Optique Instrumentale

Travaux Dirigés

https://lense.institutoptique.fr/optique-instrumentale-s5/

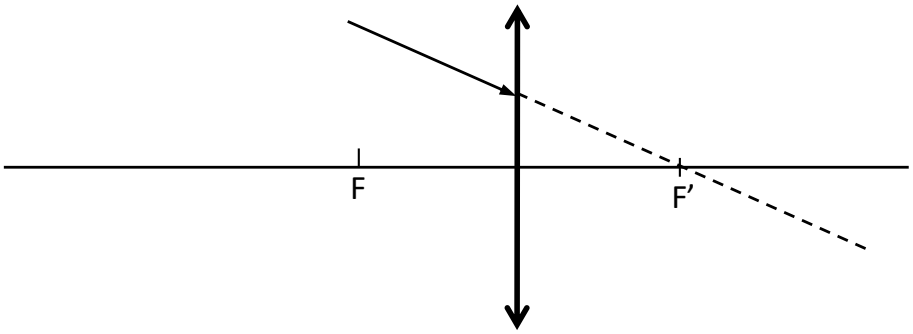
Ce document appartient à

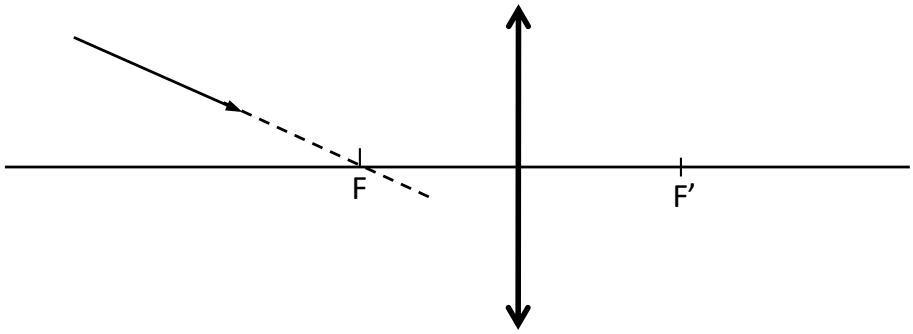
_____

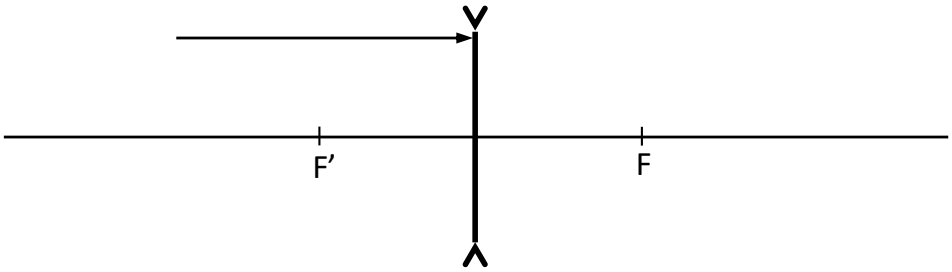
Cursus	**1A**
Date de mise à jour	**septembre 2026**
Année scolaire	**2026/2027**
Auteur	**Sébastien de Rossi**

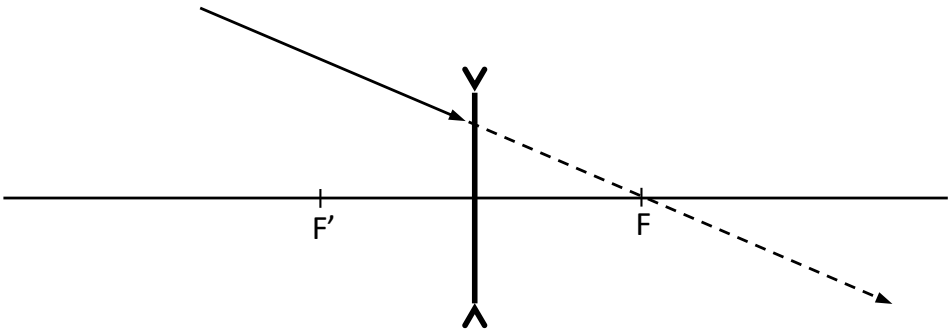
TD 1 Constructions géométriques dans les lentilles minces

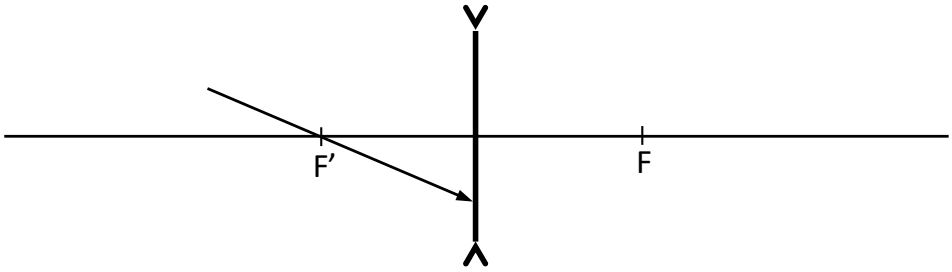
Poursuivre la trace du rayon incident à travers la lentille.



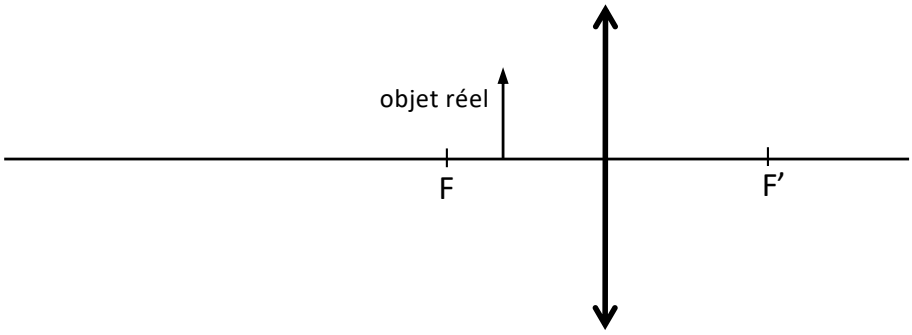


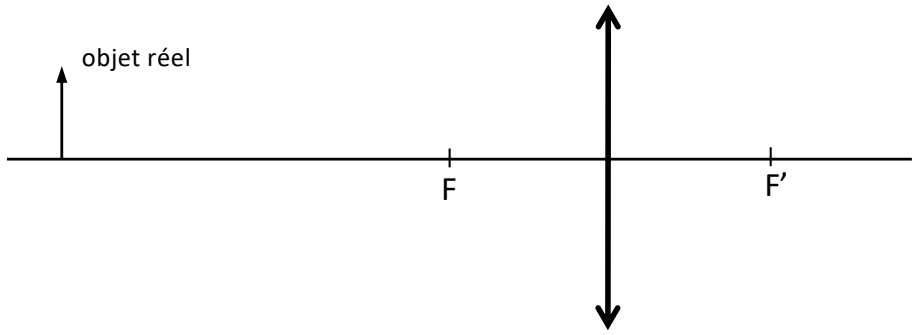


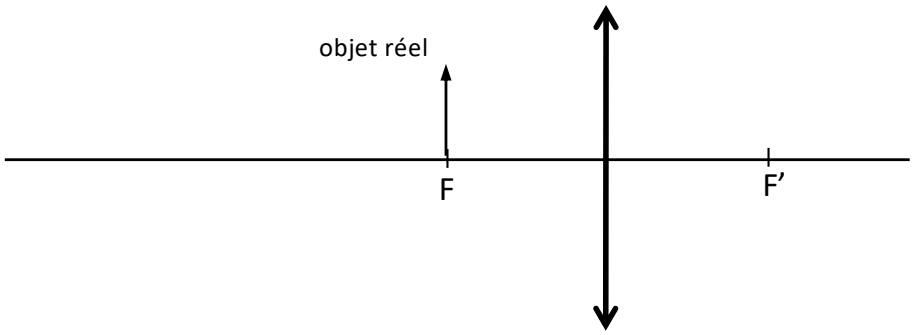


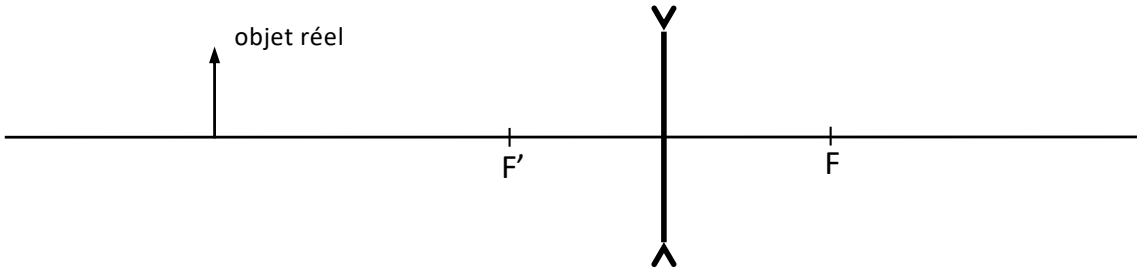


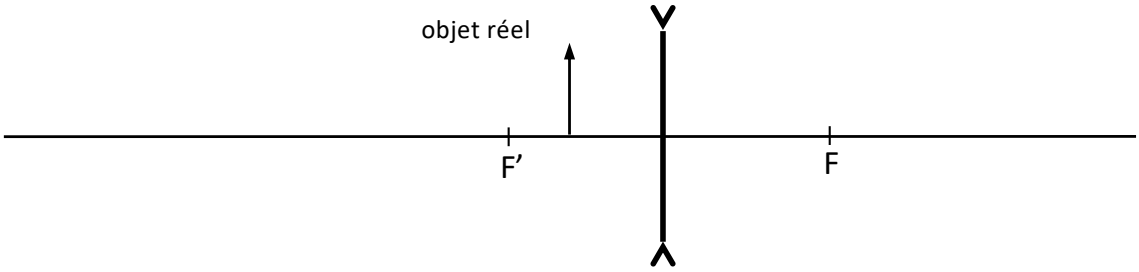
Tracer l'image de l'objet à travers le système optique.

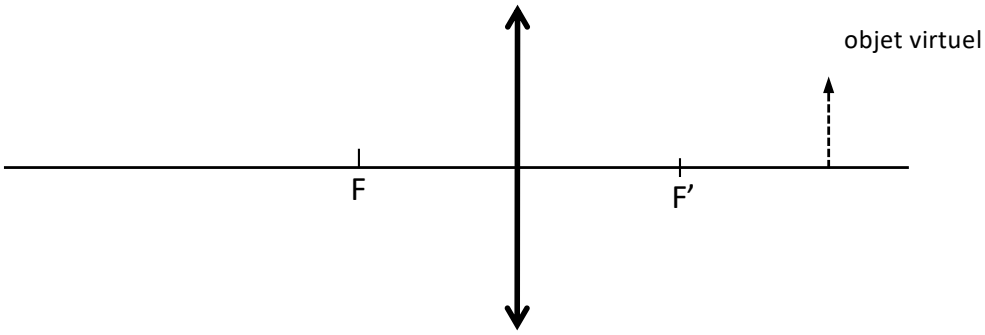


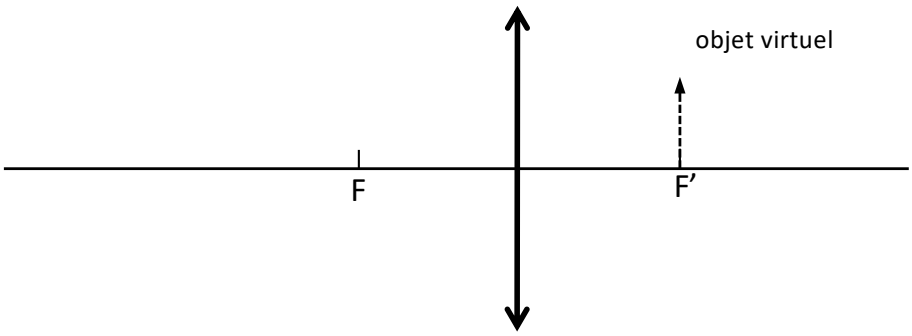









objet virtuel
F
F’


objet virtuel
F
F’

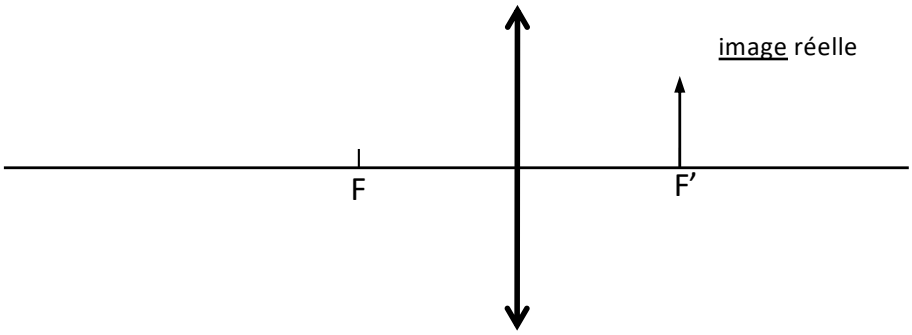
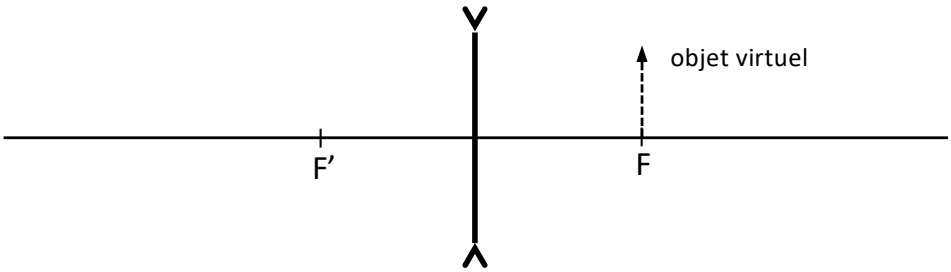


image réelle
F
F’


objet virtuel
F’
F

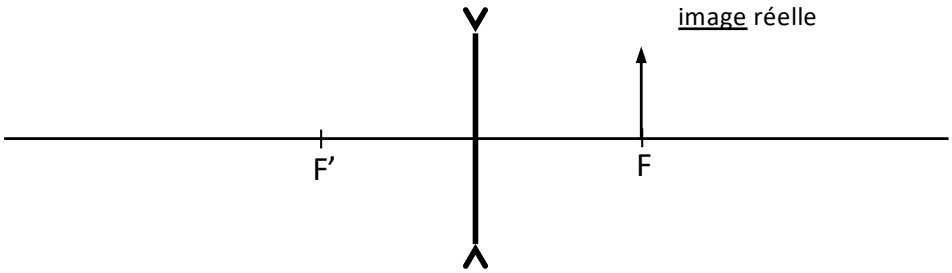
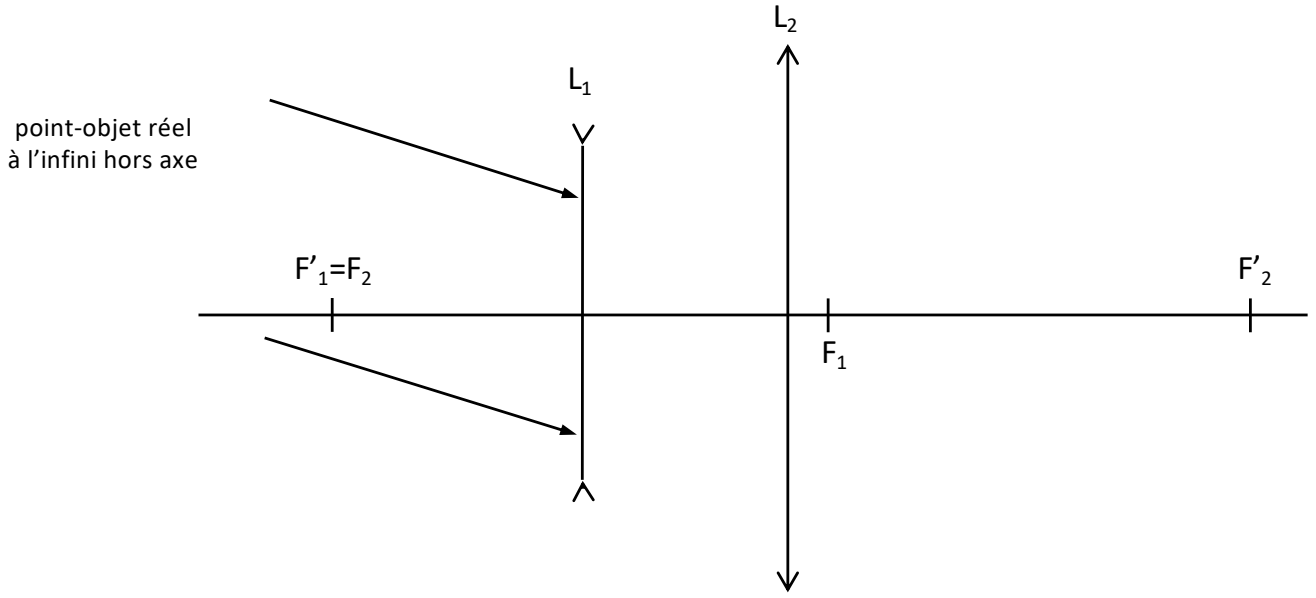
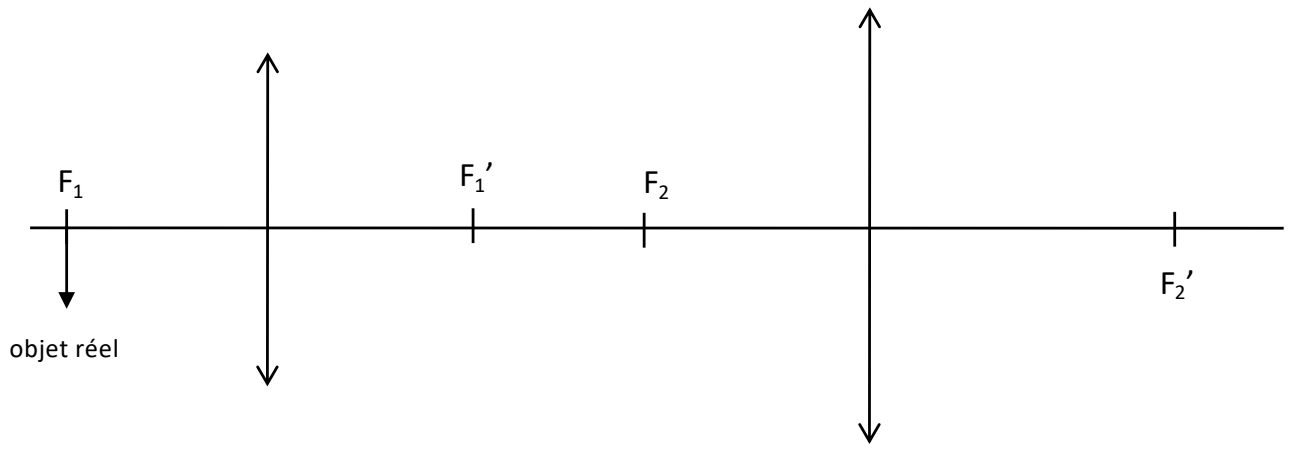
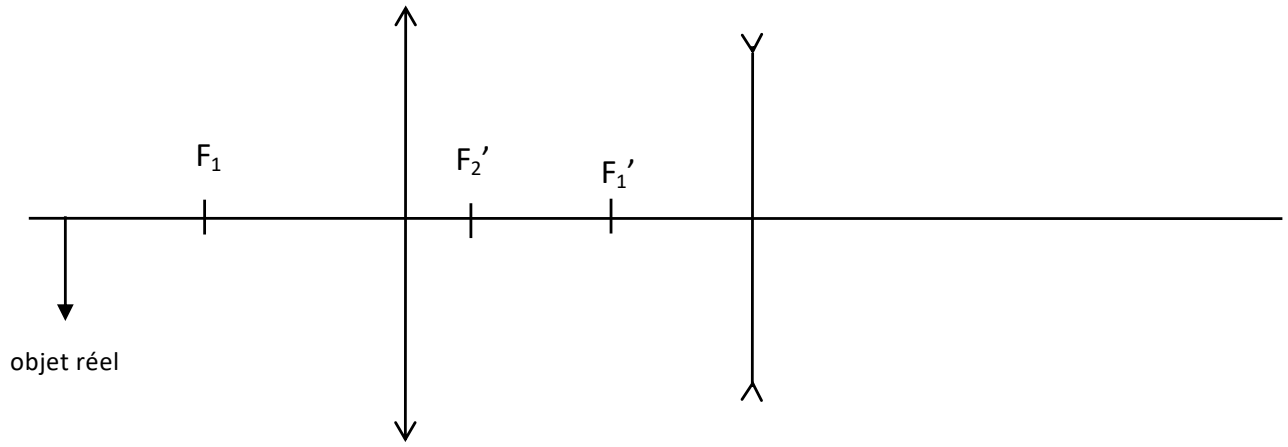
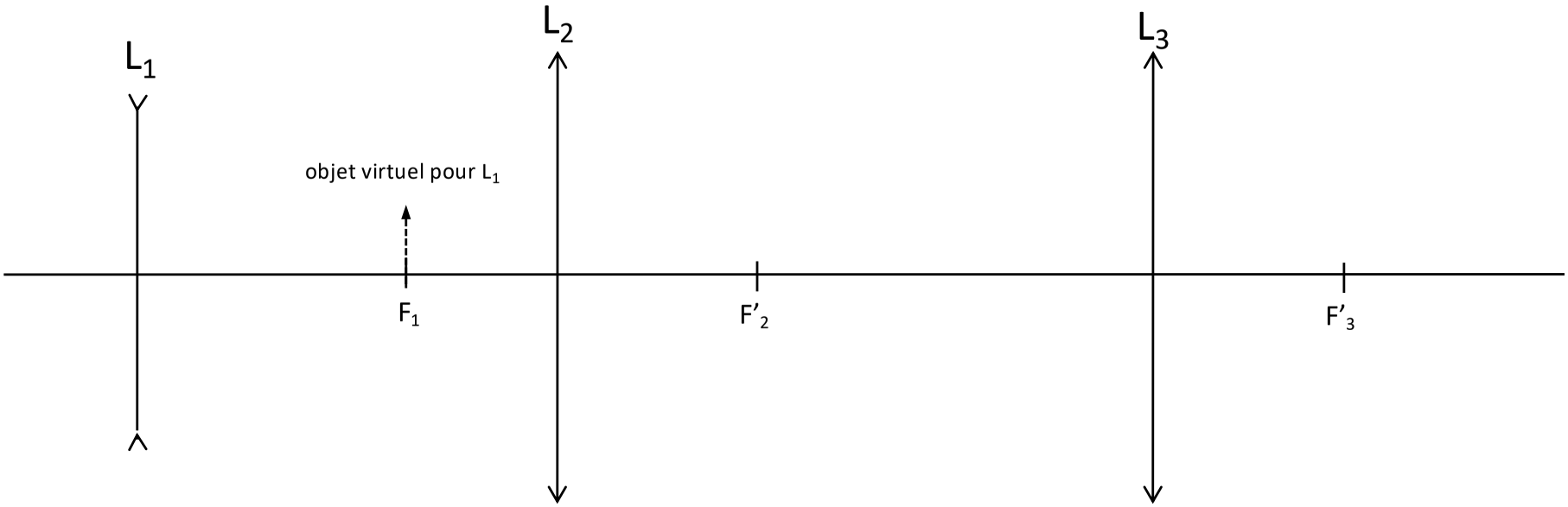


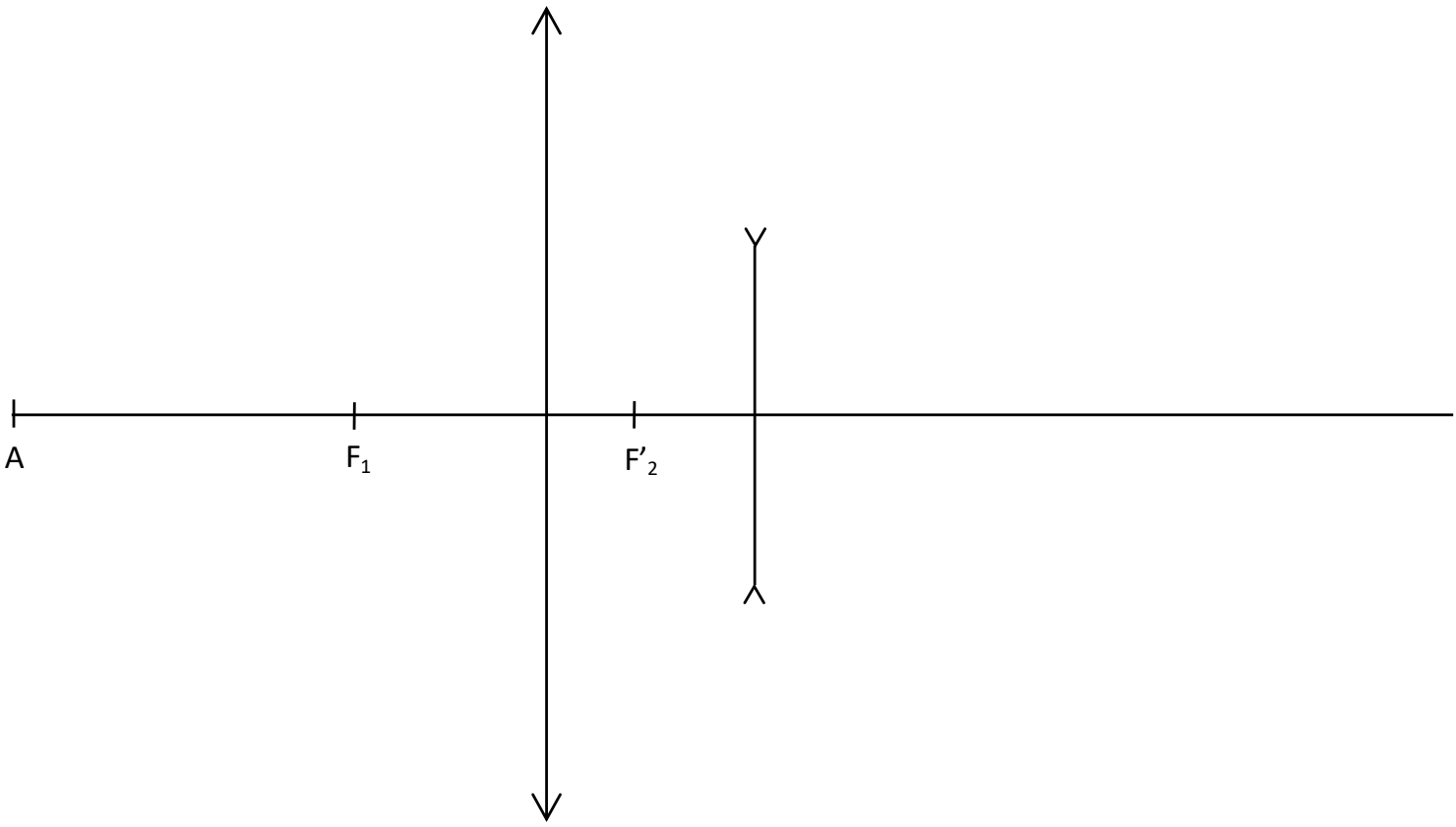
image réelle
F’
F

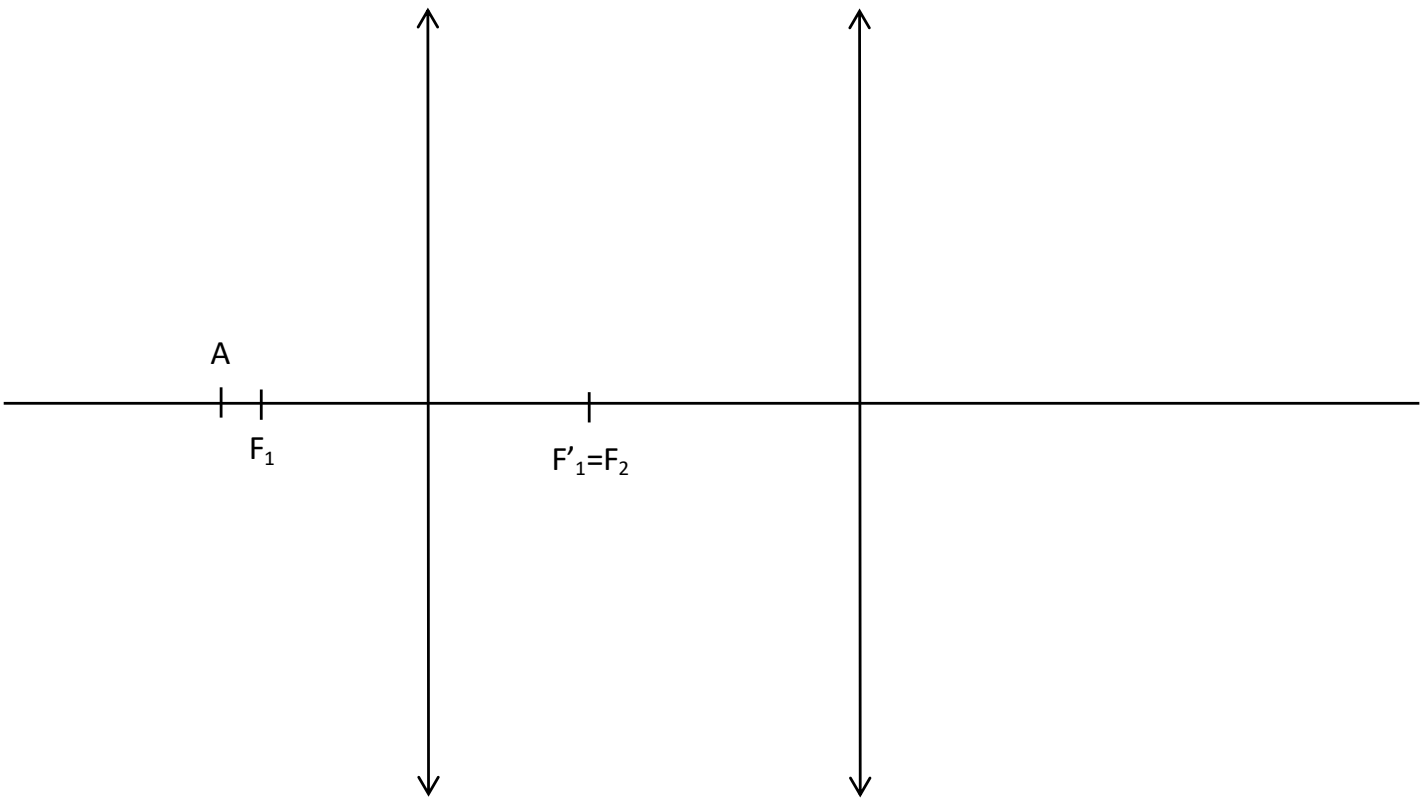

L2
L1
point-objet réel
à l'infini hors axe
F'1=F2
F'2
F1


F1
F1'
F2
F2'
objet réel


F1
F2'
F1'
objet réel


L1
L2
L3
objet virtuel pour L1
F1
F'2
F'3


A
F1
F'2


A
F1
F'1=F2

TD2 Lentilles minces, systèmes centrés

1. Le Soleil a un diamètre de $1{,}4\times10^6$ km et est situé à $1{,}5\times10^8$ km de la Terre. Quelle est le diamètre du spot de lumière focalisé par une lentille mince convergente, de distance focale 100 mm et de diamètre 20 mm ?

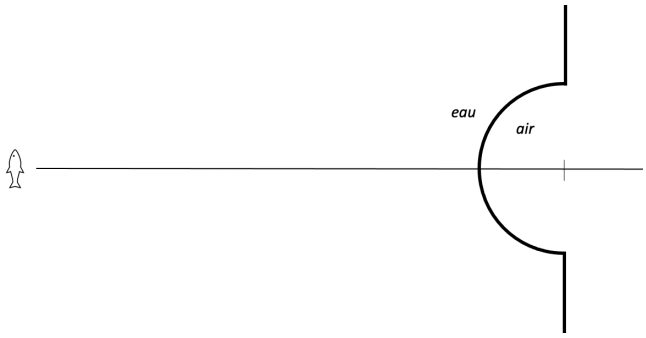
2. On vous demande de former à 1 mètre une tache lumineuse de diamètre 1 mm avec une LED de taille de diamètre 3 mm. Déterminer la nature, la focale et la position de la lentille mince nécessaire.

3. Le capteur carré d'un smartphone fait 5 mm de côté avec des pixels carrés de côté 5 µm. L'objectif photo associé a une distance focale de 5 mm. Sur combien de pixel s'étale la tour Eiffel (300 m de haut) située à 5 km.

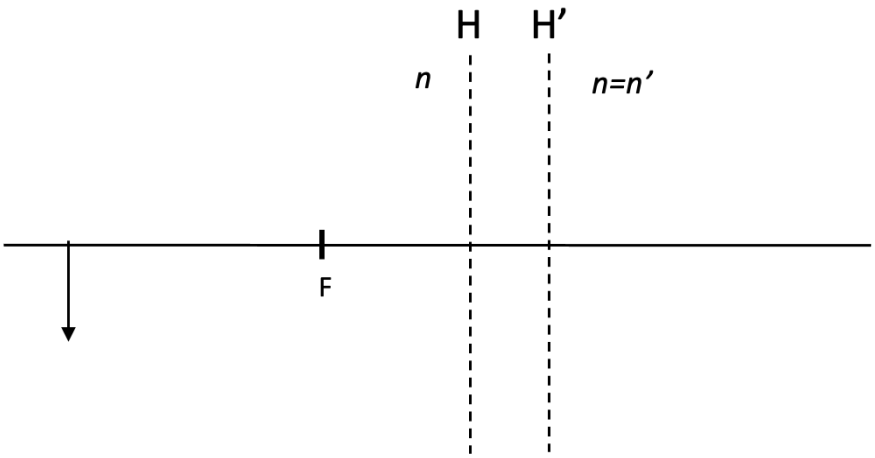
4. Une source lumineuse de diamètre 100 µm est collimatée par une lentille de focale 1 mètre. Quel est le diamètre de l'empreinte du faisceau à 1 km ?

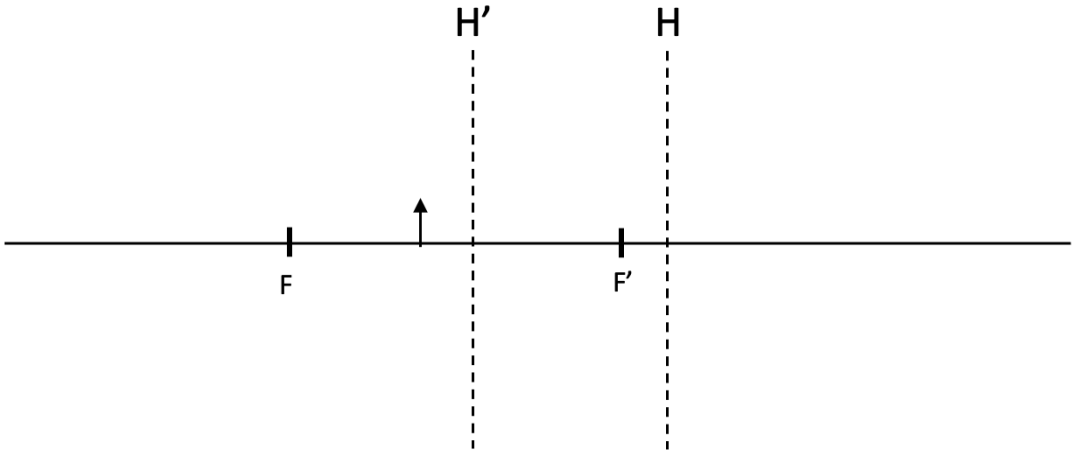
5. Un système optique centré de distance focale 1500 mm et d'interstice $\overline{HH'} = -76\ mm$, fait l'image d'un objet situé à l'infini vu sous un angle de 56'' (objet et image sont dans l'air). Déterminer la taille de l'image et sa distance par rapport au plans principaux. Faites un dessin.

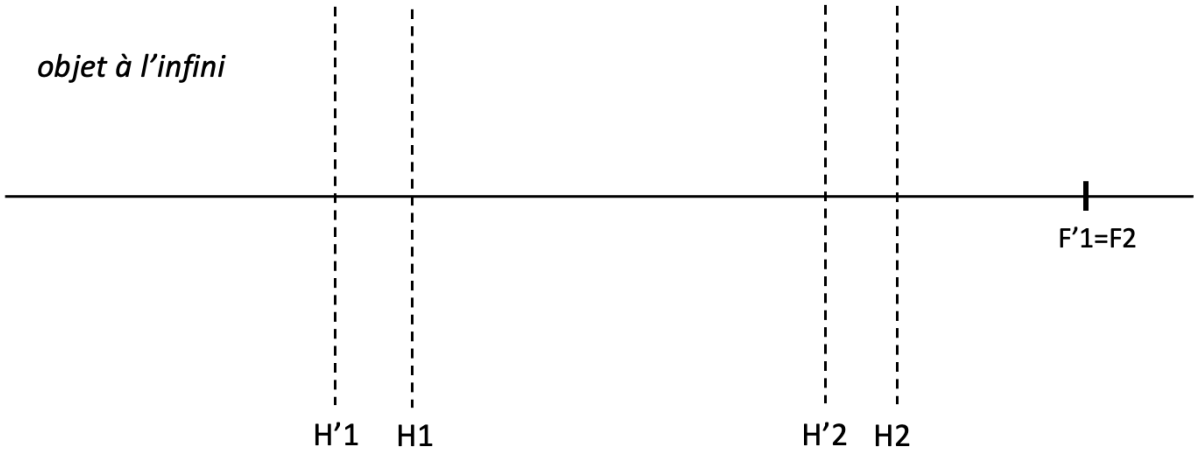
6. Un poisson de taille 20 cm est à 5 mètres d'une vitre sphérique. La vitre est convexe (la lumière se propage du poisson vers la vitre) et son rayon de courbure est +1 mètre. On néglige son épaisseur. Déterminer la position et la taille de l'image du poisson. Faites un schéma en positionnant les foyers.

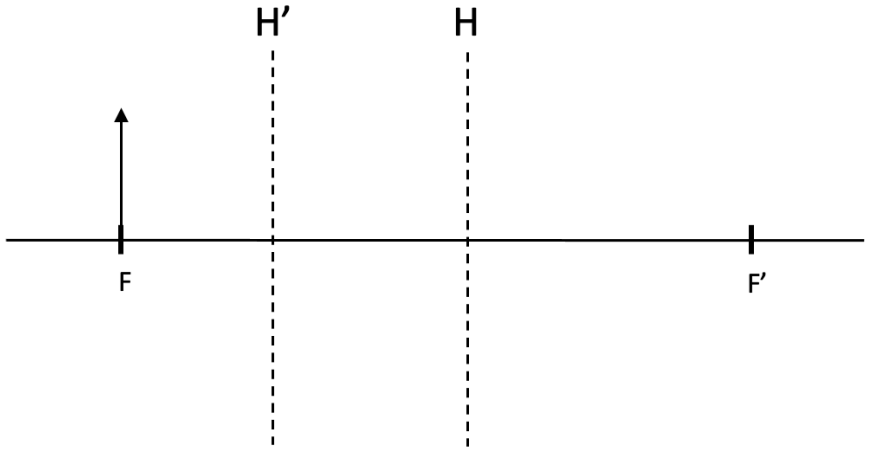


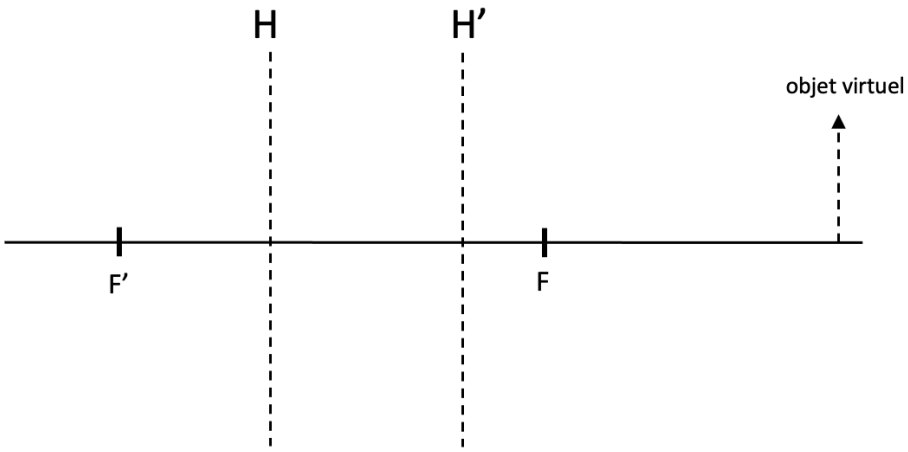
7. Faire les tracés de rayons suivants.

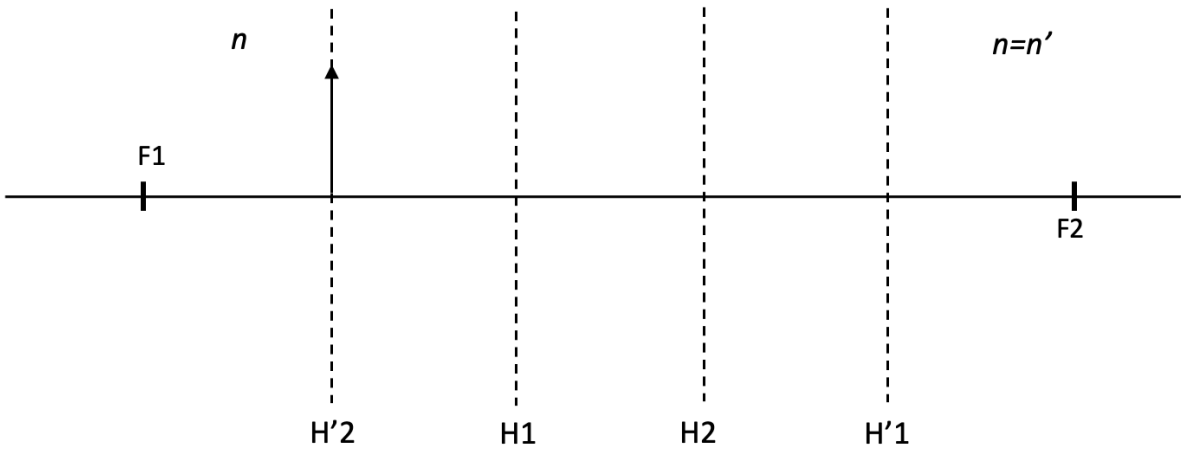

H
H'
n
n=n'
F


H'
H
F
F'


objet à l'infini
F'1=F2
H'1
H1
H'2
H2


H'
H
F
F'


H
H'
objet virtuel
F'
F


n
n=n'
F1
F2
H'2
H1
H2
H'1

TD3 Lunette afocale

On considère une lunette afocale formée des éléments optiques suivants,

- Un objectif de focale 800 mm et de diamètre 80 mm assimilé à une lentille mince convergente
- Un oculaire de focale 80 mm et de diamètre 30 mm assimilé à une lentille mince convergente

1. Faire un schéma de principe de la lunette et écrire les conjugaisons.
2. Déterminez la distance entre l'objectif et l'oculaire.
3. Exprimer la taille de l'image intermédiaire fournie par l'objectif d'un objet vu à l'infini sous un angle θ, puis exprimer l'angle θ' sous lequel est vue l'image intermédiaire à travers l'oculaire. En déduire une expression du grossissement de la lunette.
4. Sur l'annexe (échelle transversale ×1 et longitudinale ×1/4) faire un schéma de la lunette complète et tracer deux rayons, provenant d'un point objet à l'infini sur l'axe, qui s'appuient sur les bords de l'objectif et qui traversent toute la lunette.
5. Déterminer la position et le diamètre de la pupille d'entrée de la lunette.
6. Déterminer la position et le diamètre de la pupille de sortie. La positionner sur le schéma. Que constatez-vous par rapport à votre tracé de la question 4.
7. Trouver une relation entre le grossissement de la lunette et les diamètres des pupilles d'entrée et de sortie.
8. Tracer deux rayons qui s'appuient sur les deux bords de la pupille d'entrée, pour un point objet provenant d'un bord du champ de pleine lumière (CPL) et qui traversent l'ensemble de la lunette.
9. Déterminer le CPL image, intermédiaire et objet.

On utilise cette lunette afocale pour pointer la position longitudinale d'un test mobile positionné au foyer objet d'une lentille mince convergente de focale 100 mm. Par construction, l'œil de l'observateur est placé dans le plan focal image de l'oculaire.

10. Que vaut le grandissement longitudinal de l'ensemble {collimateur + objectif} entre le test et le plan focal objet de l'oculaire ?
11. Si l'utilisateur accommode à 4 mètres au lieu de l'infini, quelle erreur commettra-t-il sur la position du test ?

Echelle longitudinale : $\times 1/4$
Echelle transversale : $\times 2$

Lunette afocale

OBJECTIF

TD4 Microscope

On réalise un microscope avec un objectif de grandissement ×3, de focale 40 mm, de diamètre 6 mm, et avec un oculaire de grossissement commercial ×20, de diamètre 8 mm. Les deux lentilles sont considérées minces et convergentes. Le diaphragme d'ouverture (pupille du système) est un diaphragme de diamètre 4 mm placé au foyer image de l'objectif.

1. Faire un schéma de principe et écrire les conjugaisons.

2. Déterminer la distance entre le centre de l'objectif et son plan objet, et la distance entre le centre de l'objectif et son plan image.

3. Déterminer la focale de l'oculaire à l'aide du grossissement commercial $G_{c-oculaire}$. *Le grossissement commercial est défini comme le rapport entre l'angle θ' sous lequel est vu l'image à travers l'instrument de l'objet (de taille y) et l'angle θ_{250} sous lequel serait vu l'objet s'il était placé à 250 mm de l'œil sans instrument.* $G_{c-oculaire} = \frac{\theta'}{\theta_{250}}$.

4. Sur l'annexe (échelle transversale ×20 et longitudinale ×1), tracer deux rayons provenant d'un objet ponctuel placé au foyer du microscope sur l'axe et traversant l'instrument dans sa totalité en s'appuyant sur les deux bords du diaphragme d'ouverture.

5. Où se trouve la pupille d'entrée du microscope et sous quel angle est-elle vue ?

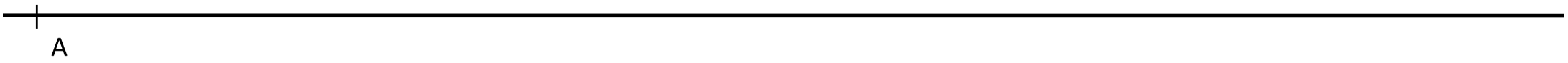
6. Déterminer la position et la taille ϕ_{PS} de la pupille de sortie et la positionner sur le schéma.

7. Sur l'annexe, tracer deux rayons qui s'appuient sur les deux bords de la pupille d'entrée, pour un point objet provenant d'un bord du champ de pleine lumière et qui traversent l'ensemble du microscope.

8. Faites le tracé en bord de champ total et comparer votre résultat à l'expression approchée $\phi_{CT} \approx \phi_{oculaire}/g_y$ (expression que vous pourrez retrouver analytiquement).

Echelle longitudinale : $\times 1$
Echelle transversale : $\times 20$

Microscope



TD5 Objectif de Gauss

L'objectif de Gauss est un objectif symétrique constitué de deux lentilles minces convergentes identiques L_1 et L_2 de centre respectif O_1 et O_2, placées symétriquement par rapport au diaphragme d'ouverture D. Cet objectif est utilisé avec un capteur constitué de 512×512 pixels carrés de 20 μm de côté et travaille pour un objet placé à l'infini. Les lentilles L_1 et L_2 sont séparées de 40 mm et leurs focales identiques valent $f'_1 = f'_2 = 60\ mm$. Le diamètre du diaphragme D est de 11,25 mm. La longueur d'onde de travail est $\lambda = 500\ nm$.

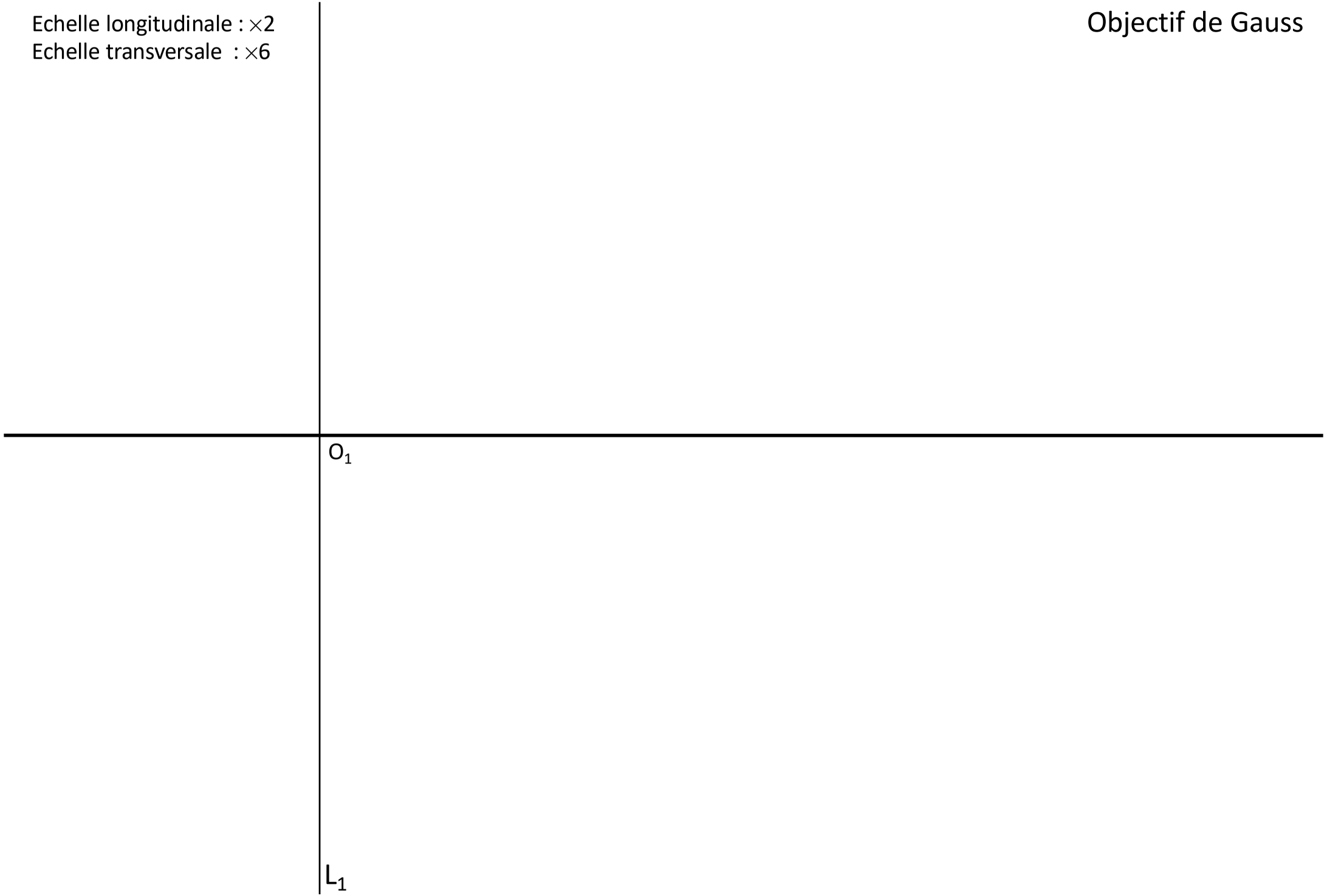
1. Faire un schéma de principe et écrire les conjugaisons.
2. Montrer que $\overline{O_2F'} = -\overline{O_1F} = 15\ mm$.
3. Déterminer la distance focale *f'* de l'objectif et déterminer la position des points cardinaux *H, H', F, F'*.
4. Quelle est la taille de l'image d'un objet vu sous un diamètre angulaire de 1°.
5. Calculer les positions et les diamètres des pupilles d'entrée et de sortie de l'objectif.
6. Sur l'annexe (échelle longitudinale ×2 et échelle transversale ×6), vérifier par une construction vos calculs de pupilles. Positionner les foyers, et les plans principaux.
7. Tracer deux rayons, pour un point objet à l'infini sur l'axe, qui s'appuient sur les deux bords de la pupille d'entrée et qui traversent l'ensemble de l'objectif.

On impose que le diamètre de champ de pleine lumière soit égal à la diagonale du capteur.

8. En déduire le rayon de champ du champ de pleine lumière dans l'espace image.
9. Calculer le rayon du champ de pleine lumière dans l'espace intermédiaire et le rayon angulaire dans l'espace objet.
10. Tracer deux rayons qui s'appuient sur les deux bords de la pupille d'entrée pour un point objet à l'infini sur l'un des bords du champ de pleine lumière et qui traversent l'ensemble de l'objectif. En déduire par une mesure à la règle les diamètres minima des lentilles pour obtenir ce champ.
11. Déterminer les résolutions transversales dans l'espace objet compte tenu de la diffraction et de l'échantillonnage dû aux pixels. Commentez vos résultats.
12. Déterminer la distance hyperfocale de l'objectif (la distance hyperfocale est la distance minimale d'approche par rapport à l'objectif pour que l'image reste aussi nette qu'à l'infini).

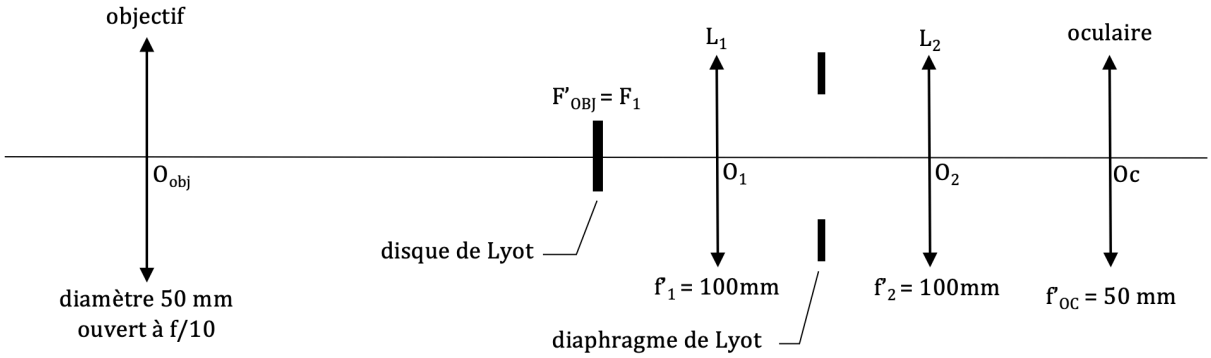
Echelle longitudinale : $\times 2$
Echelle transversale : $\times 6$

Objectif de Gauss



TD6 Coronographe de Lyot

Un coronographe permet l'observation de la couronne solaire. La luminosité du disque solaire est 10^6 fois supérieure à celle de la couronne solaire. Il faut donc, pour pouvoir observer la couronne, masquer le disque solaire (comme la lune lors d'une l'éclipse totale), et combattre la lumière parasite dans l'instrument. Ce problème étudie un coronographe à occultation interne de Lyot, dont le schéma est le suivant :



1. Les lentilles L_1 et L_2 forment un système afocal. Déterminer la distance entre ces deux lentilles et le grandissement transversal de ce système.
2. Déterminer la distance entre L_2 et l'oculaire pour que le coronographe soit un instrument afocal.
3. Calculer le grossissement angulaire du coronographe et préciser son signe.
4. Faire un schéma précis du coronographe à l'échelle (échelle longitudinale ×1/5, échelle transversale ×2).

Le disque de Lyot est placé dans le plan focal image de l'objectif et masque le disque solaire. On choisit un disque de diamètre 5 mm. Le diamètre apparent du Soleil varie de 31,5' à 32,5' (Terre à l'aphélie et au périhélie).

5. Montrer que le disque couvre largement l'image du disque solaire. Sous quel angle l'observateur verra-t-il ce disque ?

Pour stopper les rayons diffractés par le bord de l'objectif, le diaphragme de Lyot doit se trouver dans le plan de l'image de l'objectif par la lentille L_1.

6. Calculer la position et la dimension de cette image.

On choisit un diamètre de 8 mm pour le diaphragme de Lyot. Celui-ci est alors la pupille du système.

7. Déterminer la position et le diamètre de la pupille d'entrée du coronographe. Dans ces conditions, quel est le nombre d'ouverture effectif de l'objectif ?
8. Calculer le diamètre et la position de la pupille de sortie.

On désire observer un champ de pleine lumière correspondant au double du diamètre apparent du disque solaire.

9. Tracer sur le schéma à l'échelle un faisceau de rayons s'appuyant sur la pupille provenant du bord de ce champ. Déterminer le diamètre minimum de chacune des lentilles L_1 et L_2.

Echelle longitudinale : $\times 1/5$
Echelle transversale : $\times 2$

Coronographe

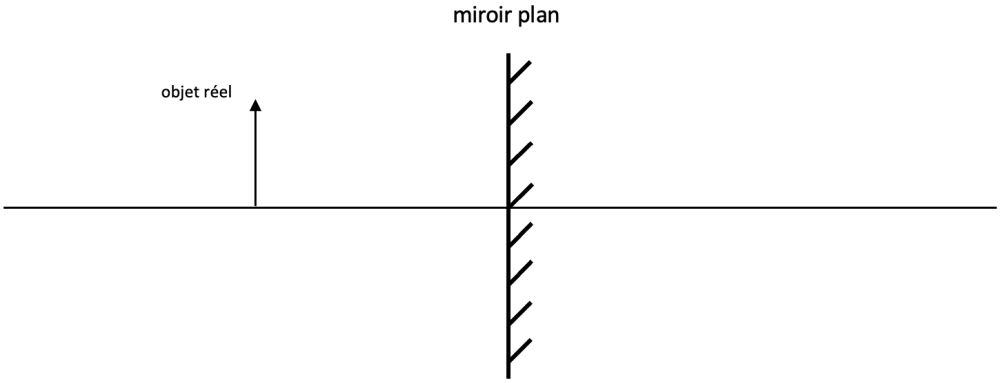
TD7 Miroirs

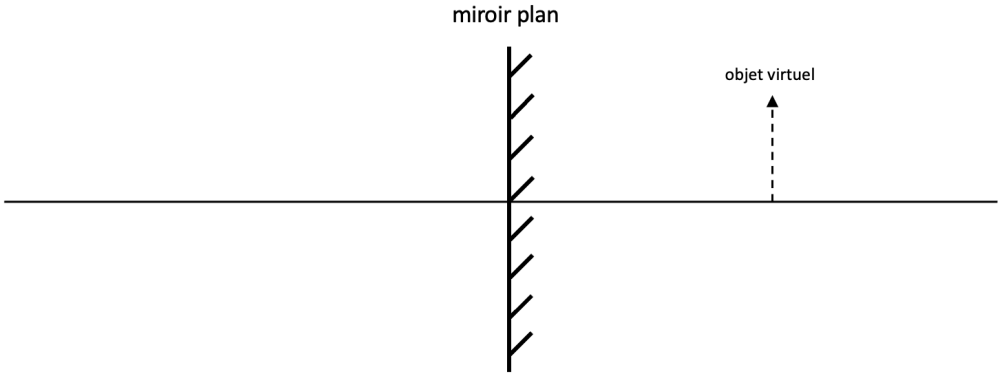
1. Faire les tracés de rayons ci-dessous.

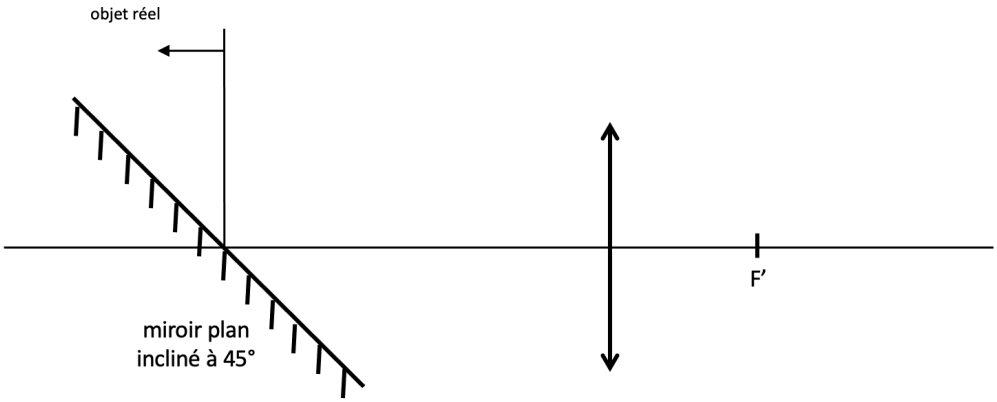
2. On souhaite concevoir un miroir donnant d'un objet réel placé à 2 cm une image de même sens et deux fois plus grande. Déterminer son rayon de courbure.

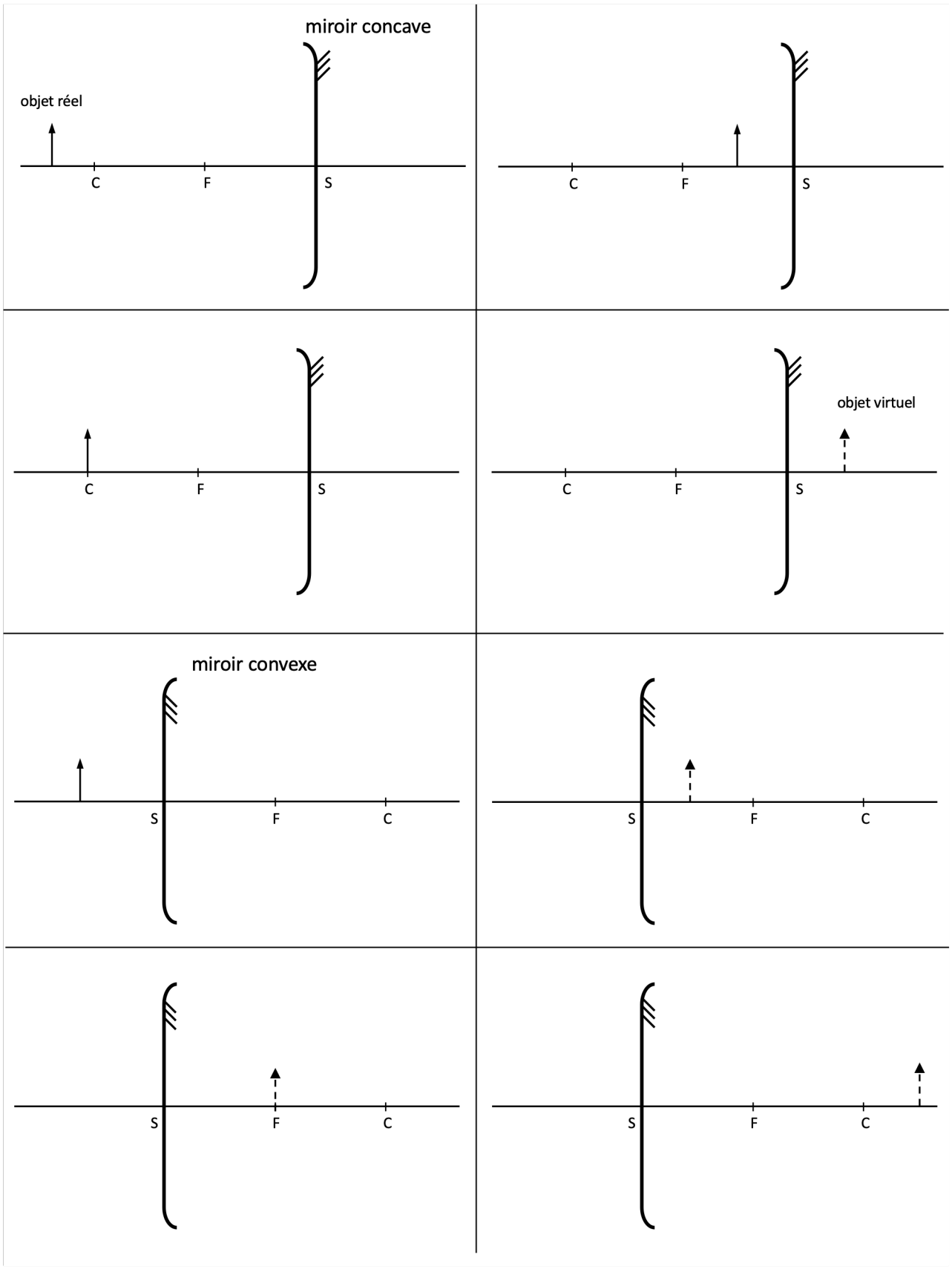
3. On forme l'image réelle du Soleil, de diamètre angulaire 30' grâce à un miroir sphérique de rayon de courbure 1800 mm. Où se trouve cette image ? Quelle est sa taille ?

4. Vous disposez d'un miroir concave. En le plaçant à 250 mm de votre œil vous apercevez votre visage avec un grandissement de -0.064. Déterminer son rayon de courbure. Vous le remplacez par un miroir convexe de même courbure. Qu'observez-vous en le plaçant à la même distance ?








miroir concave
objet réel
C
F
S
C
F
S
C
F
S
objet virtuel
C
F
S
miroir convexe
S
F
C
S
F
C
S
F
C
S
F
C

TD8 Photométrie (2 séances)

Exercice 1

Les normes d'éclairage public imposent un éclairement moyen sur un trottoir de 15 lux. On considère un lampadaire équivalent à une source ponctuelle isotrope émettant 10^4 lumens suspendue à 5 m au-dessus du sol.

1. Calculer l'intensité de la source.
2. Calculer l'éclairement au sol situé à la verticale du lampadaire et à 5 mètres.

Exercice 2

Soit une source étendue lambertienne de diamètre 20 mm et de luminance L = 10 W/cm^2/sr.

1. Calculer le flux émis par la source dans le demi-espace vers l'avant de la source.

On place une photodiode circulaire, de diamètre 5 mm, sur l'axe de cette source à 1 mètre.

2. Calculer le flux reçu par cette photodiode.
3. On ajoute entre la source et la photodiode, à 50 cm de la source un trou de 1 mm de diamètre. Que devient le flux reçu par la photodiode ?

Exercice 3

Le Soleil est considéré comme une source étendue lambertienne de diamètre apparent $\beta = 0{,}5°$ dont la luminance est de $2{,}2.10^7$ W/m^2/sr. Le ciel est considéré une source étendue et possède une luminance moyenne sur un demi-espace de 10 W/m^2/sr.

1. Déterminer l'éclairement au niveau du sol si le soleil est exactement au zénith et si l'angle entre le zénith et la direction du Soleil fait un angle θ ?
2. Déterminer l'intensité équivalente du Soleil (distance Terre-Soleil = $1{,}5.10^8$ km).
3. Déterminer l'éclairement au sol dû au ciel.

---

max 1ère séance

On utilise un système optique aplanétique ouvert à f /N comme concentrateur solaire.

4. Déterminer l'éclairement obtenu au foyer du concentrateur.
5. Déterminer une expression du facteur de concentration (gain en éclairement entre le sol et le foyer) en fonction du nombre d'ouverture et de l'angle sous lequel on voit le Soleil depuis la Terre.
6. Comment augmenter ce facteur de concentration ? Pourquoi ne peut-il pas dépasser une valeur maximale que l'on calculera ?

Exercice 4

On souhaite capter un maximum de flux en provenance d'une source circulaire lambertienne de diamètre 1 mm, de luminance 1 W/m2/sr, sur un détecteur circulaire de diamètre 2 mm placé à 1 mètre. Dans les 3 cas suivants, déterminer le flux maximum capté par le détecteur.

1. On ne place aucune lentille entre la source et le détecteur.
2. On conjugue la source sur le détecteur avec une lentille de diamètre 15 mm dont vous déterminerez la focale (taux de transmission de 98%).
3. On utilise une deuxième lentille de diamètre 15 mm sachant que la 1ère lentille conjugue la source sur la 2ème lentille et la 2ème lentille conjugue la 1ère lentille sur le détecteur. Déterminer les focales.

TD9 Télescope Cassegrain (2 séances)

Un télescope à deux miroirs de type Cassegrain est constitué d'un miroir primaire concave et d'un miroir secondaire convexe. On appelle f, f_1, f_2 les focales du télescope, du miroir primaire et du miroir secondaire. Le télescope est réglé pour un objet à l'infini vu sous un angle θ et projette l'image finale sur un capteur matriciel. On considère les caractéristiques suivantes,

- Miroir primaire M_1 concave : R_1 = 250 mm
- Miroir secondaire M_2 convexe : R_2 = 100 mm
- Focale totale = 500 mm et nombre d'ouverture N = 5
- Pupille d'entrée : diaphragme placé à 250 mm en avant de M_1
- Capteur matriciel de 512 x 512 pixels carrés de 20µm de côté
- Coefficicent de réflexion de chaque miroir : 98%

1. Faire un schéma de principe du téléscope Cassegrain en plaçant les foyers F_1, F_2, le foyer du télescope F' et le plan principal H'. En déduire le signe de la focale du télescope.

2. Quelle est la suite des conjugaisons réalisées par les deux miroirs du télescope pour un objet à l'infini vu sous un angle apparent θ ? En déduire une relation entre f, f_1 et le grandissement transversal du miroir secondaire g_{M2}.

3. A l'aide d'une formule de grandissement (pour le miroir secondaire), déterminer la distance entre les deux foyers F_1F_2, puis la distance entre les deux sommets des miroirs S_1S_2 et la distance entre le miroir primaire et le foyer image S_1F'.

4. Retrouvez la distance entre les deux sommets des miroirs en dépliant entièrement le système (équivalent dioptrique) et en appliquant la formule de Gullstrand.

5. Représentez le télescope sur un schéma (échelle transverse ×1 / longitudinale ×1/2). Puis tracer deux rayons, provenant d'un point à l'infini sur l'axe, à travers le système et s'appuyant sur les pupilles. Trouvez graphiquement la position de la pupille de sortie.

6. Calculez la position et le diamètre de la pupille de sortie du système.

7. Quel doit être le rayon minimum du champ de pleine lumière pour couvrir tout le détecteur ? En déduire le champ de pleine lumière dans l'espace intermédiaire et dans l'espace objet.

8. Tracer un faisceau de rayons provenant d'un point à l'infini s'appuyant sur la pupille d'entrée et dont l'image par le système donne un point au bord du champ de pleine lumière.

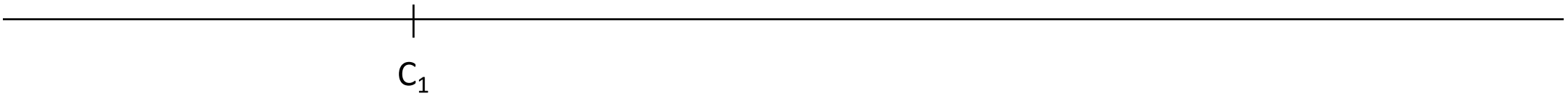
9. Déterminer les diamètres minima du miroir primaire et de son ouverture circulaire centrale, du miroir secondaire et de sa monture (spécifiée également pour arrêter les rayons parasites). En déduire le taux d'obturation de ce télescope ?

10. Comparez la limite de diffraction (le diamètre de la tâche d'Airy) et la dimension des pixels pour une longueur d'onde de 500 nm. En déduire la résolution dans l'espace objet.

11. Quel est l'éclairement dans le plan image pour un objet étendu placé à l'infini sur l'axe de diamètre angulaire 1° et de luminance uniforme L=10kW/m^2/sr ?

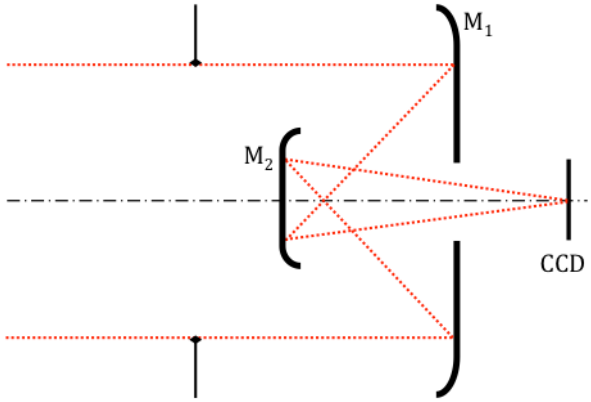
Echelle longitudinale : ½
Echelle transversale : 1

Télescope Cassegrain



TD10 Télescope Gregory (2 séances)

Un télescope de Grégory est constitué d'un miroir primaire concave M_1 de rayon de courbure **500 mm** et d'un miroir secondaire concave M_2 de rayon de courbure **140 mm**. On veut que la focale du télescope soit en valeur absolue de **1000 mm**. La pupille d'entrée est placée au centre de courbure du miroir M_1 et son diamètre est **100 mm**.



On montre (mais vous devez essayer de retrouver ces résultats) que le grandissement du miroir secondaire est -4, que la distance entre les miroirs est 337,5 mm et que la distance entre le miroir primaire et le foyer image du télescope est +12,5 mm.

1. Sur l'annexe (échelle transverse ×1 / longitudinale ×1/2) positionnez graphiquement la pupille de sortie (vous pourrez vérifier chez vous par le calcul son diamètre et sa position).

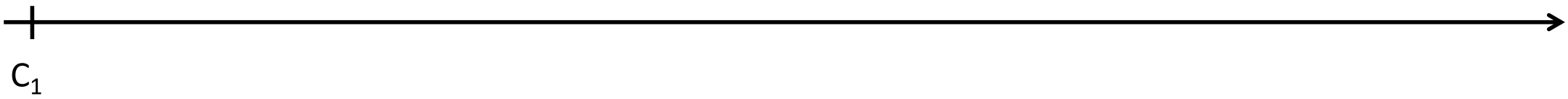
2. Tracer deux rayons provenant d'un objet ponctuel à l'infini sur l'axe s'appuyant sur les deux bords de la pupille d'entrée et traversant l'ensemble du télescope.

3. On souhaite couvrir un champ de pleine lumière objet circulaire de diamètre angulaire 2°. Quelle est la taille du champ image correspondant ?

4. Sur l'annexe tracer deux rayons issus du bord du champ de pleine lumière et traversant l'ensemble du télescope.

5. Déterminer en mesurant à la règle le diamètre du miroir M_2, le diamètre de M_1 et le diamètre du trou dans M_1 pour obtenir ce champ. En déduire le taux d'obturation.

6. La distance entre les miroirs M_1M_2 peut varier dans le temps à cause de dilatations d'une petite quantité ε. En supposant que la distance entre le miroir M_1 et le détecteur reste fixe (pixel à 20 µm), quelle variation maximale ε peut-on tolérer pour que l'image d'un point à l'infini reste nette sur le détecteur ?

Echelle longitudinale : ½
Echelle transversale : 1

Télescope Grégory