



Optique Instrumentale

Travaux Dirigés

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

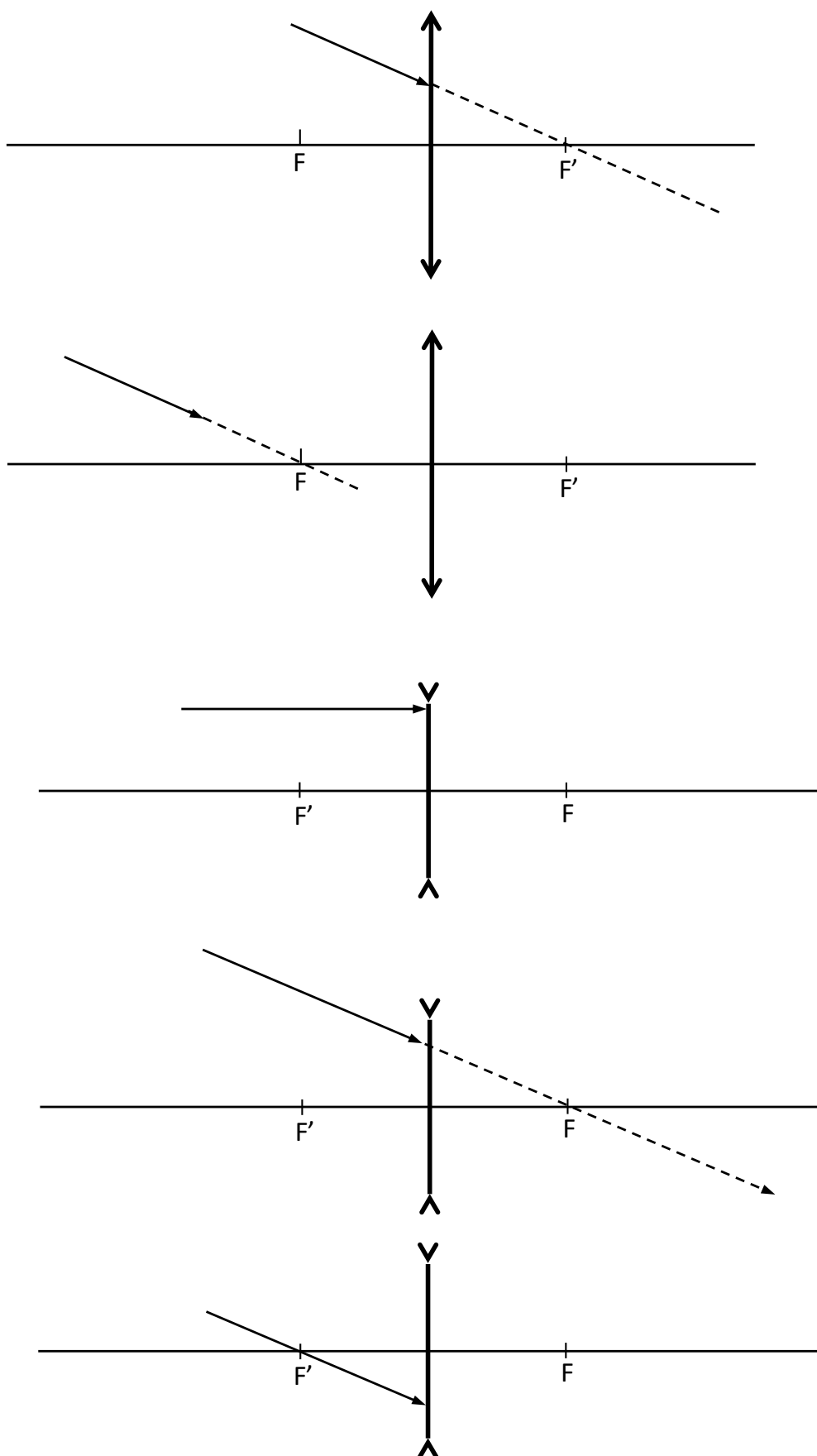


Ce document appartient à

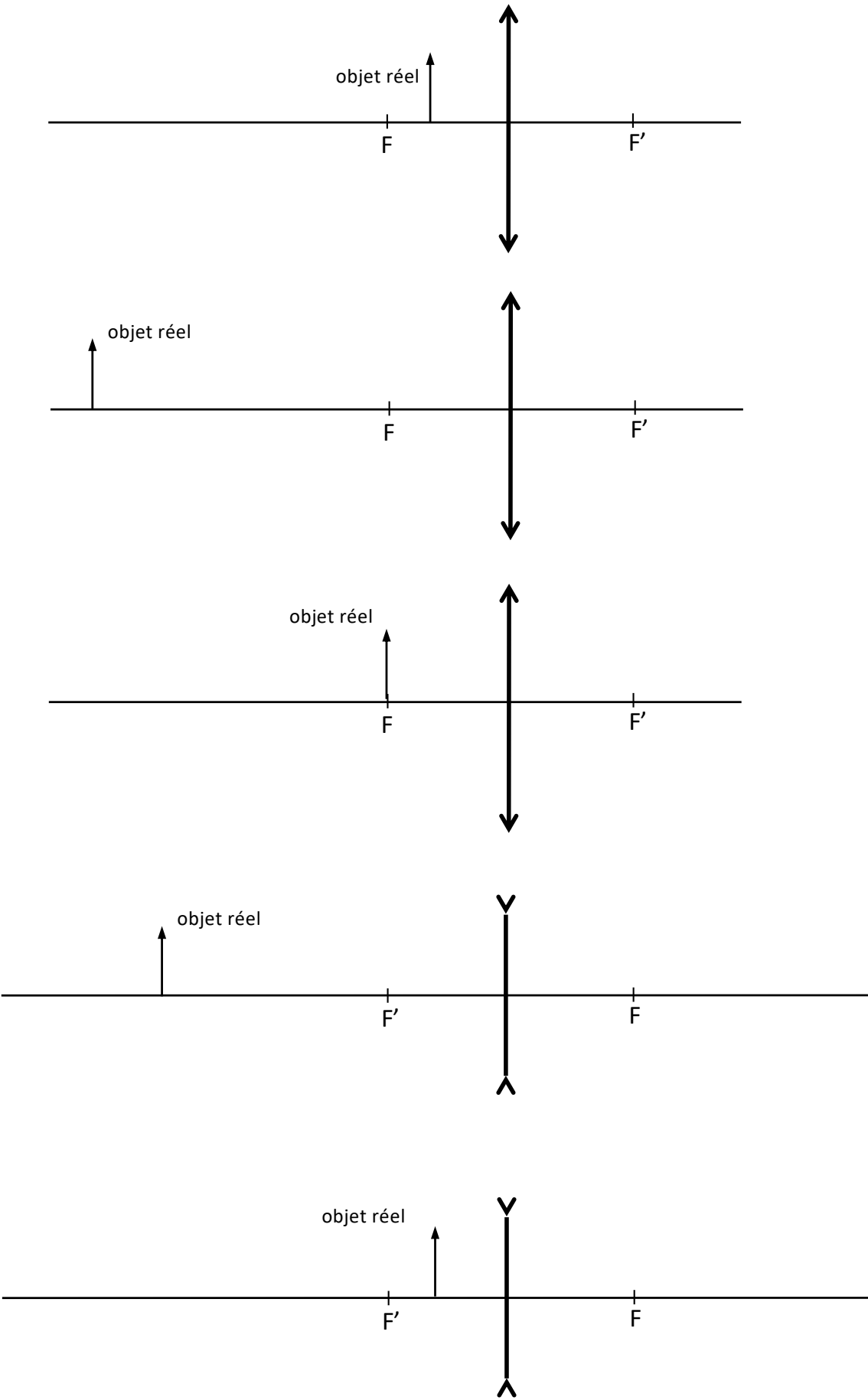
Cursus	1A
Date de mise à jour	septembre 2025
Année scolaire	2025/2026
Auteur	Sébastien de Rossi

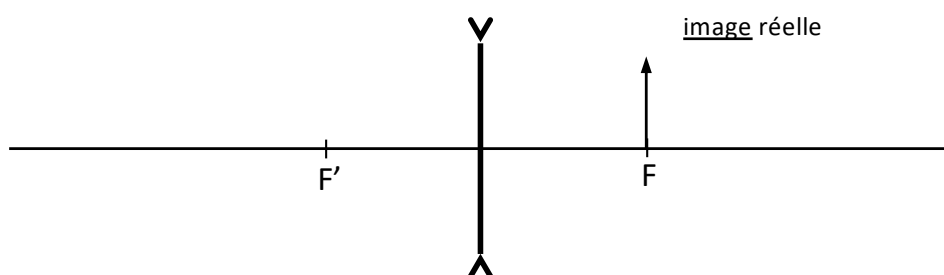
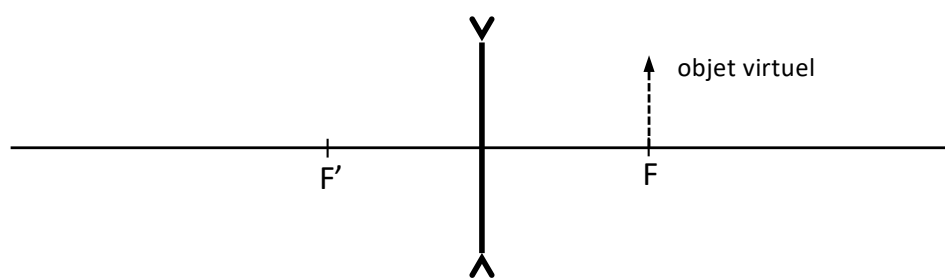
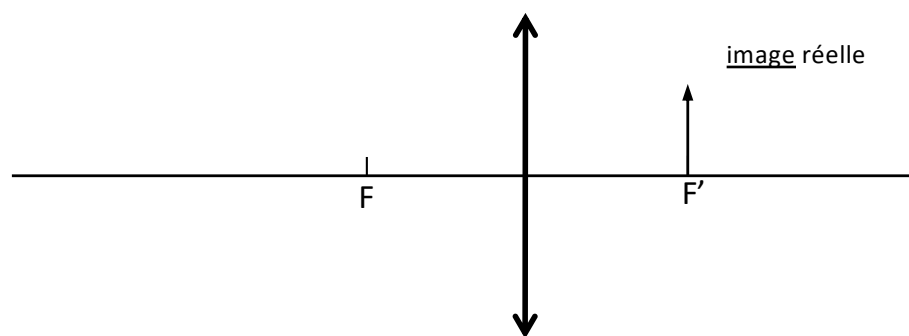
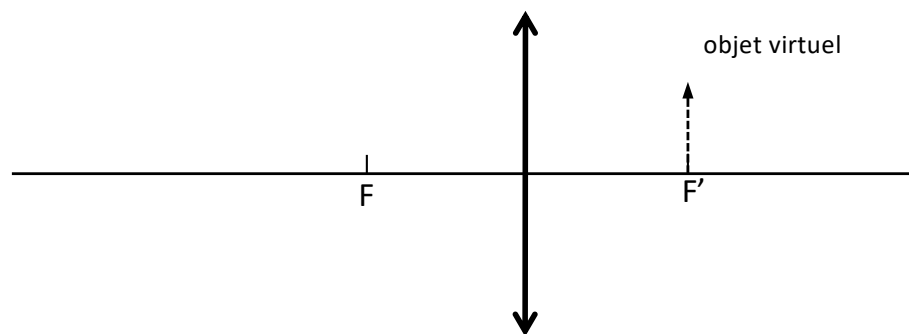
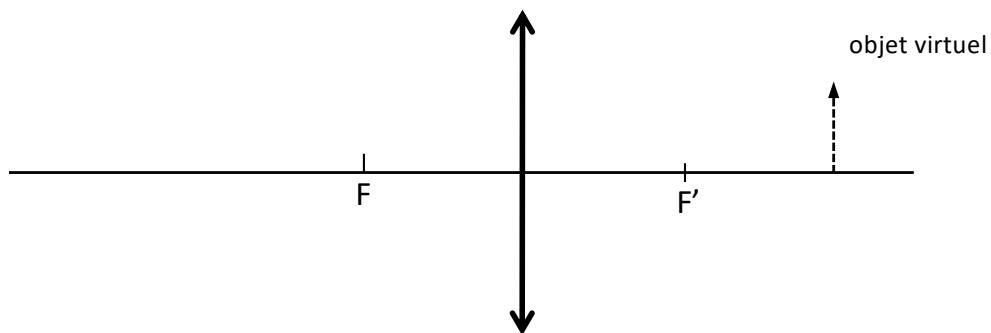
TD 1 Constructions géométriques dans les lentilles minces

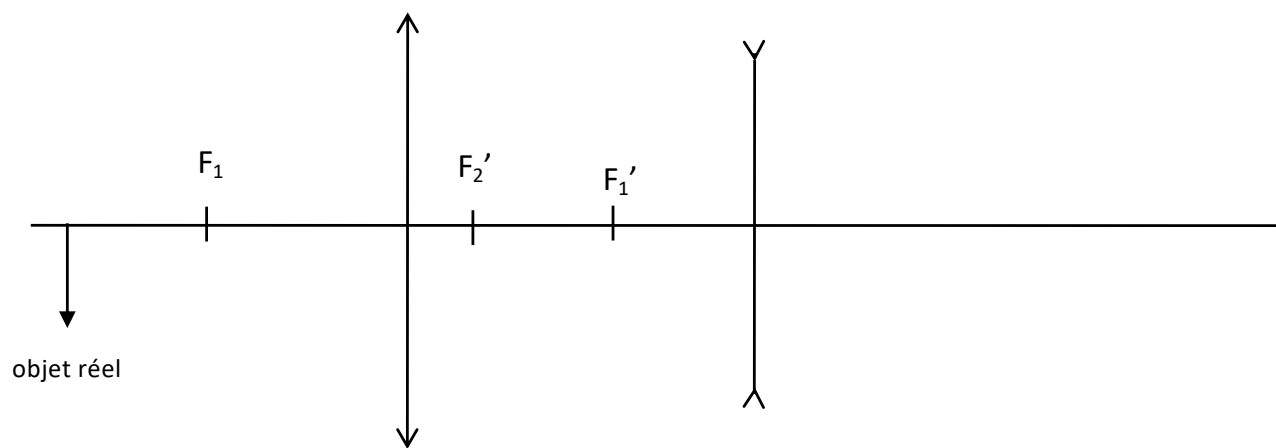
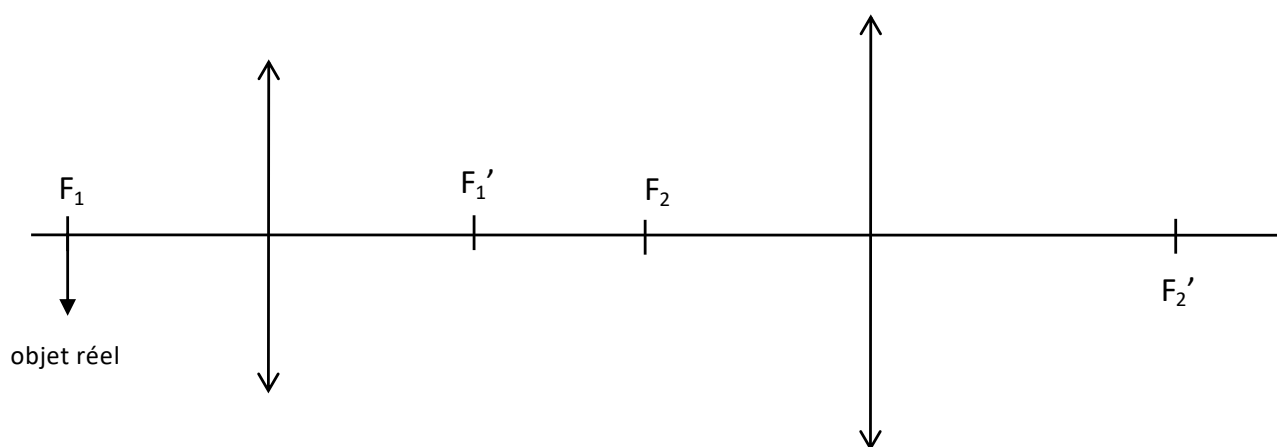
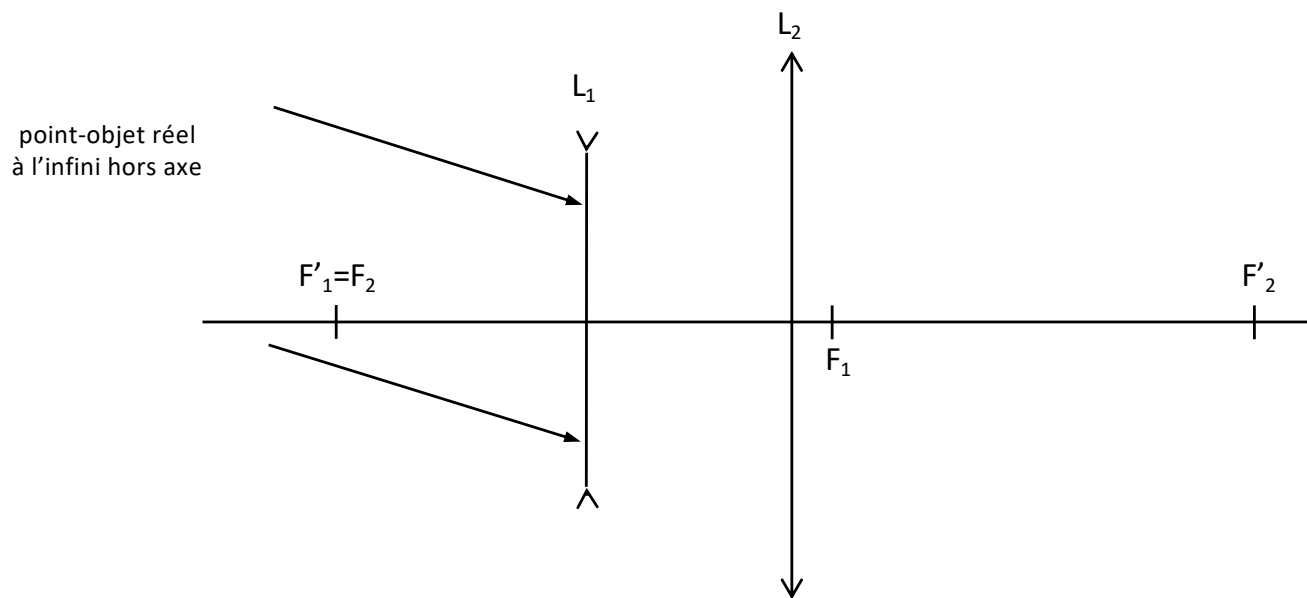
Poursuivre la trace du rayon incident à travers la lentille.

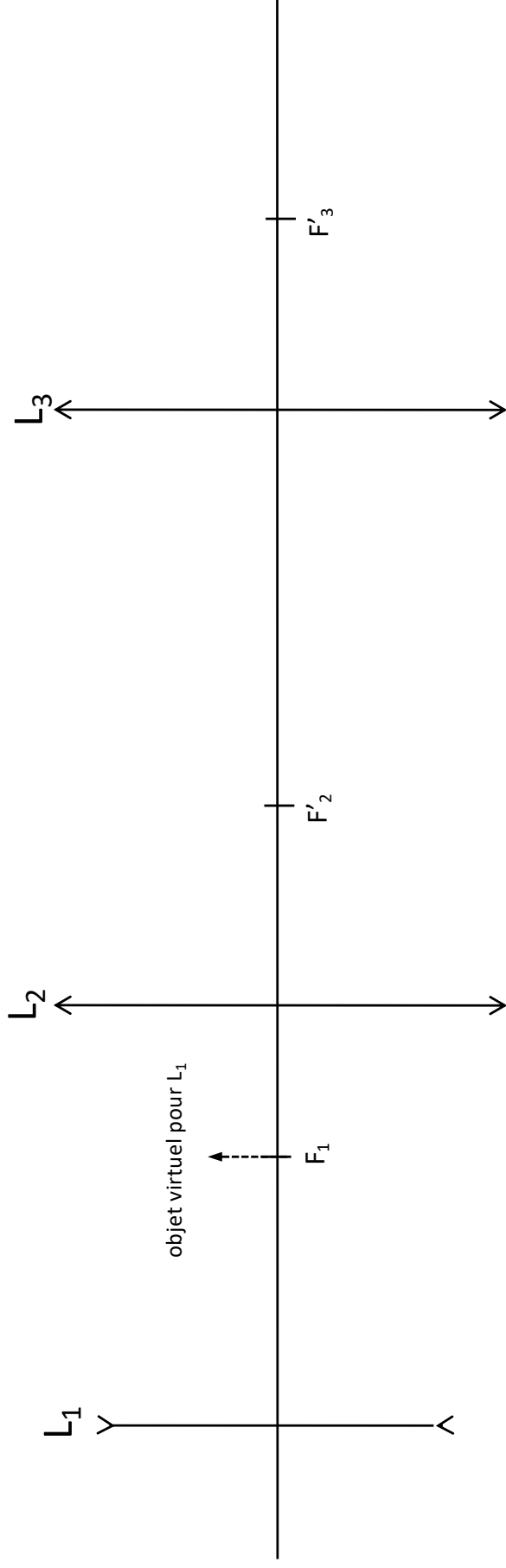


Tracer l'image de l'objet à travers le système optique.





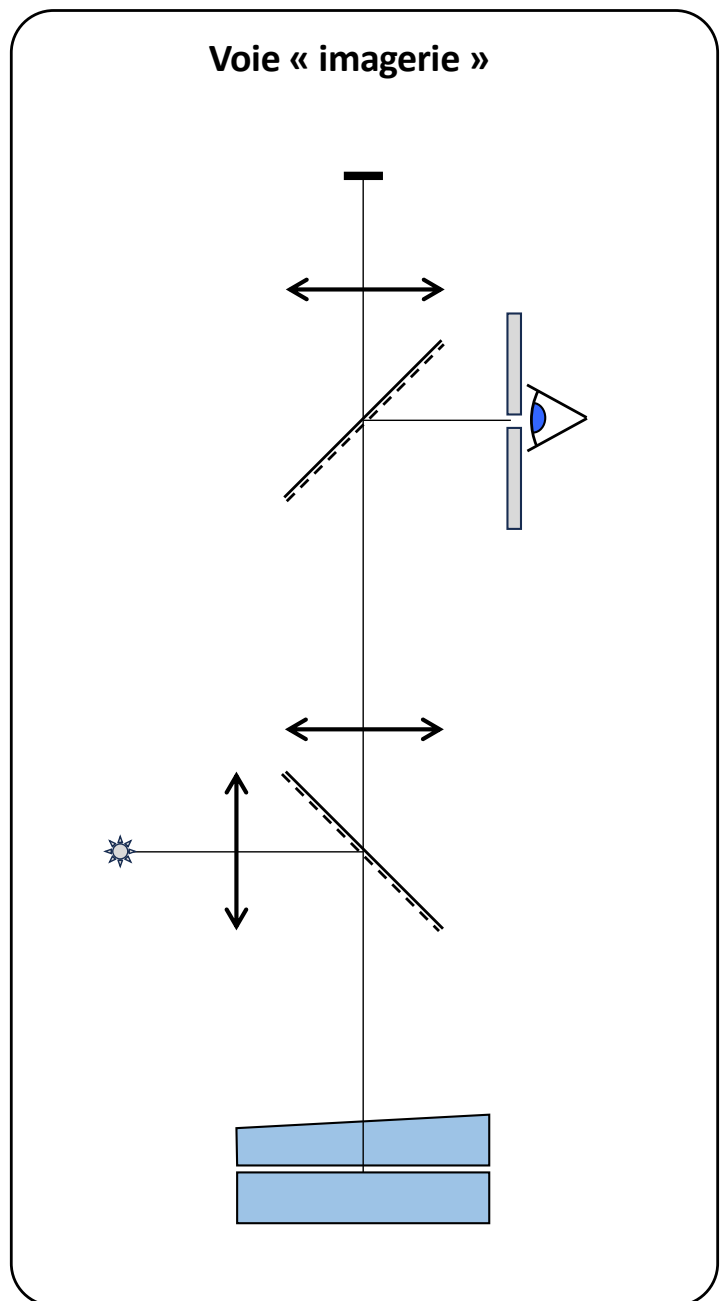
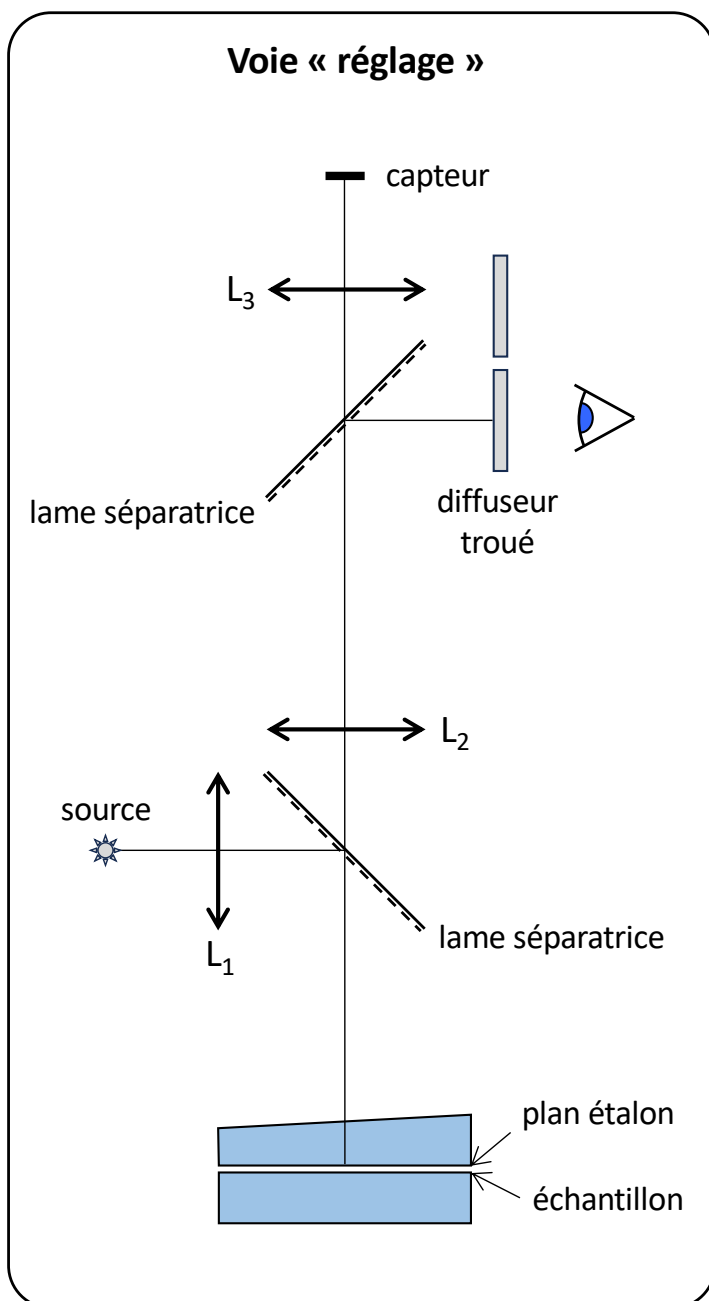




Un **interféromètre de Fizeau** permet de visualiser les défauts de planéité d'une surface en analysant les interférences entre la lumière qu'elle réfléchit et celle d'un plan étalon de référence. Vous verrez cet instrument en TP dès le 1^{er} semestre.

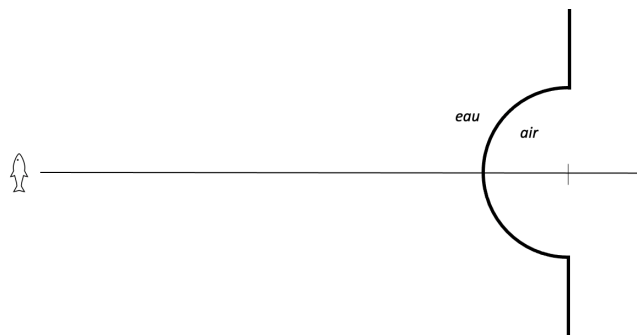
La source de lumière est une diode laser considérée comme ponctuelle assurant un éclairage cohérent. Une lame séparatrice 50/50 permet de dévier les rayons vers le plan étalon et l'échantillon qui doivent être éclairés, via la lentille L_1 , avec un faisceau de rayons parallèles à l'axe (perpendiculaires aux surfaces). La lentille L_2 a son foyer objet sur la surface de l'échantillon. Une deuxième lame séparatrice 50/50 permet d'éclairer par réflexion un diffuseur troué. La lentille L_3 permet de conjuguer la surface de l'échantillon et un capteur pixelisé ou l'œil (placé derrière le trou du diffuseur). Son centre est placé au foyer image de L_2 .

- Tracer deux rayons de la voie « réglage » partant de la source jusqu'au plan du diffuseur en supposant que les surfaces échantillon et étalon ne sont pas exactement parallèles entre elles (ne pas tenir compte des réfractions à travers le plan étalon). Quel est l'intérêt de cette voie ?
- Tracer deux rayons de la voie « imagerie » en partant d'un point de la surface de l'échantillon vers le capteur et l'œil.

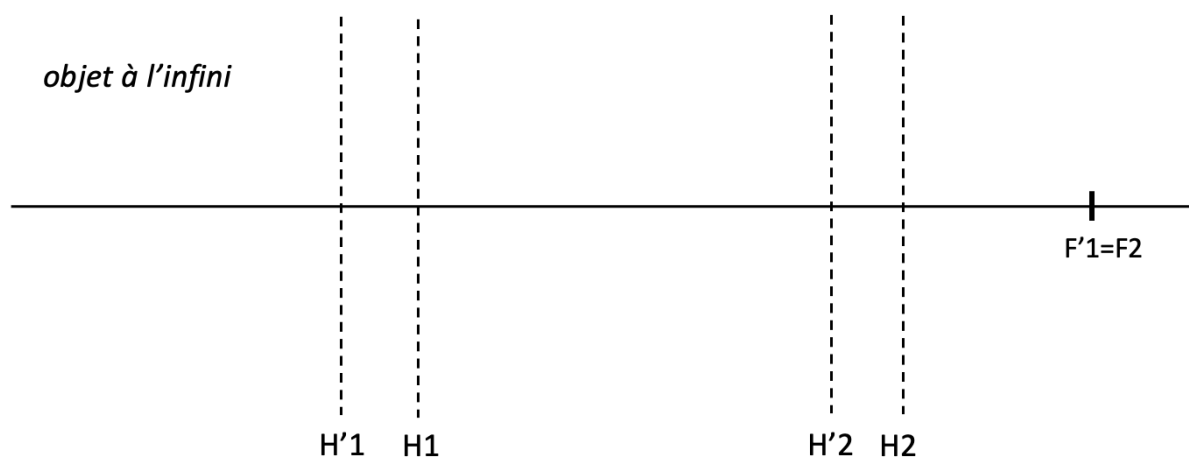
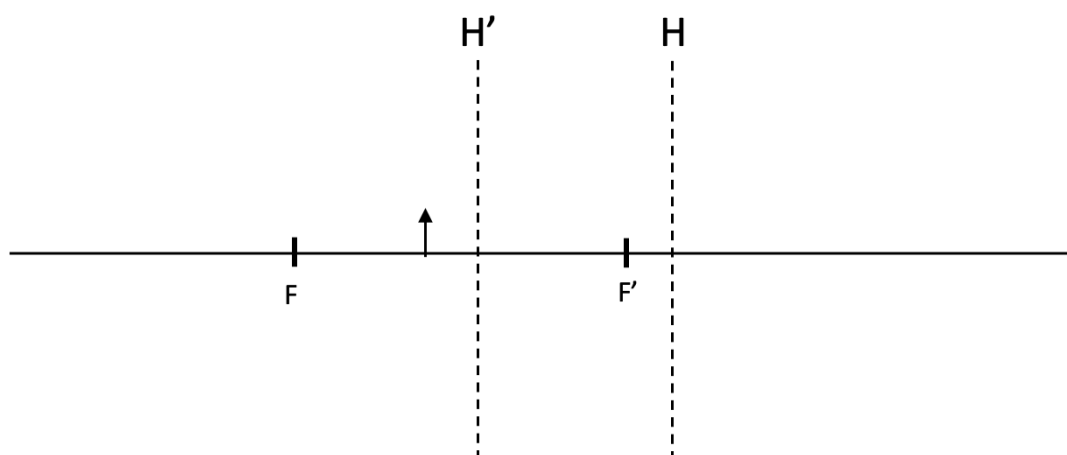
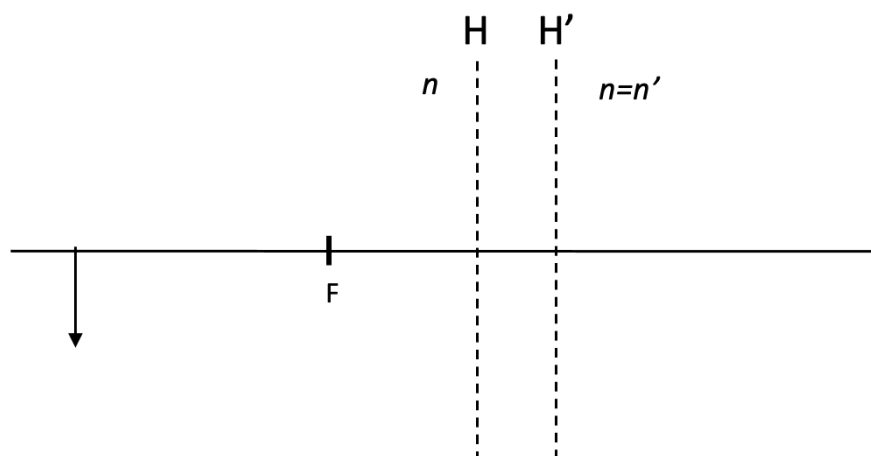


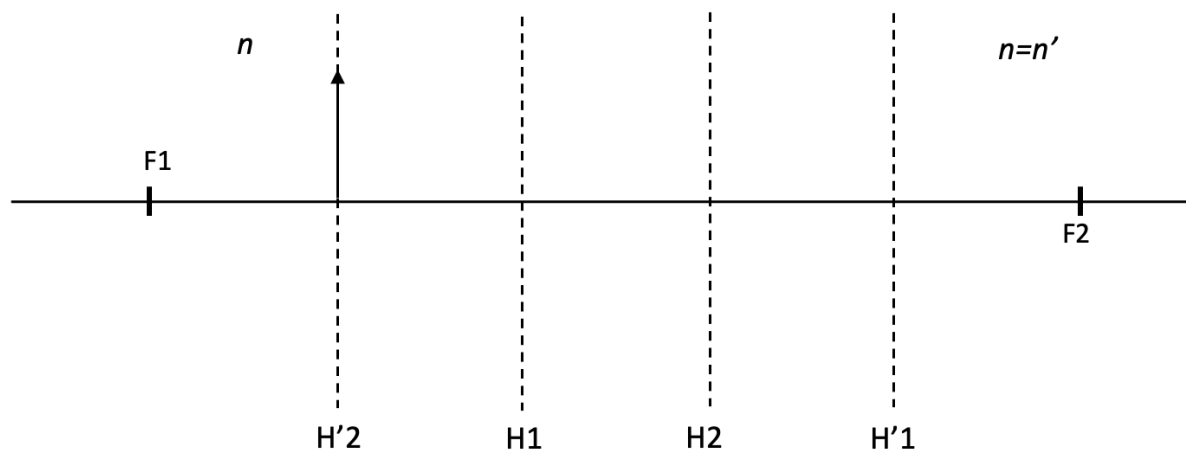
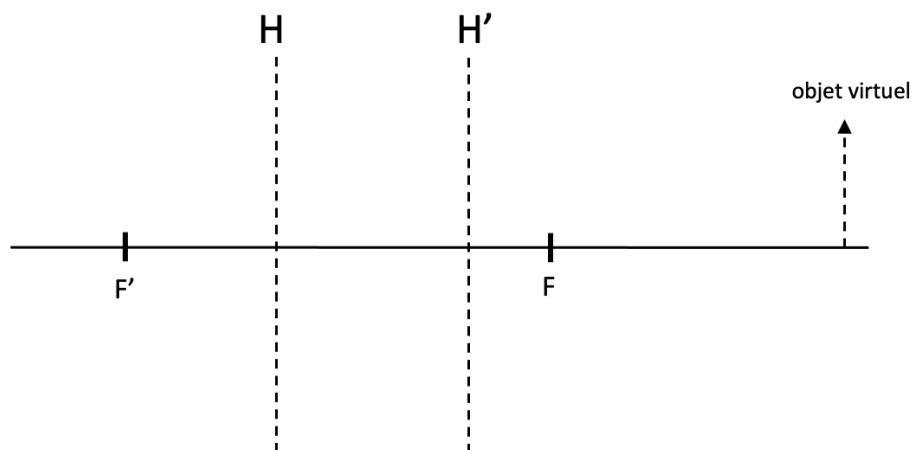
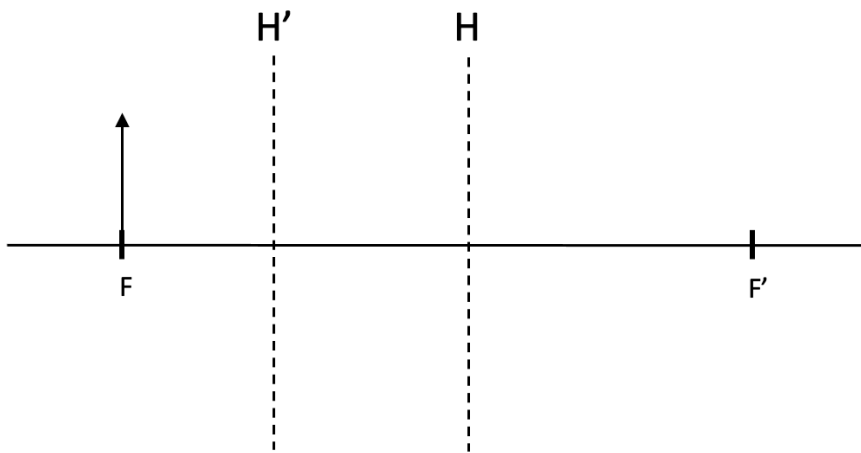
TD2 Lentilles minces, systèmes centrés

1. Le Soleil a un diamètre de $1,4 \times 10^6$ km et est situé à $1,5 \times 10^8$ 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 $5 \mu\text{m}$. 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 $100 \mu\text{m}$ 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 $\overline{HH'} = -76 \text{ mm}$, 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.





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 $\times 2$ et longitudinale $\times 1/4$) 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. Vérifier la relation précédente avec une vraie paire de jumelles fournie par votre enseignant·e.

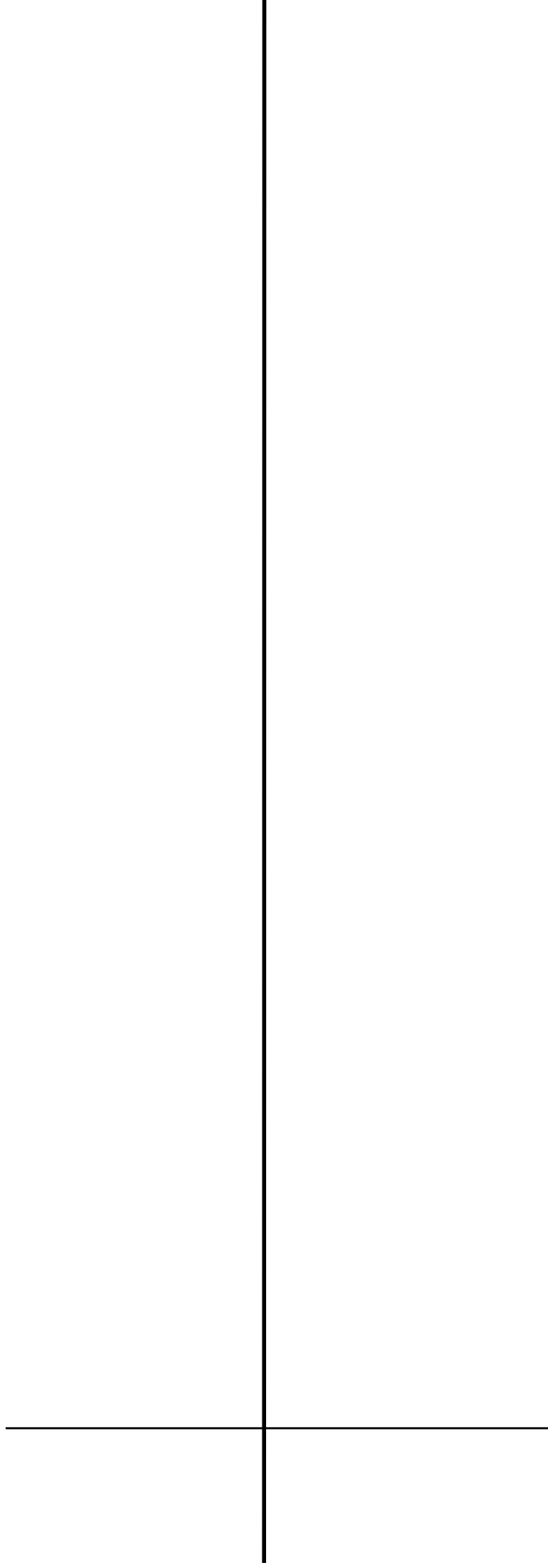
On utilise cette lunette afocale pour pointer la position longitudinale d'un test mobile positionné au foyer objet d'une lentille mince convergente de focale 100 mm. Par construction, l'œil de l'observateur est placé dans le plan focal image de l'oculaire.

9. Que vaut le grandissement longitudinal de l'ensemble {collimateur + objectif} entre le test et le plan focal objet de l'oculaire ?
10. 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 $\times 3$, de focale 40 mm, de diamètre 6 mm, et avec un oculaire de grossissement commercial $\times 20$, 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 $\times 20$ et longitudinale $\times 1$), 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).
9. Reprendre le TD « lunette afocale ». 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 de la lunette.

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

Microscope

+

A

TD5 Objectif de Gauss

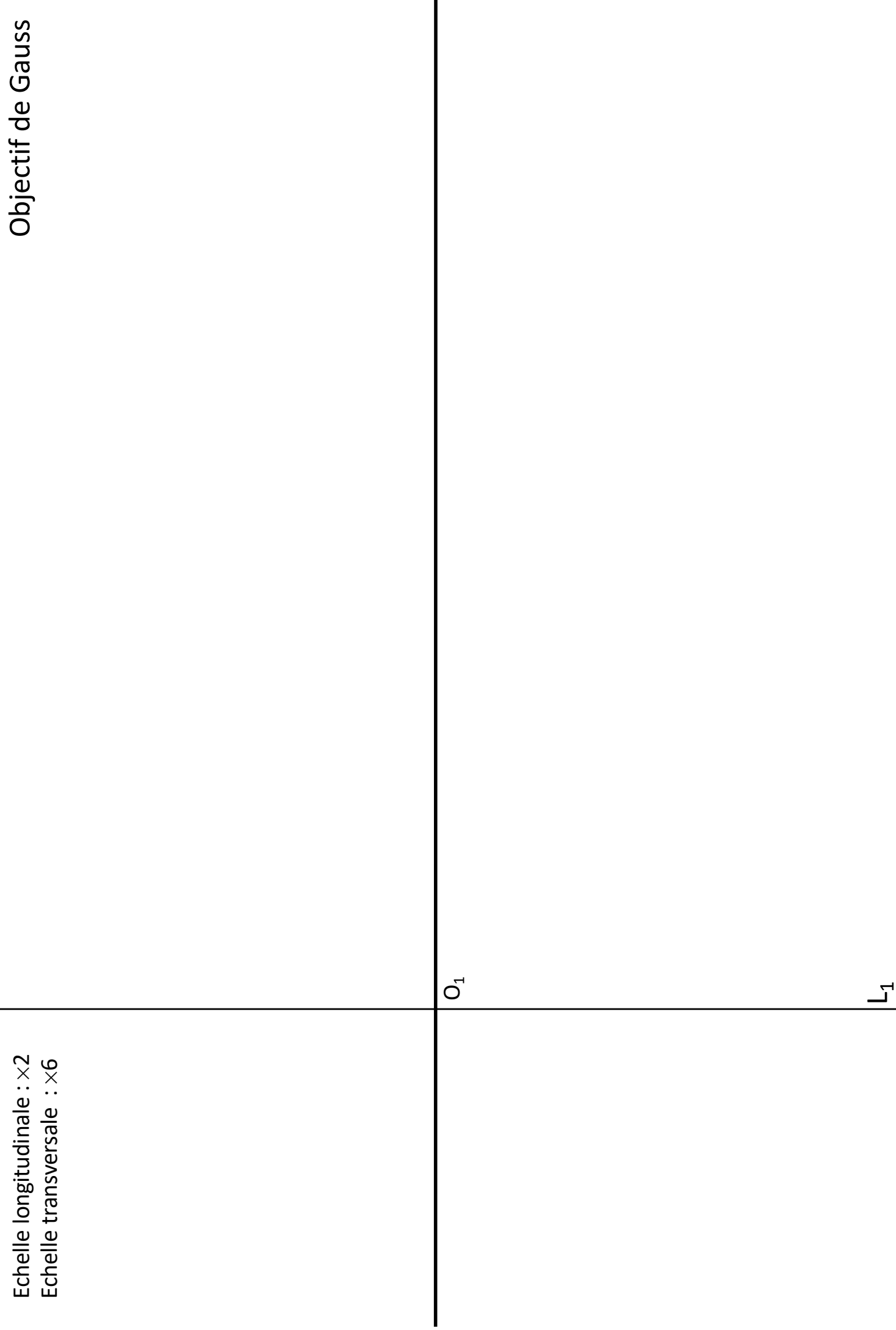
L'objectif de Gauss est un objectif symétrique constitué de deux lentilles minces convergentes identiques L_1 et L_2 de centre respectif O_1 et O_2 , placées symétriquement par rapport au diaphragme d'ouverture D . Cet objectif est utilisé avec un capteur constitué de 512×512 pixels carrés de $20 \mu m$ 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 $\overline{O_2 F'} = -\overline{O_1 F} = 15 mm$.
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 $\times 2$ et échelle transversale $\times 6$), 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).

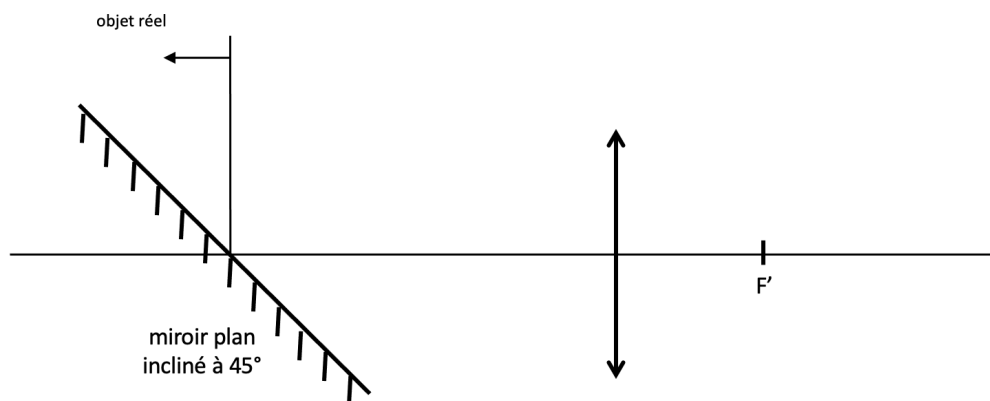
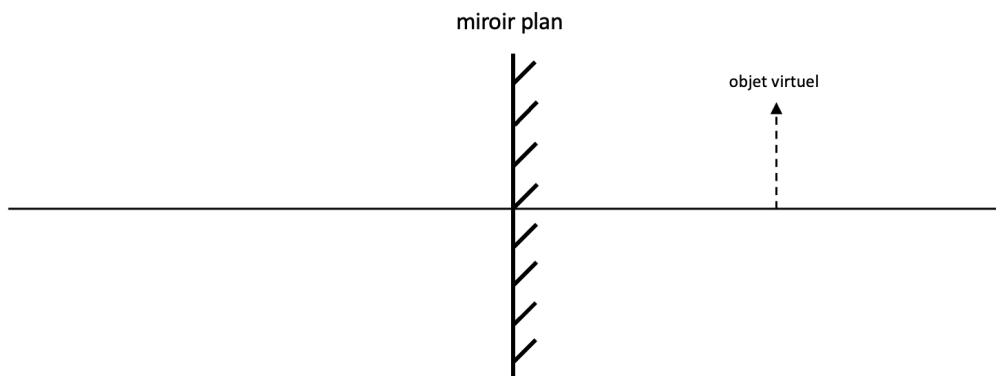
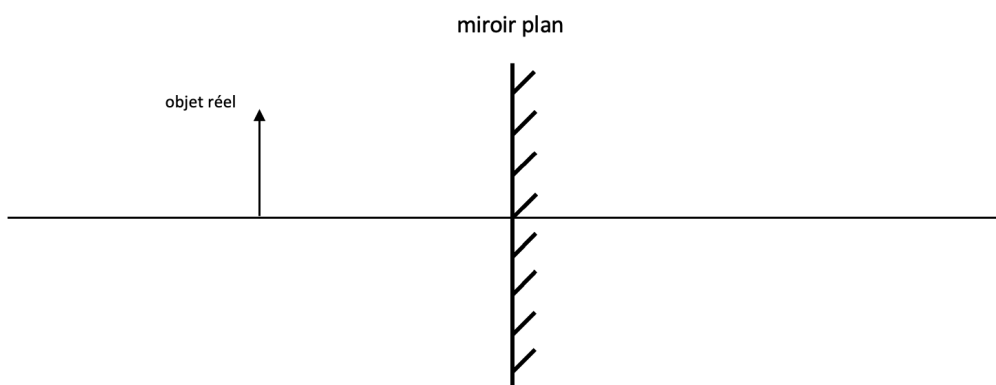
Echelle longitudinale : $\times 2$
Echelle transversale : $\times 6$



Objectif de Gauss

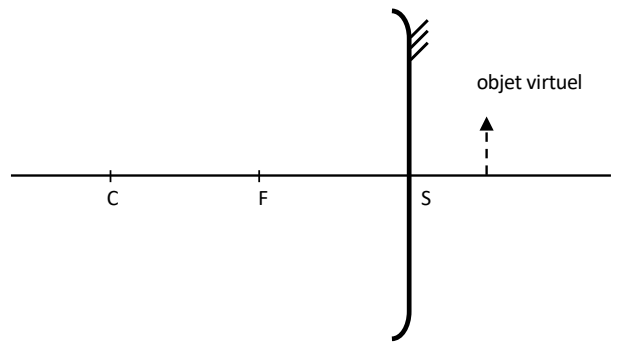
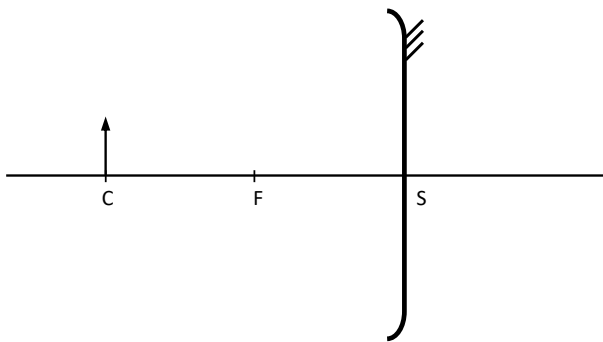
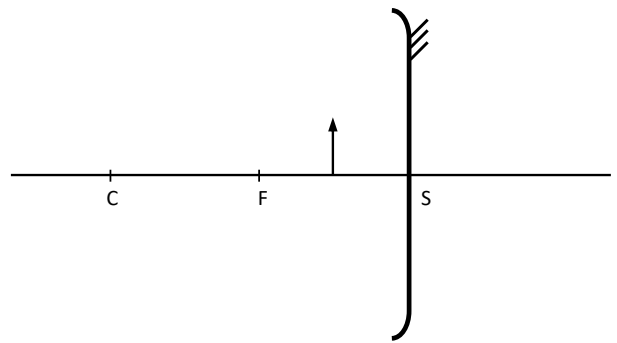
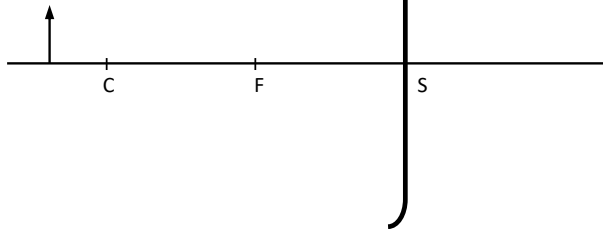
TD6 Miroirs

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 ?

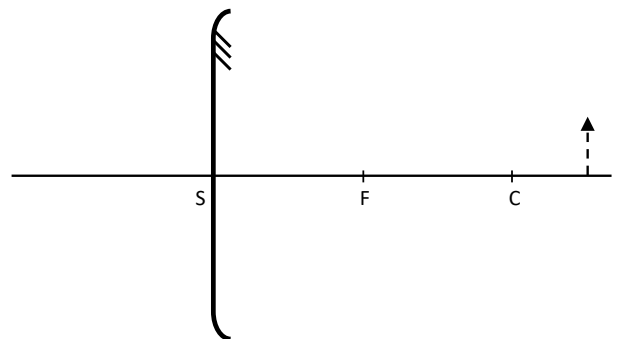
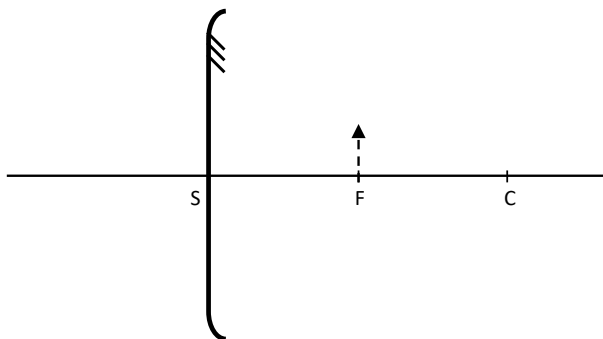
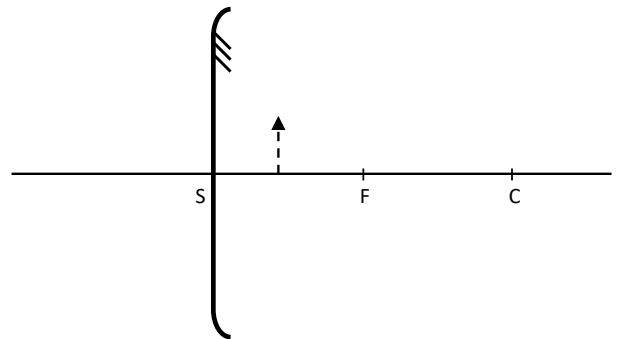
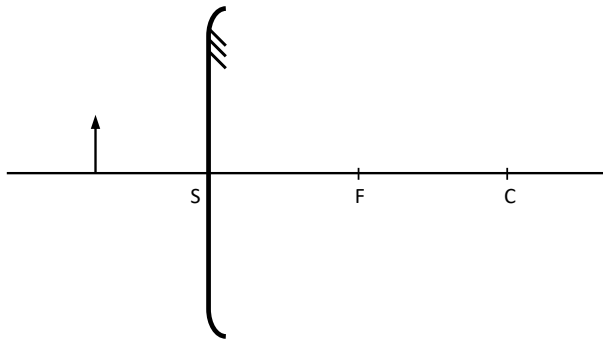


miroir concave

objet réel



miroir convexe



TD7 Photométrie (2 séances)

Exercice 1

Les normes d'éclairage public imposent un éclairage 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'éclairage 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 $L = 10 \text{ W/cm}^2/\text{sr}$.

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 $\beta = 0,5^\circ$ dont la luminance est de $2,2 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2/\text{sr}$. Le ciel est considéré une source étendue et possède une luminance moyenne sur un demi-espace de $10 \text{ W/m}^2/\text{sr}$.

1. Déterminer l'éclairage 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 = $1,5 \cdot 10^8 \text{ km}$).
3. Déterminer l'éclairage au sol dû au ciel.

max 1^{ère} séance

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

4. Déterminer l'éclairage obtenu au foyer du concentrateur.
5. Déterminer une expression du facteur de concentration (gain en éclairage 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 $1 \text{ W/m}^2/\text{sr}$, 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 1^{ère} lentille conjugue la source sur la 2^{ème} lentille et la 2^{ème} lentille conjugue la 1^{ère} lentille sur le détecteur. Déterminer les focales.

TD8 Télescopes à miroirs (3 séances)

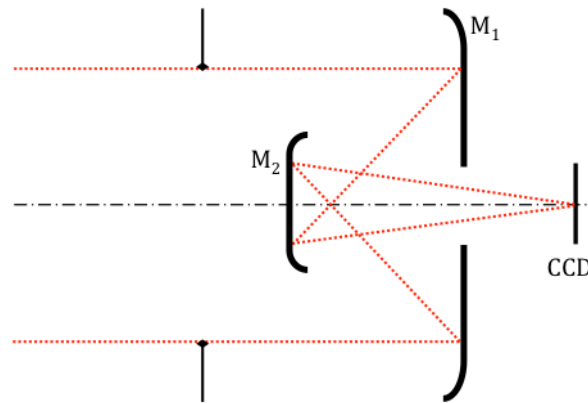
Configuration Cassegrain

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 20 μ m de côté
 - Coefficient de réflexion de chaque miroir : 98%
1. Faire un schéma de principe du télescope 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 $\times 1$ / longitudinale $\times 1/2$). 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 $L=10\text{kW/m}^2/\text{sr}$?

Configuration Gregory

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 $\times 1$ / longitudinale $\times 1/2$) 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 $20 \mu\text{m}$), quelle variation maximale ε peut-on tolérer pour que l'image d'un point à l'infini reste nette sur le détecteur ?

Echelle longitudinale : $\frac{1}{2}$
Echelle transversale : 1

Télescope Cassegrain

|
 C_1

Echelle longitudinale : $\frac{1}{2}$
Echelle transversale : 1

Télescope Grégory



C_1