

Les deux lentilles sont accolées (leurs centres optiques O_1 et O_2 sont confondus en O).





Quelle est la position de l'image A'B' et sa taille ?

On utilise la méthode de l'image intermédiaire :

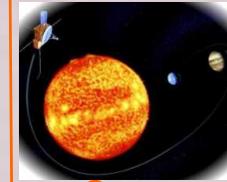


Relations de conjugaison :

Pour la lentille (L_1) : $-\frac{1}{OA} + \frac{1}{OA_i} = \frac{1}{f'_1}$ Pour la lentille (L_2) : $-\frac{1}{OA_i} + \frac{1}{OA'} = \frac{1}{f'_2}$

En ajoutant membres à membres : $-\frac{1}{OA} + \frac{1}{OA'} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2}$





On définit une distance focale image équivalente $f'_{\text{éq}}$ telle que :

$$\frac{1}{f'_{\text{éq}}} = \frac{1}{f'_1} + \frac{1}{f'_2} \quad (\text{soit } V'_{\text{éq}} = V'_1 + V'_2)$$

$$-\frac{1}{OA} + \frac{1}{OA'} = \frac{1}{f'_{\text{éq}}}$$

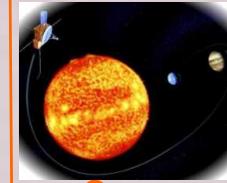
Formule des opticiens

Un doublet de lentilles accolées est donc équivalent à une lentille mince dont on peut calculer la distance focale équivalente.

Le grandissement vaut :

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{A_i B_i}} \cdot \frac{\overline{A_i B_i}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA_i}} \cdot \frac{\overline{OA_i}}{\overline{OA}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$





b - Doublet non accolé :

Réaliser le montage expérimental suivant :

- Hauteur de la diapositive : de l'ordre de 3 cm
- Distance objet - (L_1) (divergente) : 6 cm
- Distance (L_1) (divergente) et (L_2) (convergente) : 4 cm
- Distances focales images : $f'_1 = -2$ cm et $f'_2 = 3$ cm.

Réaliser l'image de AB à travers ce dispositif optique.

Déterminer :

- * Graphiquement (deux méthodes possibles)
- * Puis par le calcul (méthode de l'image intermédiaire)

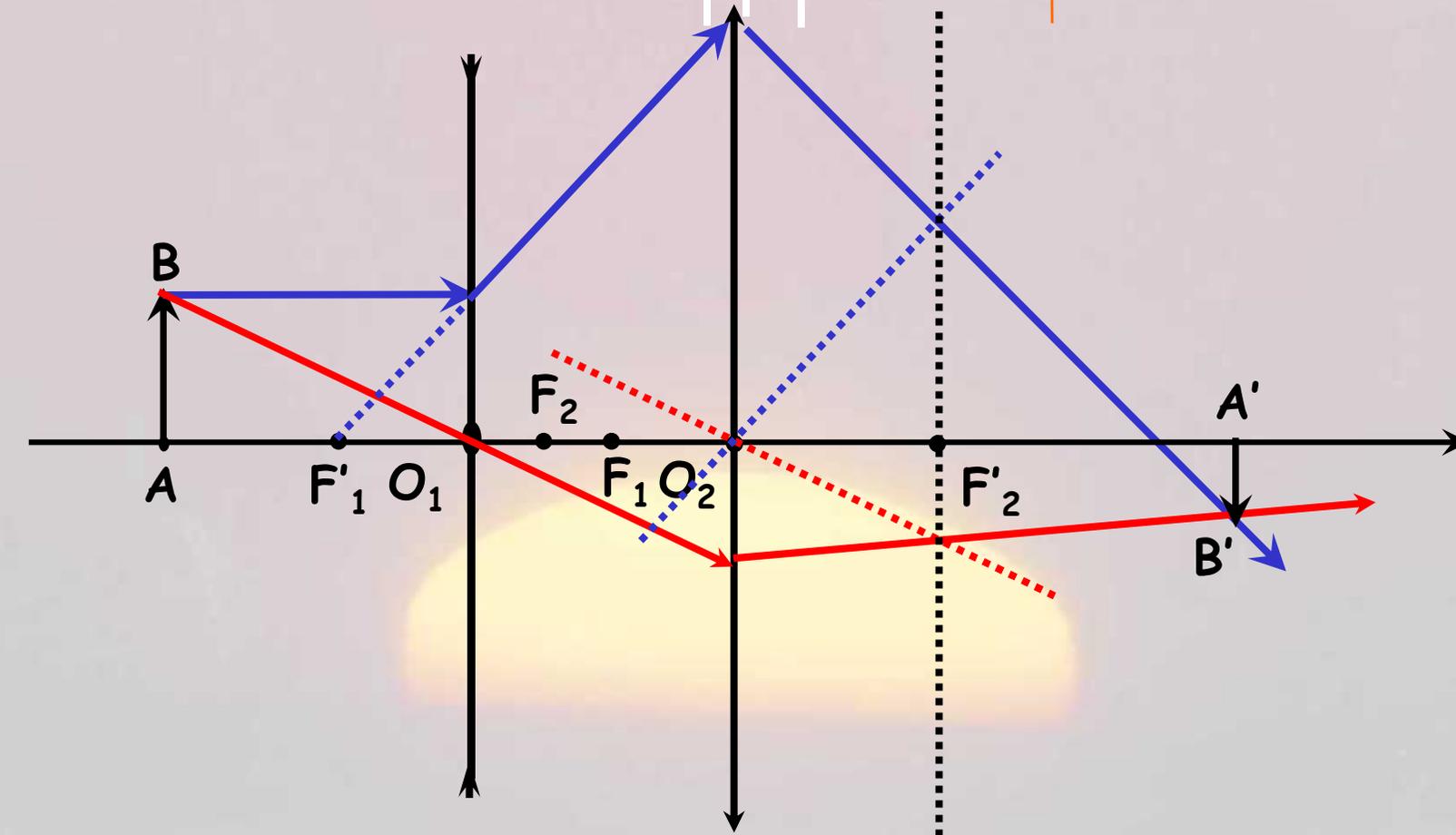
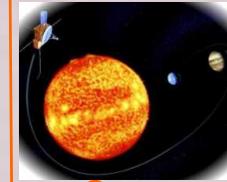
La position et la taille de l'image finale A'B' à travers ce doublet de lentilles.

Animation Cabri
(Un doublet général)

CV : 8 dioptries

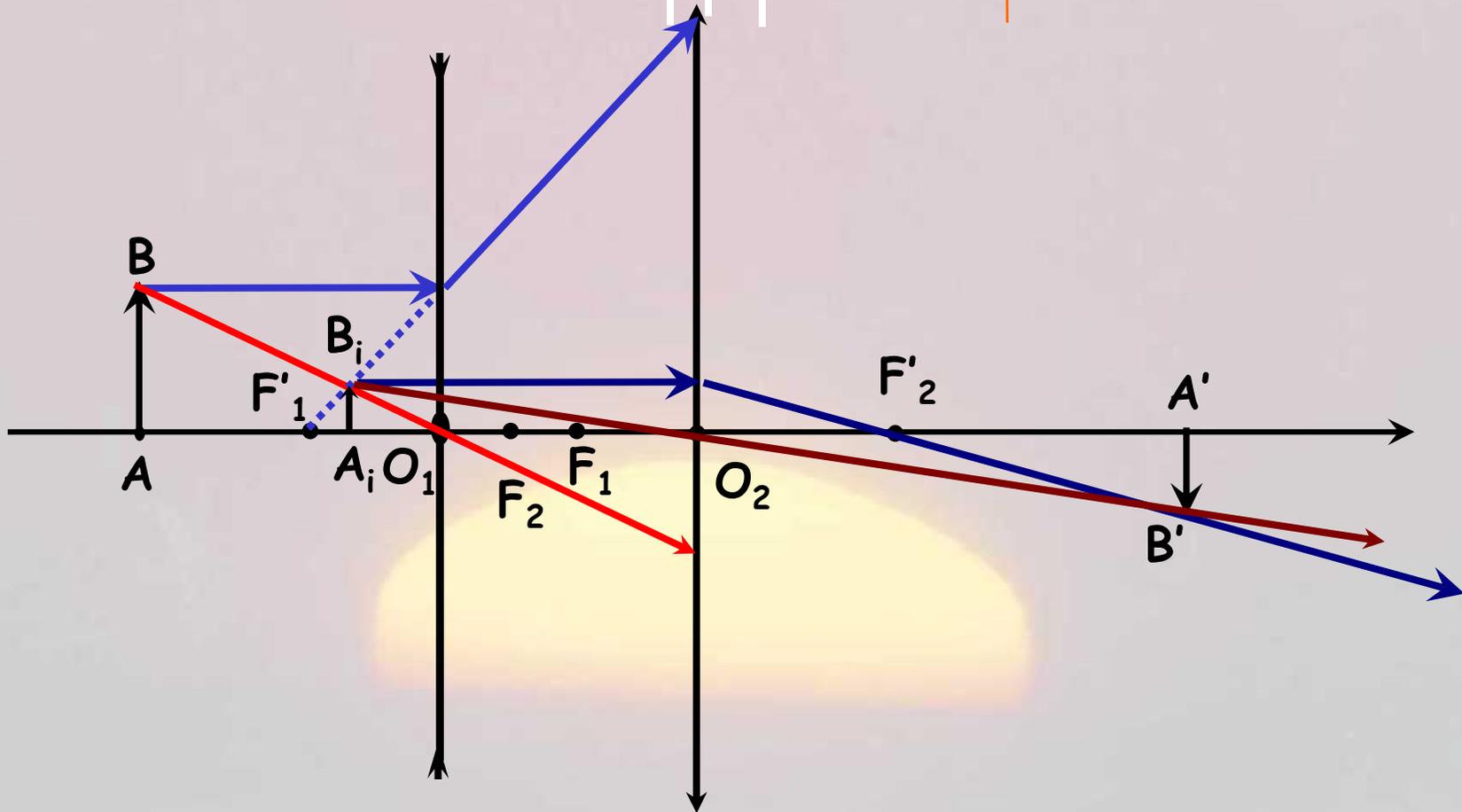
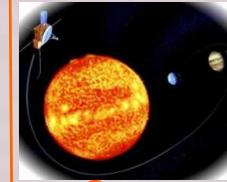
DV : - 3 dioptries





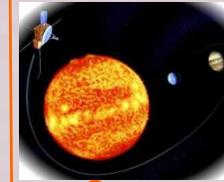
1^{ère} méthode graphique : par cheminement des rayons





2^{ème} méthode graphique : détermination de l'image intermédiaire





Par le calcul :



$$-\frac{1}{O_1 A} + \frac{1}{O_1 A_i} = \frac{1}{f'_1} \quad \text{soit} \quad \frac{1}{O_1 A_i} = -0,67 \text{ cm}^{-1} \quad \text{et} \quad \overline{O_1 A_i} = -1,5 \text{ cm}$$

$$-\frac{1}{O_2 A_i} + \frac{1}{O_2 A'} = \frac{1}{f'_2} \quad \text{et} \quad \overline{O_2 A_i} = \overline{O_2 O_1} + \overline{O_1 A_i} = -5,5 \text{ cm}$$

$$D'où : \frac{1}{O_2 A'} = 0,15 \text{ cm}^{-1} \quad \text{et} \quad \boxed{\overline{O_2 A'} = 6,6 \text{ cm}}$$

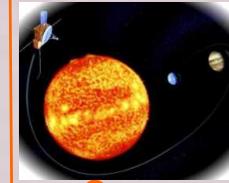
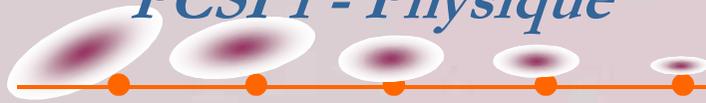
Grandissement et taille de l'image $A' B'$:

$$\overline{A' B'} = \frac{\overline{O_2 A'}}{\overline{O_2 A_i}} \cdot \overline{A_i B_i} ; \overline{A_i B_i} = \frac{\overline{O_1 A_i}}{\overline{O_1 A}} \cdot \overline{AB} ; \overline{A_i B_i} = 0,75 \text{ cm} ; \overline{A' B'} = -0,90 \text{ cm}$$



Lycée *Clemenceau*

PCSI 1 - Physique



c - Étude de quelques instruments :

Animation Rousseau
(Principe des instruments)

Télescope de Cassegrain :

Fichier pdf (énoncé)

(Télescope de
Cassegrain)

Animation Cabri

(Télescope de
Cassegrain)

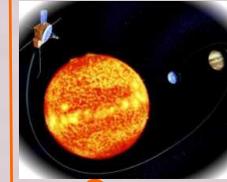
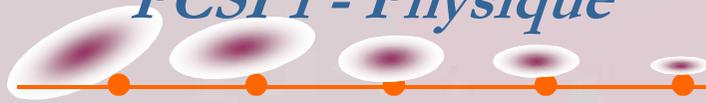
Télescope de Newton :

Animation Cabri
(Télescope de Newton)



Lycée *Clemenceau*

PCSI 1 - Physique



Animation Rousseau
(Principe des instruments)

Lunette de Galilée et lunette astronomique :

Animation Cabri
(Lunette de Galilée)

Fichier html
(Lunette astronomique)

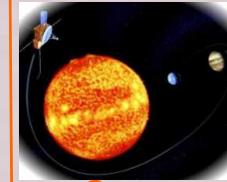
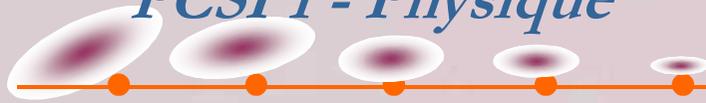
Le microscope :

Animation Cabri
(Le microscope)

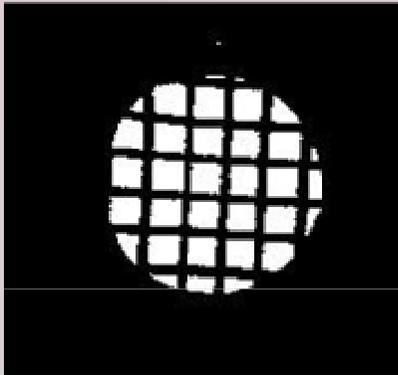


Lycée *Clemenceau*

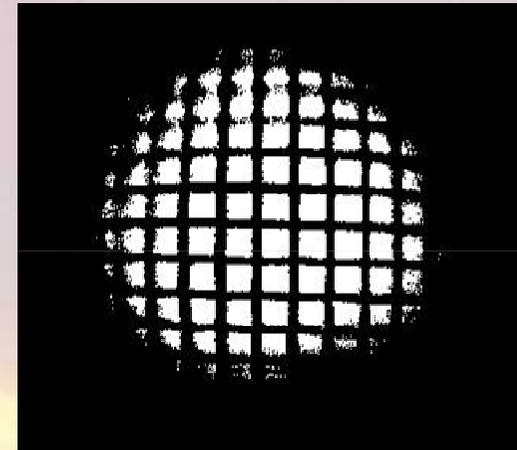
PCSI 1 - Physique



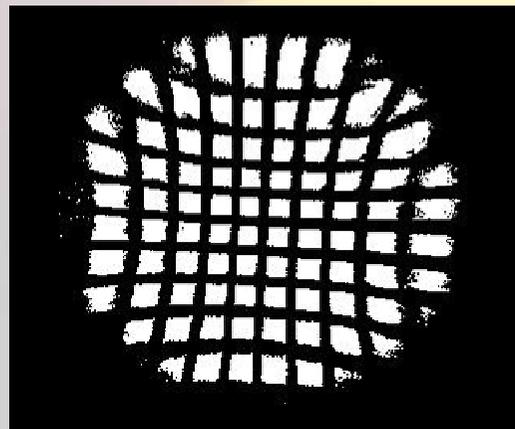
8 - Aberrations des lentilles minces :



Pas de déformation



Déformation en barillet



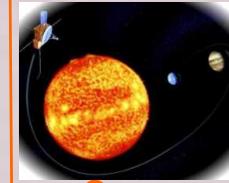
Déformation en coussinet

Aberrations chromatiques



Lycée *Clemenceau*

PCSI 1 - Physique



9 - Méthodes de focométrie (pour des lentilles convergentes) :

a - Méthode d'auto-collimation :

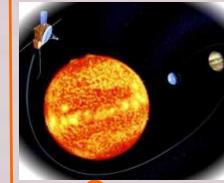
Animation Rousseau

(Focométrie)

Animation Cabri

Autocollimation 1 et 2

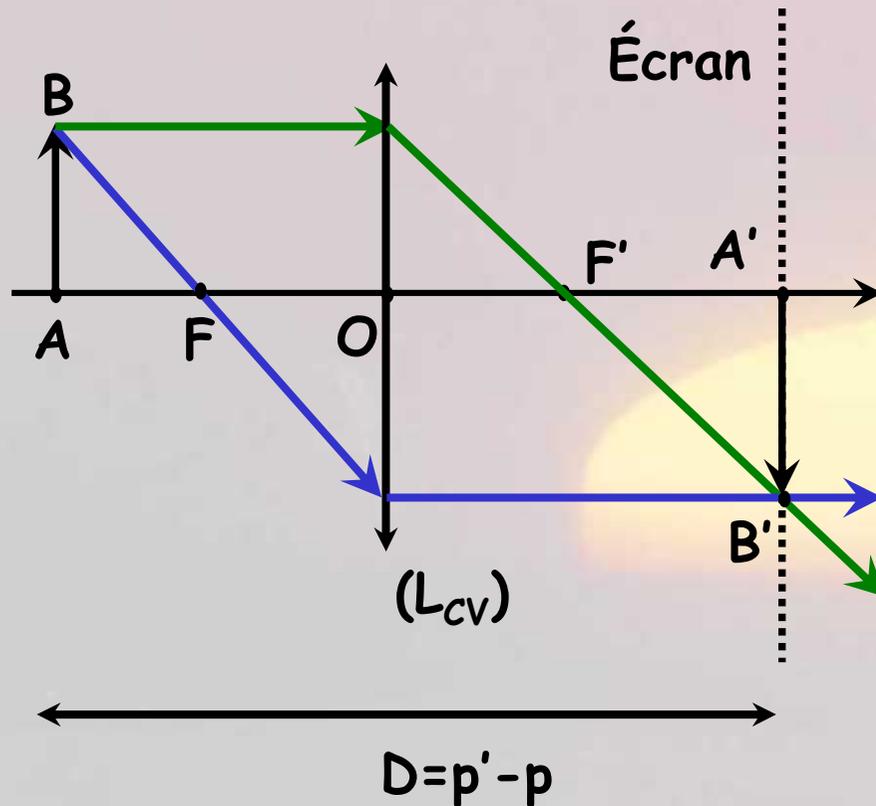




b - Méthode de Silbermann :

Animation Cabri
(Bessel et Silbermann)

Animation Rousseau
(Focométrie)



On réalise : $\gamma = -1 = \frac{p'}{p}$

La relation de conjugaison de Descartes donne alors, puisque $p = -p'$:

$$-\frac{1}{p} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'} \quad \text{soit} \quad p = -2f'$$

Et la distance objet-écran vaut :

$$D = p' - p = 4f'$$

La mesure de D permet d'en déduire la distance focale image f' de la lentille.





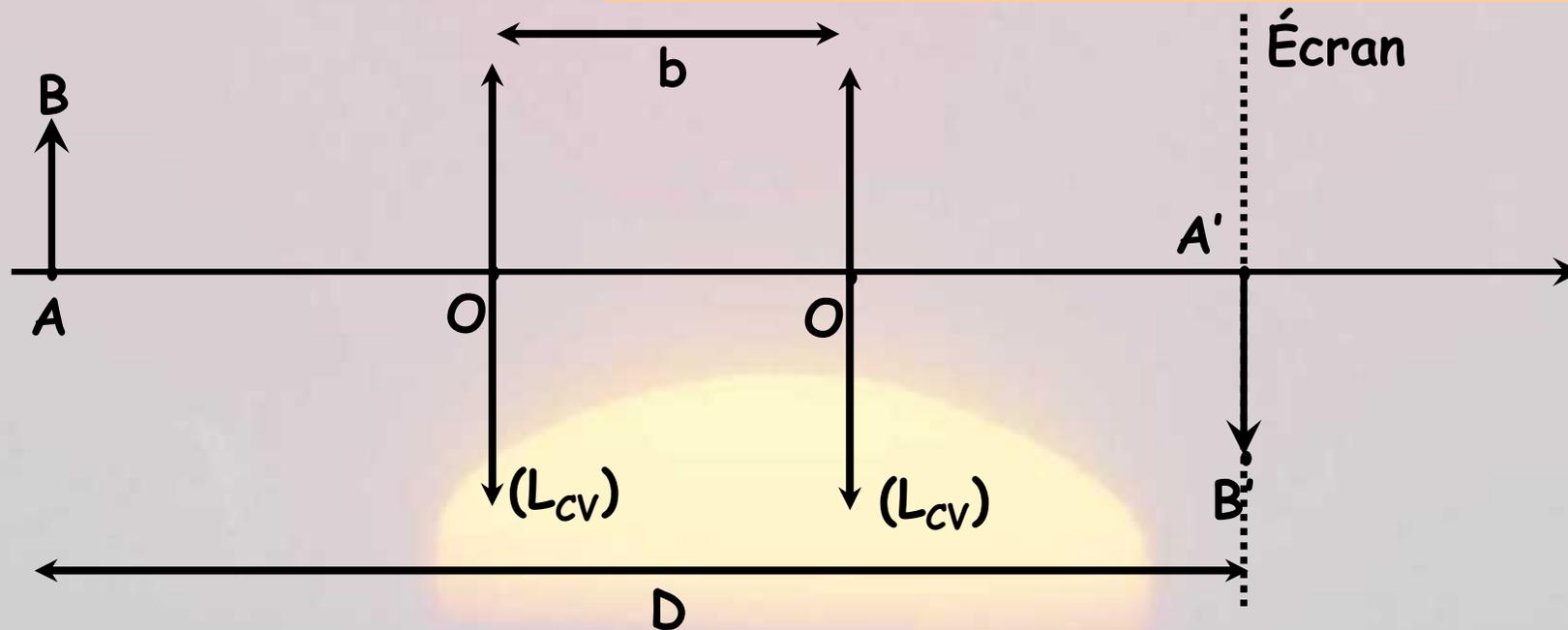
Animation Cabri

(Bessel et Silbermann)

Animation Rousseau

(Focométrie)

c - Méthode de Bessel :



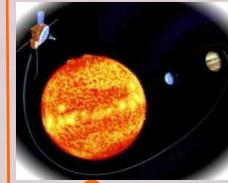
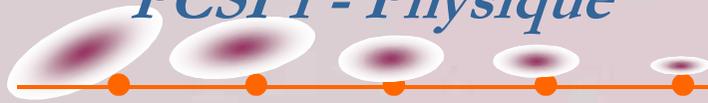
La distance objet-écran D est fixe : il existe deux positions de la lentille qui permettent d'obtenir une image sur l'écran.

Soit b la distance entre les deux positions de la lentille :

$$f' = \frac{D^2 - b^2}{4D}$$

Lycée *Clemenceau*

PCSI 1 - Physique



d - Méthode de Badal :

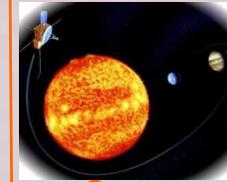
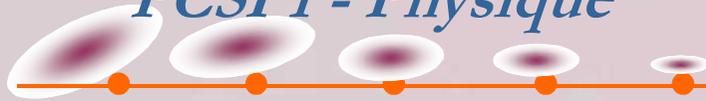
Animation Cabri
(Méthode de Badal)

Animation Rousseau
(Focométrie)



Lycée *Clemenceau*

PCSI 1 - Physique



Annexe : focométrie (étude expérimentale)

But du TP :

- Déterminer la distance focale de lentilles CV en utilisant les méthodes de focométrie citées dans le cours.
- Utiliser un banc d'optique de précision, appelé « banc de Cornu ».

I - Utilisation du banc Jeulin :

1 - Détermination de f' à partir de la relation de conjugaison de Descartes :

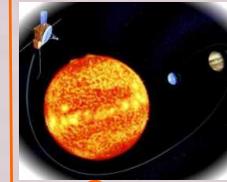
Si on note $p = \overline{OA}$ et $p' = \overline{OA'}$, la relation de Descartes s'écrit :

$$-\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f'}$$



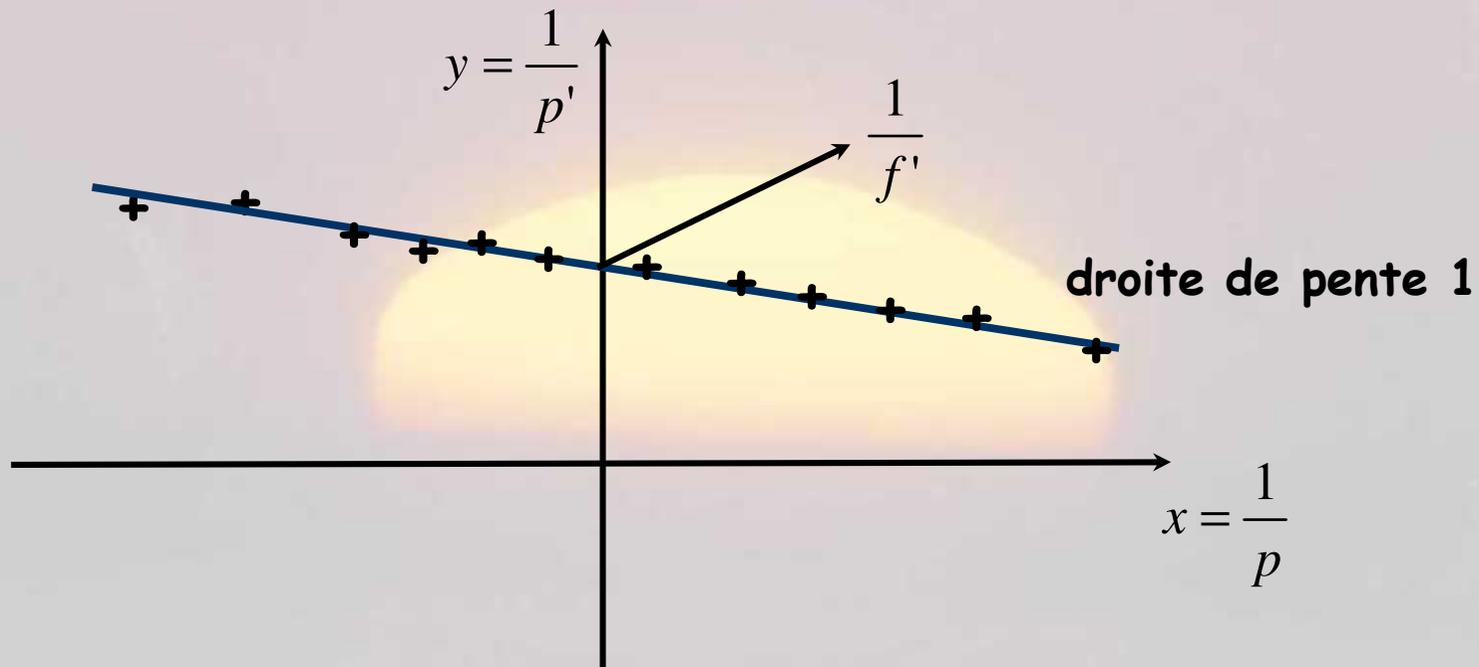
Lycée *Clemenceau*

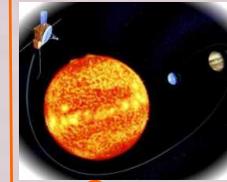
PCSI 1 - Physique



Si l'on pose $x = 1/p$ et $y = 1/p'$: $y = x + \frac{1}{f'}$

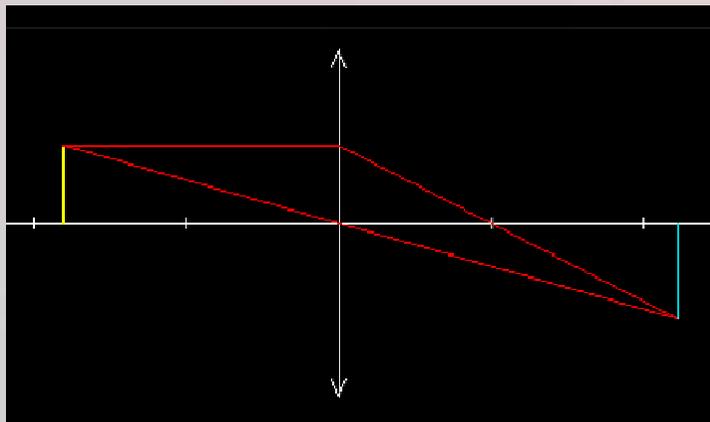
Ainsi, si l'on **trace $1/p'$ en fonction de $1/p$** , on obtient une droite de pente 1 et d'ordonnée à l'origine $1/f'$.





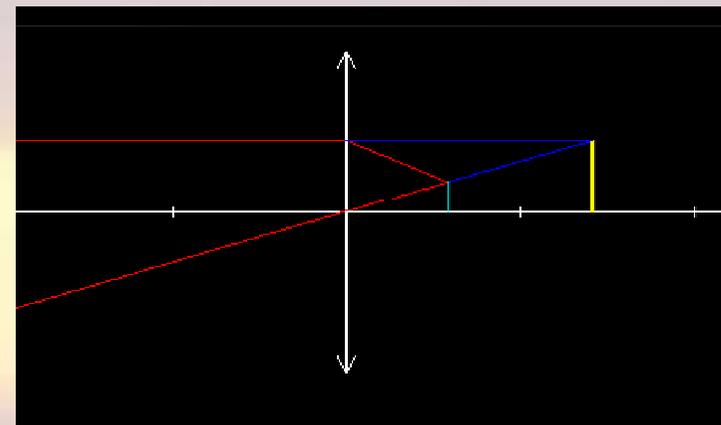
Choisir une lentille CV de distance focale de l'ordre de 20 cm (déterminée rapidement en utilisant cette lentille comme loupe).

Réaliser 6 mesures utilisant un objet réel (figure de gauche, l'objet étant ici une lettre, F ou L) et 6 mesures utilisant un objet virtuel (figure de droite et transparent suivant).



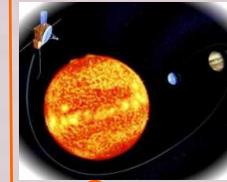
Objet réel ($p < 0$)

Image réelle ($p' > 0$)



Objet virtuel ($p > 0$)

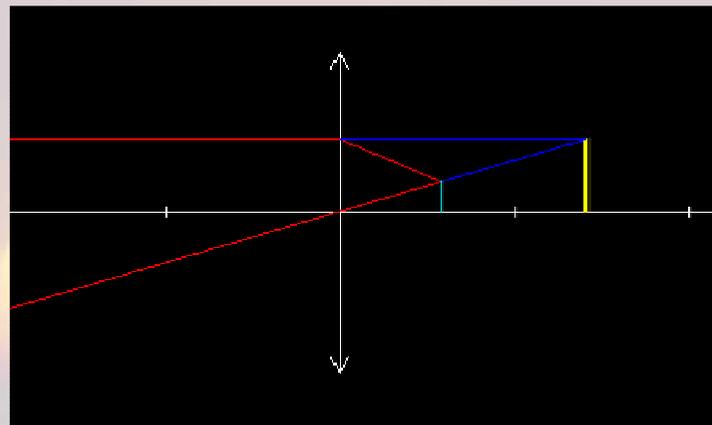
Image réelle ($p' > 0$)



Comment réaliser un objet virtuel ?

Réaliser une première image (réelle) de la lettre (L ou F) à l'aide d'une deuxième lentille CV ; cette image devient ensuite objet virtuel pour la lentille CV dont on cherche la distance focale.

Déterminer l'image sur un écran et mesurer p et p' , qui sont tous deux positifs.



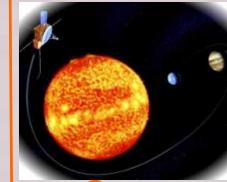
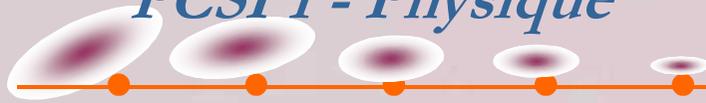
Objet virtuel ($p > 0$)

Image réelle ($p' > 0$)



Lycée *Clemenceau*

PCSI 1 - Physique

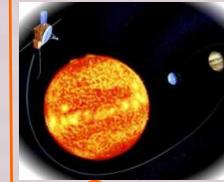
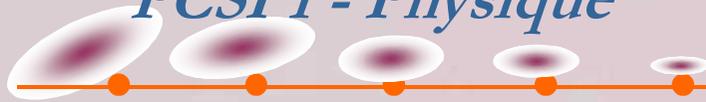


Compléter le tableau de valeurs :

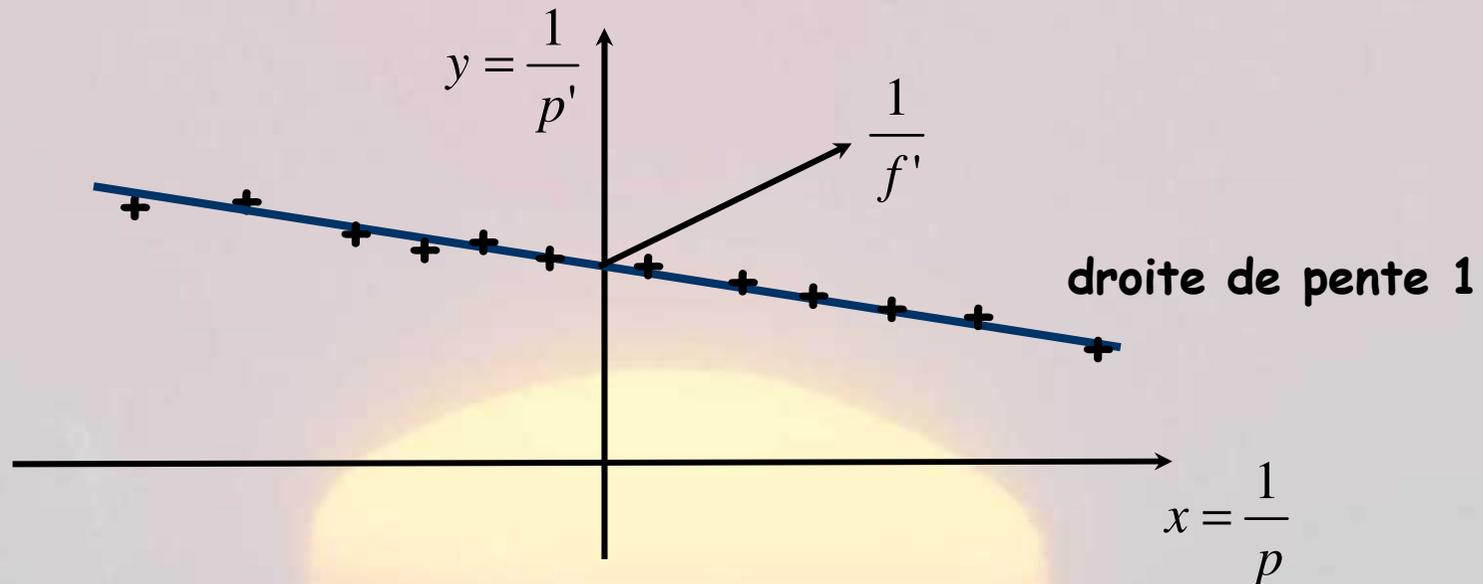
p (cm)												
$1/p$ (cm^{-1})												
p' (cm)												
$1/p'$ (cm^{-1})												

Faire varier p et p' sur la plus grande plage de valeurs possibles.





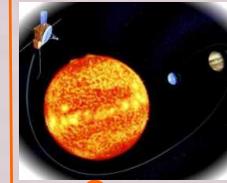
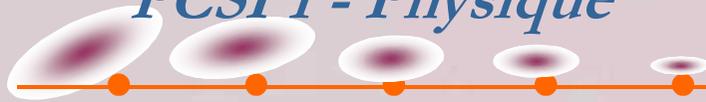
Tracer (sur papier millimétré ou avec Regressi ou Synchronie) la courbe $1/p'$ en fonction de $1/p$:



En déduire la valeur de f' (graphiquement puis par régression linéaire à la calculatrice ou à l'ordinateur).

Peut-on évaluer l'incertitude absolue (puis relative) sur cette distance focale ?





2 - Méthode d'auto collimation :

- Rappeler le principe vu en cours (voir animation).
- Déterminer, avec cette méthode, la distance focale de plusieurs lentilles CV, dont notamment celle utilisée dans le paragraphe précédent.
- Montrer que la distance lentille - miroir est quelconque et que l'inclinaison du miroir n'importe pas.

Animation Rousseau

(Focométrie)

Animation Cabri

Autocollimation 1 et 2

Remarque : bien choisir un miroir plan !

Méthode des opticiens :

On a vu que (formule des opticiens) que, si l'on accole deux lentilles minces, la vergence de l'ensemble est égale à la somme des vergences.

Application : accoler une lentille DV à une lentille CV (de distance focale connue) de telle manière que l'ensemble soit convergent ; mesurer la distance focale équivalente par la méthode d'auto collimation et en déduire la distance focale de la lentille DV.





3 - Méthode de Bessel :

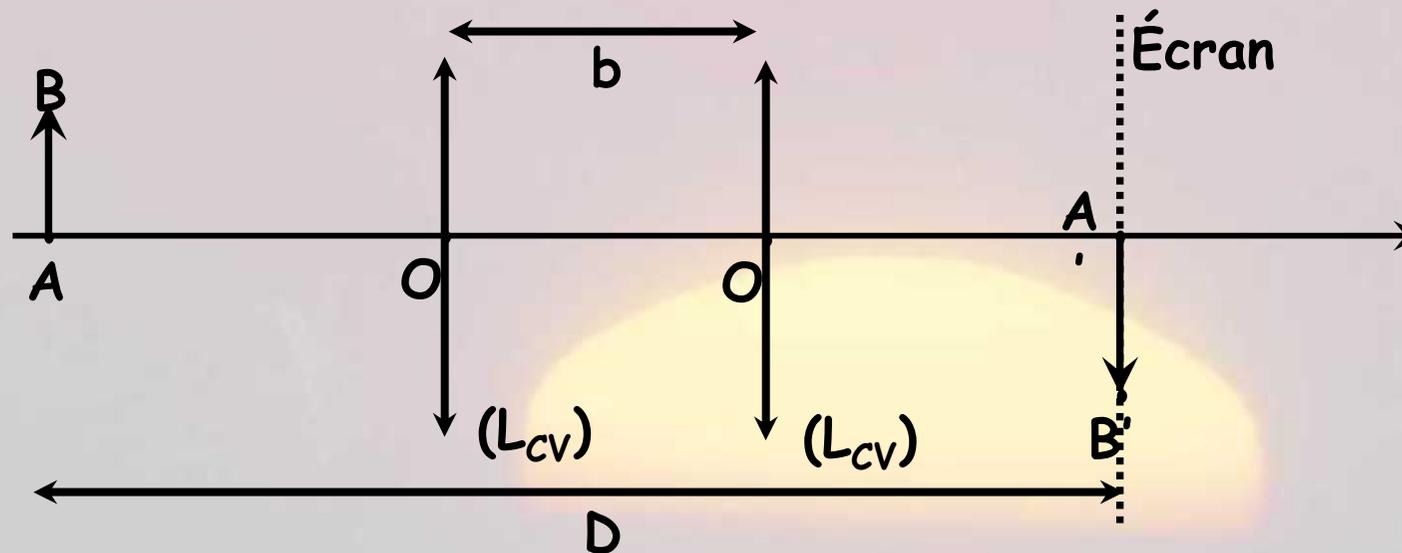
Animation Cabri

Animation Rousseau

(Bessel et Silbermann)

(Focométrie)

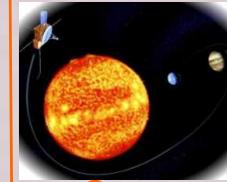
Principe de la méthode : voir diapositive n° 53 :



La distance objet-écran D est fixe : il existe deux positions de la lentille qui permettent d'obtenir une image sur l'écran.

Soit b la distance entre les deux positions de la lentille :

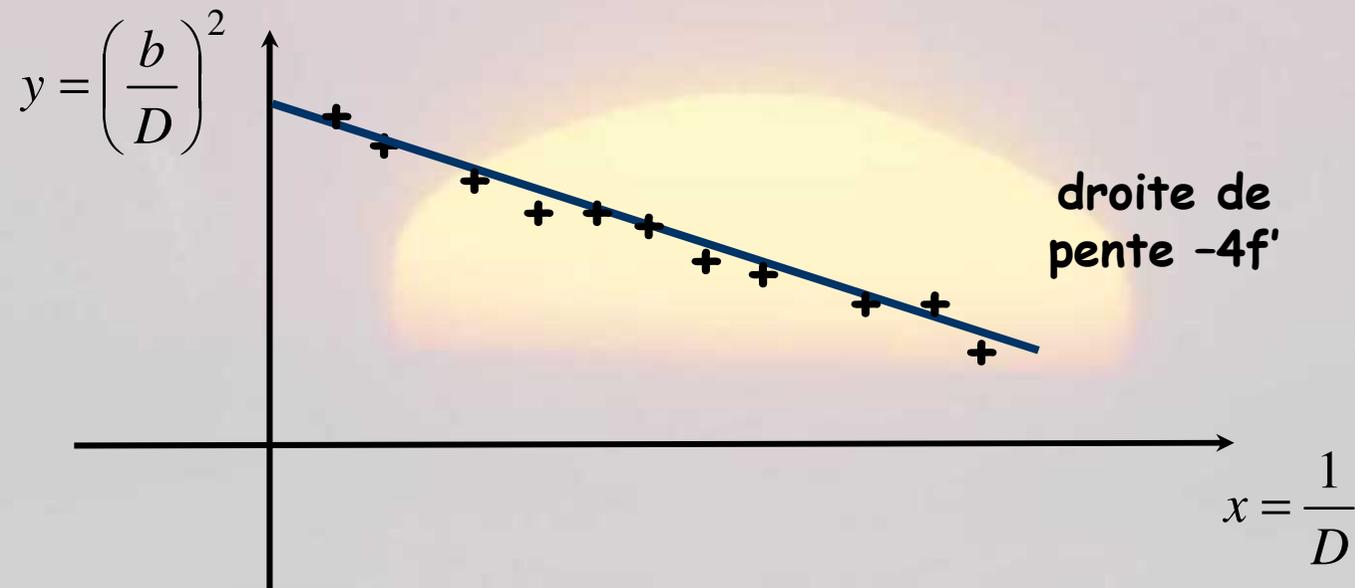
$$f' = \frac{D^2 - b^2}{4D}$$

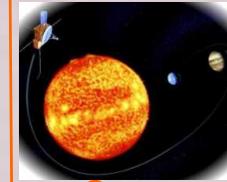
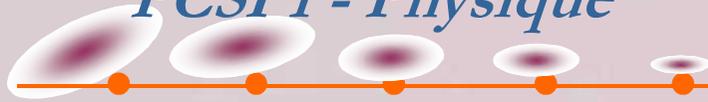


La relation mathématique précédente peut encore s'écrire :

$$\left(\frac{b}{D}\right)^2 = 1 - 4\frac{f'}{D}$$

Ainsi, si l'on trace $y = (b/D)^2$ en fonction de $x = 1/D$, on obtient une droite de pente $-4f'$ et d'ordonnée à l'origine 1 :

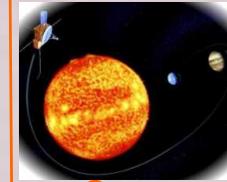




Compléter le tableau de valeurs :

D (cm)												
b (cm)												
$(b/D)^2$												
$1/D$ (cm ⁻¹)												

Faire varier D et b sur la plus grande plage de valeurs possibles.



Tracer la courbe (sur papier millimétré ou sur ordinateur) :

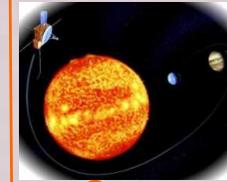


En déduire la valeur de f' (graphiquement puis par régression linéaire à la calculatrice ou à l'ordinateur).

Peut-on évaluer l'incertitude absolue (puis relative) sur cette distance focale ?

Lycée *Clemenceau*

PCSI 1 - Physique



II - Utilisation du banc de Cornu :

1 - Les instruments fondamentaux (collimateur, lunette à réticule et viseur) :

a - Lunette simple (à réticule) :

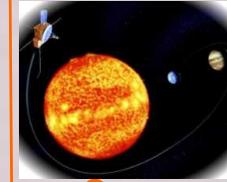
Remarque : pour l'utilisation correcte d'un instrument d'optique, l'œil ne doit pas accommoder (sinon, il se fatigue). Les instruments étudiés dans ce paragraphe sont utilisés pour un œil normal, qui voit net à l'infini sans fatigue (mettre des lunettes dans le cas contraire !).

Une lunette simple (ou lunette de visée à l'infini) permet de voir net des objets à l'infini : elle est constituée d'un objectif, d'un oculaire et d'un réticule.



Lycée *Clemenceau*

PCSI 1 - Physique



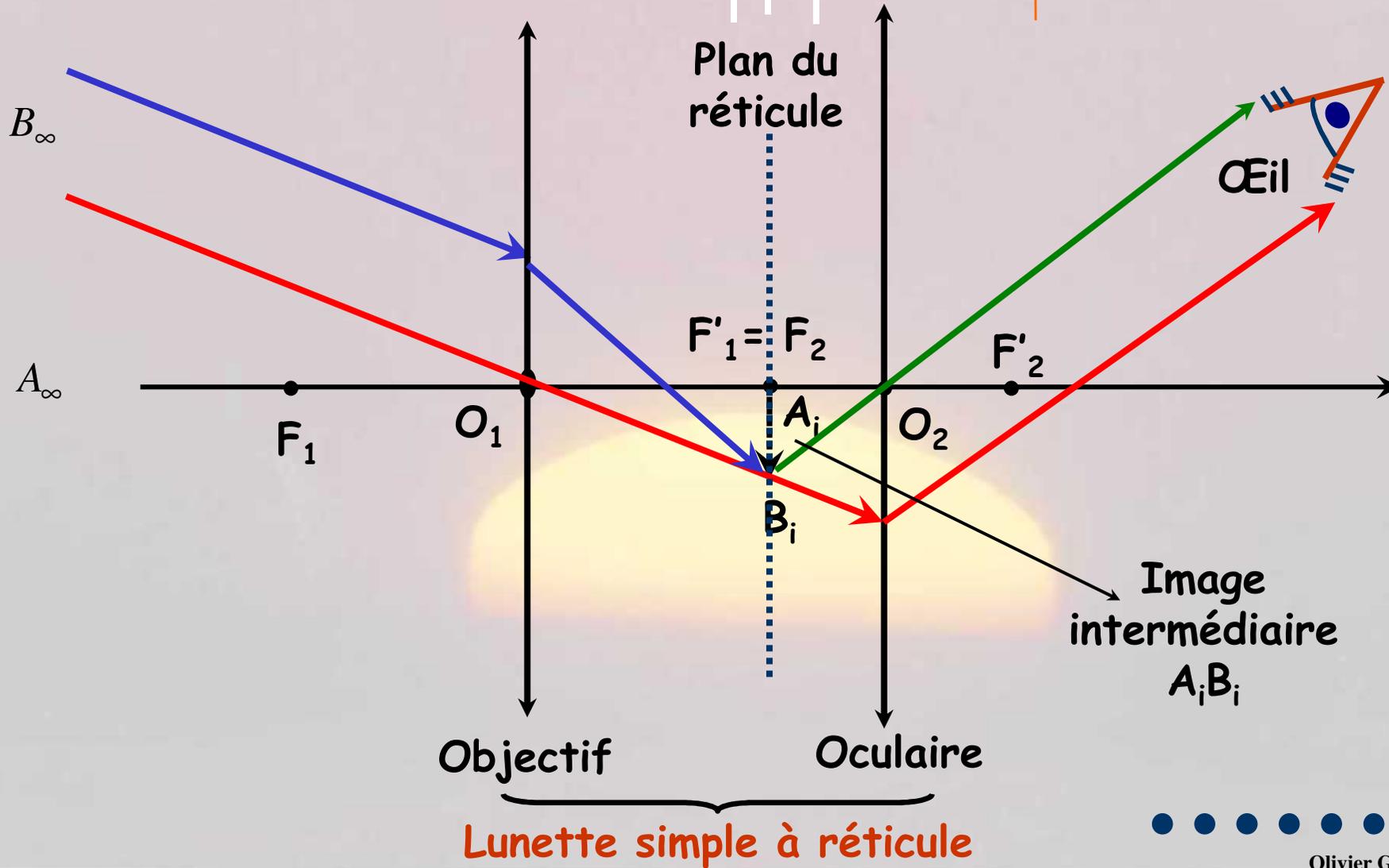
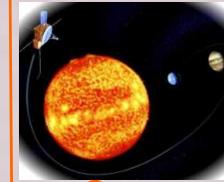
L'objectif (lentille convergente) : il donne de l'objet observé à l'infini une image intermédiaire A_iB_i située dans le plan focal image de l'objectif.

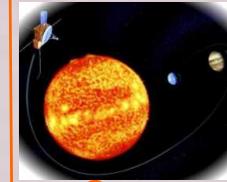
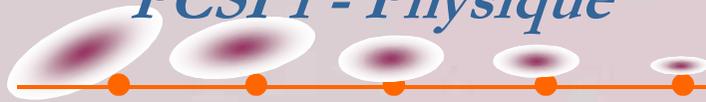
L'oculaire (lentille convergente): le plan focal objet de l'oculaire est confondu avec le plan focal image de l'objectif. Ainsi, l'oculaire joue le rôle de loupe : il donne de l'image intermédiaire A_iB_i une image droite virtuelle rejetée à l'infini, dont l'œil forme, sans accommoder, une image sur la rétine.

Le réticule : généralement constitué d'un ensemble de deux fils à angle droit, il est placé dans le plan focal image de l'objectif (confondu avec le plan focal objet de l'oculaire).

Voir figure sur la diapositive suivante







Réglage d'une lunette simple

Réglage de l'oculaire : régler la distance réticule-oculaire afin de voir le réticule net sans accommoder. Le réticule est alors dans le plan focal objet de l'oculaire.

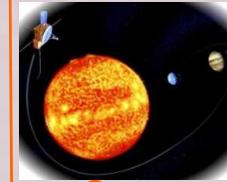
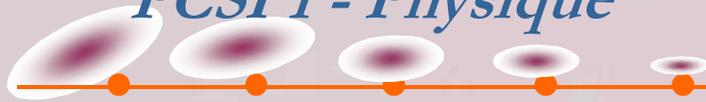
Réglage de l'objectif : viser un objet à l'infini (un arbre de la cours d'honneur du lycée, par exemple). Régler la bague de tirage de l'objectif pour que l'image de cet arbre se forme dans le plan du réticule. Le plan focal image de l'objectif est alors confondu avec le réticule, donc avec le plan focal objet de l'oculaire.

Remarque : une fois la lunette réglée pour un utilisateur, si un autre utilisateur de vue différente veut la régler à sa vue, il lui suffit de modifier la distance oculaire-réticule pour avoir une image nette mais sans toucher à la distance objectif-réticule !



Lycée *Clemenceau*

PCSI 1 - Physique



b - Viseur (ou lunette à frontale fixe) :

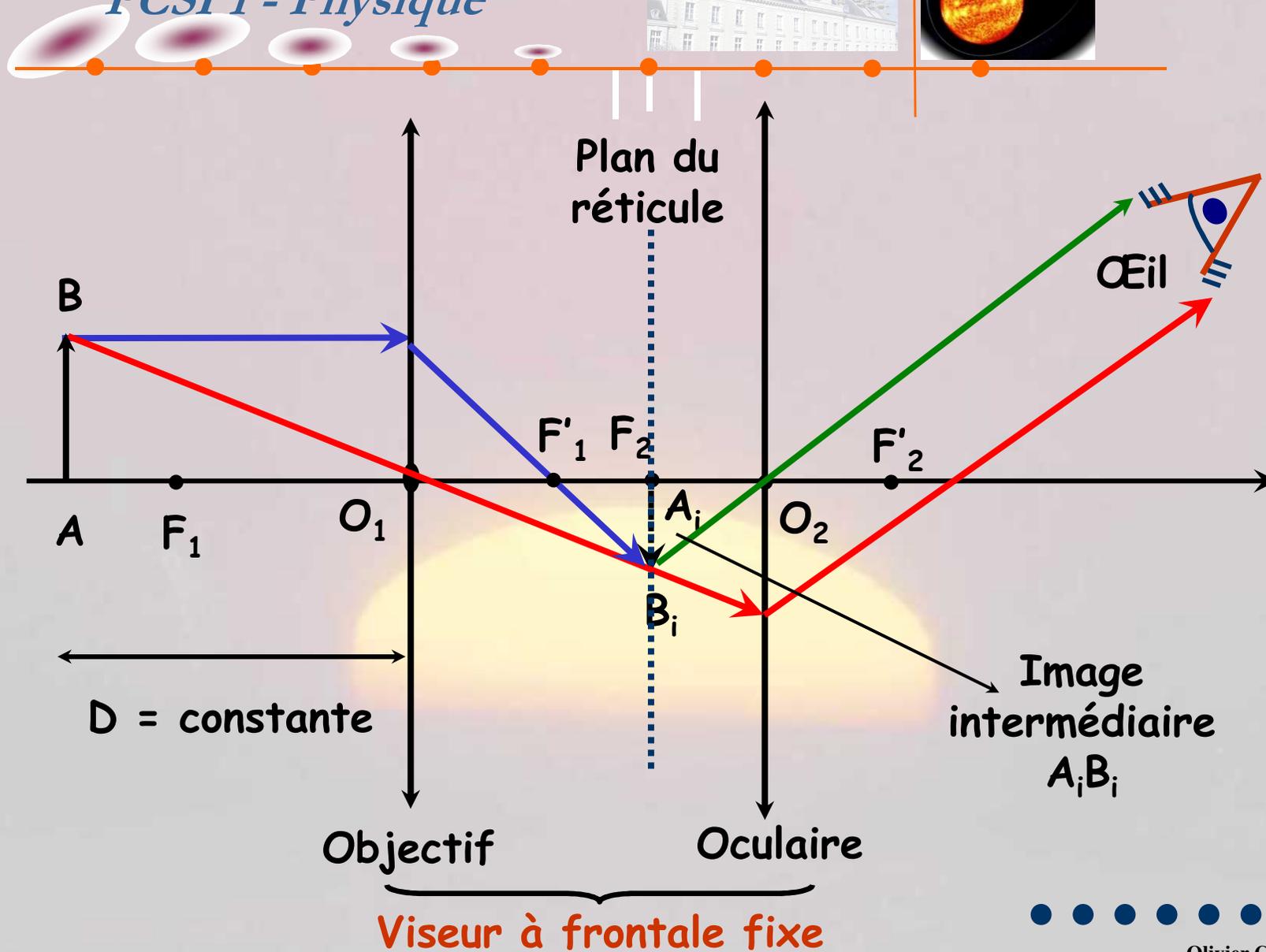
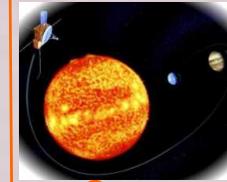
Un viseur est une lunette donnant une image nette d'un objet à distance finie D , caractéristique du viseur. Cette image est rejetée à l'infini et peut être récupérée par l'œil.

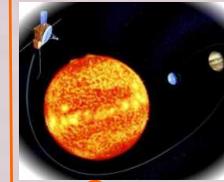
Un viseur est appelé « lunette à frontale fixe » car la distance entre l'objet et la lunette est constante et caractéristique du viseur.

On transforme une lunette simple en viseur en ajoutant, par exemple, devant l'objectif d'une lunette simple, une lentille CV additionnelle, appelée bonnette.

Voir figure sur la diapositive suivante







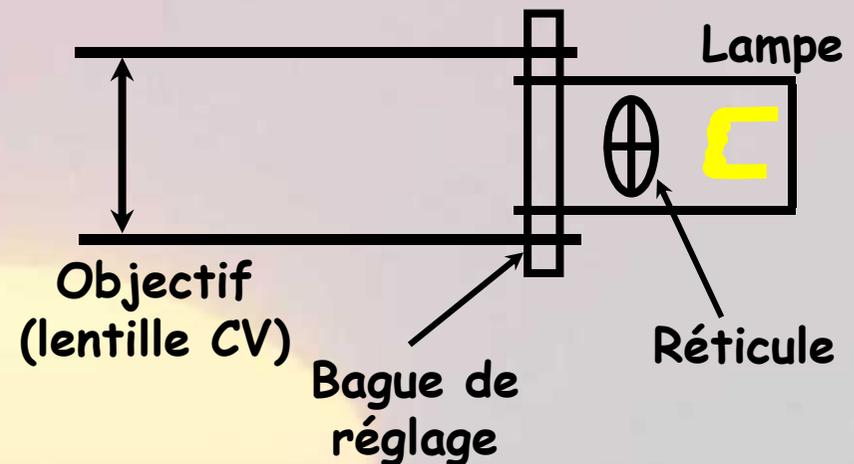
c - Collimateur :

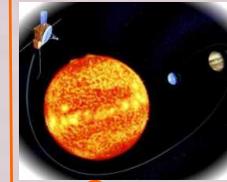
Un collimateur est un système optique permettant d'obtenir une image à l'infini qui pourra, éventuellement ensuite, être visé par une lunette de visée à l'infini.

Le réticule est éclairé par une lampe. Il doit être placé dans le plan focal objet de l'objectif afin de réaliser une image à l'infini.

Pour régler le collimateur, on utilise une lunette de visée à l'infini ; l'image du réticule du collimateur doit, par le système (collimateur-lunette à l'infini), être nette.

La bague de réglage permet d'ajuster la distance (réticule-lampe) et de placer ainsi le réticule dans le plan focal objet de l'objectif.





2 - Détermination de la distance focale d'une lentille CV à l'aide d'un objet rejeté à l'infini :

L'utilisation d'un viseur permet des mesures de distances beaucoup plus précises qu'avec le banc Jeulin. Dans cette partie, on va déterminer la distance focale d'une lentille convergente à l'aide d'un objet rejeté à l'infini.

Réalisation de l'objet à l'infini : vérifier que la lunette de visée est bien réglée à l'infini. Placer notamment le réticule dans le plan focal objet de l'oculaire (pour cela, l'œil doit voir le réticule sans accommoder). A l'aide de la lunette réglée à l'infini, régler le collimateur à l'infini : la mire du collimateur doit être vue nette à travers la lunette.

Distance de visée du viseur : ajouter la bonnette à la lunette de visée réglée à l'infini et déterminer, à titre indicatif, l'ordre de grandeur de la distance D de visée du viseur.

Mesure de la distance focale : placer une lentille convergente devant le collimateur. Où se forme l'image de la mire du collimateur ? Avec le viseur, pointer cette image (noter la graduation au pied du viseur) puis pointer la lentille (mettre une croix au feutre sur la lentille). Déterminer alors la distance focale f' de la lentille en cm. Quelle est l'incertitude f' ?

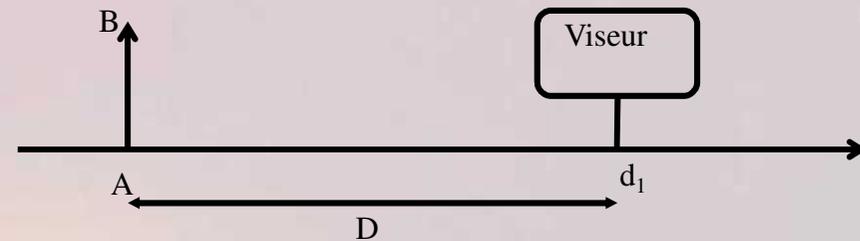




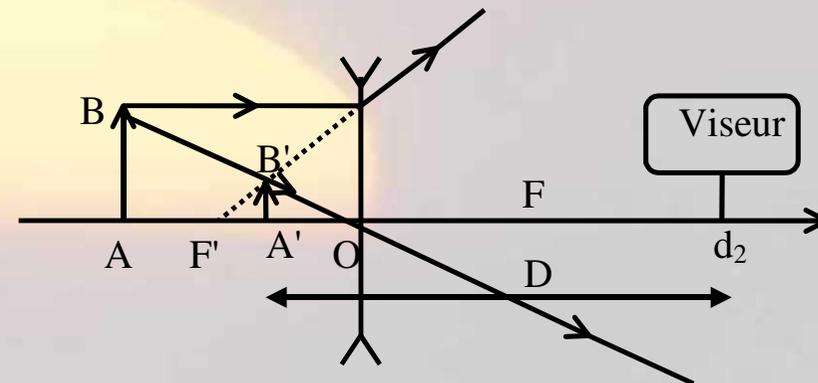
3 - Utilisation de la formule de conjugaison de Descartes, détermination d'une distance focale d'une lentille DV :

On réalise les trois pointés suivants :

* On pointe l'objet, seul sur le banc d'optique et l'on note la position du viseur lue sur le pied du viseur (graduation d_1).

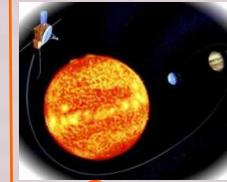


* On place la lentille divergente et l'on pointe l'image virtuelle A'B' à travers la lentille divergente. On note d_2 la graduation du pied du viseur.

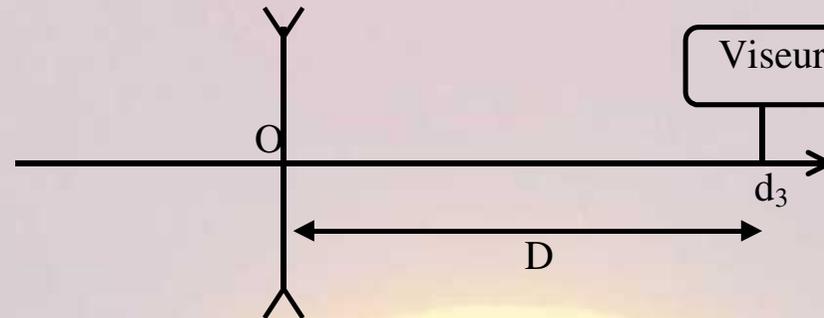


Remarque : l'objet est une règle translucide placée à la sortie du collimateur (à distance finie !).





* On pointe maintenant la lentille divergente (faire une croix au marqueur sur une des faces de la lentille). Soit d_3 la graduation lue au pied du viseur.



Montrer que ces pointés permettent de déterminer, avec les notations habituelles, p et p' .

Faire une série de six mesures et en déduire, avec la relation de conjugaison de Descartes, la distance focale f' de la lentille divergente.

