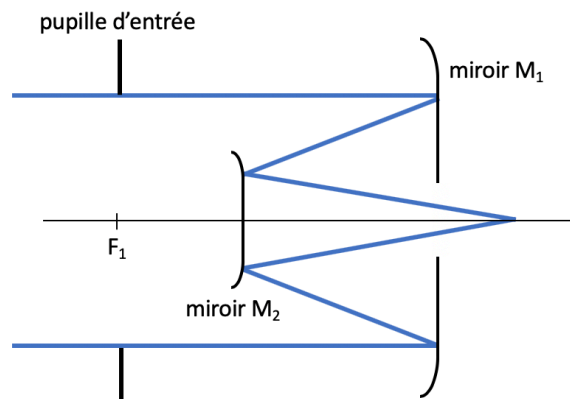


*Le sujet comprend trois pages, un formulaire et deux annexes.
Les annexes, en mentionnant vos nom&prénom, sont à rendre avec votre copie.*

Étude d'un télescope

Le problème est entièrement traité dans le cadre de l'optique paraxiale.

Le télescope est **de type Cassegrain** de distance focale $f' = +2000 \text{ mm}$. Il est ouvert à $N = 10$. Il est constitué des miroirs primaire M_1 et secondaire M_2 . On appelle $S_1, S_2, F_1, F_2, C_1, C_2$ les sommets, les foyers et les centres de courbure des miroirs. Le rayon de courbure du miroir primaire concave est 800 mm. Le rayon de courbure du miroir secondaire convexe est 250 mm. La pupille d'entrée est placée dans le plan du foyer F_1 du miroir primaire.



1. Écrire la suite des conjugaisons réalisées par les deux miroirs pour un objet situé à l'infini. En déduire le grandissement transversal de la conjugaison réalisée par le miroir secondaire M_2 .
2. Sur l'annexe 1, tracer l'image de l'objet « flèche » par un miroir convexe dans les quatre situations. En justifiant votre réponse laquelle correspond à la conjugaison du miroir secondaire du télescope ?

3. Faire un schéma de principe du télescope Cassegrain en faisant apparaître le sommet, le foyer et le centre de chaque miroir, ainsi que le foyer image et le plan principal H' du télescope. Justifiez pourquoi sa focale est positive.
4. Montrer par deux méthodes différentes que la distance entre les deux miroirs vaut 300 mm .
5. Déterminer $\overline{S_1F'}$ la distance entre le sommet du miroir primaire et le foyer image du télescope.
6. Quelle est la taille de la pupille d'entrée.
7. Sur l'annexe 2 fournie ($\times 1/5$ en longitudinal et $\times 1/2$ en transversal), tracer les deux rayons provenant d'un objet ponctuel placé à l'infini sur l'axe et traversant le télescope dans sa totalité en s'appuyant sur les deux bords de la pupille d'entrée.
8. Déterminer par le calcul la position et le diamètre de la pupille de sortie du télescope. Vérifier par un tracé de rayon et positionner la sur votre schéma.
9. Vérifier que l'ouverture numérique image du télescope vaut bien $1/2N = 0,05$.
10. Si on suppose la résolution du télescope limitée par la diffraction, montrer que la résolution dans l'espace objet ne dépend que du diamètre de la pupille d'entrée du télescope et de la longueur d'onde λ . Vous donnerez le résultat en seconde d'arc pour une longueur d'onde de 500 nm .
11. En supposant que le miroir primaire (de diamètre 220 mm) est la lucarne de champ de pleine lumière, déterminer le champ de pleine lumière objet. En déduire la valeur du champ de pleine lumière dans le plan image.
12. Sur l'annexe 2, 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 du télescope.
13. Déterminer graphiquement le diamètre du trou que l'on doit pratiquer dans le miroir primaire et le diamètre du miroir secondaire pour obtenir ce champ de pleine lumière.
14. En déduire le facteur d'obturation minimal du télescope.

La magnitude apparente m est l'échelle utilisée pour définir la luminosité d'un objet céleste quelconque dans le ciel vu depuis la Terre. Elle s'exprime comme $m = -2,5 \times \log_{10} \left(\frac{E}{E_{ref}} \right)$ où E est l'éclairement de l'objet produit à la surface de la terre et E_{ref} l'éclairement de référence qui vaut $2,52 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2$. Cet éclairement de référence correspond à l'étoile Véga de la constellation de la Lyre située au zénith.

Les miroirs du télescope ont des coefficients de réflexion en intensité de 95%.

On pointe le télescope vers Alpha du Centaure B l'étoile non résolue de magnitude $m=1,33$ la plus proche du Soleil.

- 15.** Déterminer le flux de l'étoile reçu dans l'image. Donnez votre résultat en nombre de photons par seconde pour une longueur d'onde de 500 nm (constantes utiles : $h=6,64 \cdot 10^{-34}$ J.s et $c=3 \cdot 10^8$ m.s⁻¹).

On pointe maintenant le télescope vers la nébuleuse de la constellation d'Orion qui est un objet céleste étendu de magnitude $m=3,7$ et vue sous un angle de champ de 65 minutes d'angle.

- 16.** Déterminer l'éclairement reçu dans l'image.

On souhaite effectuer une analyse spectrale de la nébuleuse. Pour cela le plan focal image du télescope est masqué par un trou T de diamètre 500 μ m. Une lentille L, non traitée antireflet, conjugue le trou T sur le cœur d'une fibre optique de diamètre 50 μ m, utilisée pour transporter le flux lumineux vers le spectromètre. La distance entre le trou T et la fibre est de 220 mm. La lentille ne limite pas l'ouverture des faisceaux.

- 17.** Quel est le champ objet correspondant au trou T ?

- 18.** Déterminer la distance focale de la lentille L nécessaire pour la conjugaison trou-fibre.

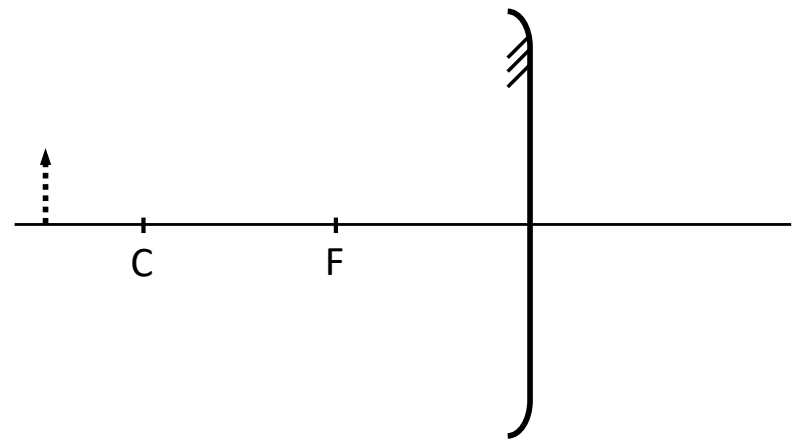
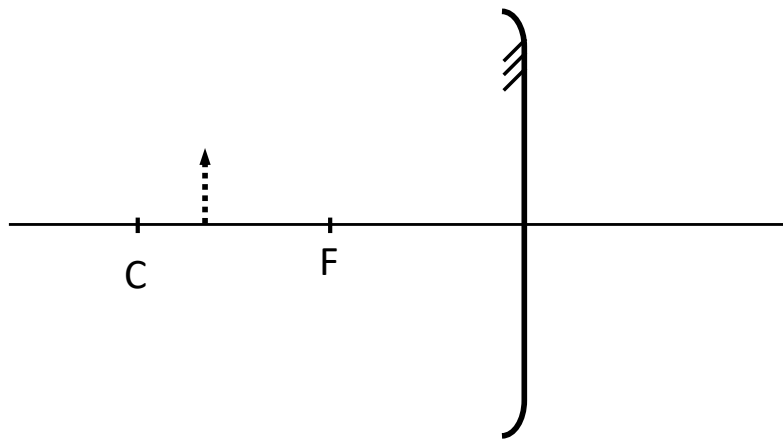
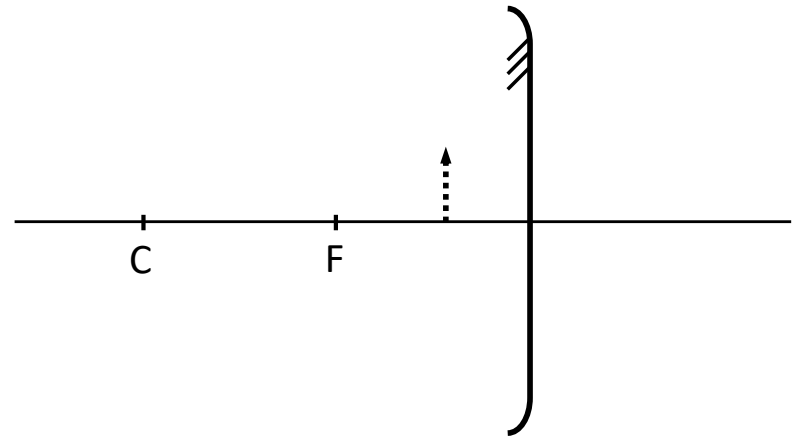
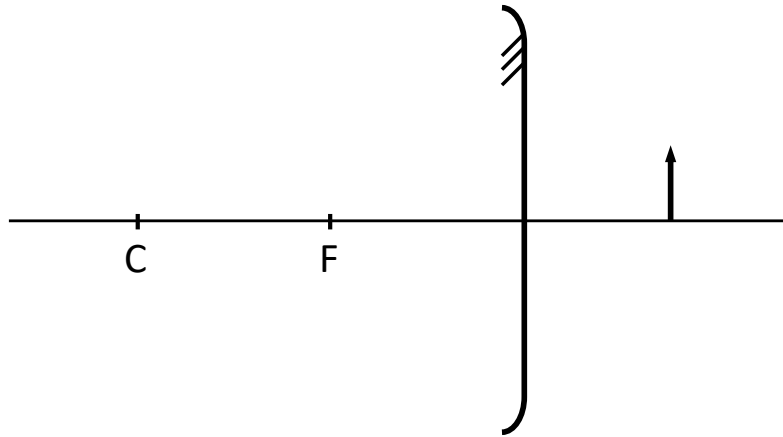
On dispose d'une fibre #1 ayant une ouverture numérique de 0,6 et d'une fibre #2 ayant une ouverture numérique de 0,4. L'ouverture numérique d'une fibre est l'ouverture maximale du faisceau incident permettant une transmission sans perte.

- 19.** Quelle est l'ouverture numérique image du faisceau à l'entrée de la fibre ? Quelle fibre vous semble la plus appropriée ? Justifiez votre réponse.

- 20.** Peut-on augmenter le flux transmis à la fibre en utilisant un système à plusieurs lentilles ? Justifiez votre réponse.

- 21.** Quel est le flux renvoyé vers le spectromètre par la fibre #1 lorsque le télescope pointe la nébuleuse d'Orion ?

sens de la lumière
←



sens de la lumière



plan M_1



S_1



Correction examen optique instrumentale janvier 2019

1. $gy = +5$
2. annexe 1
3. schéma principe
4. 300 mm.
5. $\overline{S_1 F'} = +200mm$
6. $\text{Dia}_{PE} = f'/N = 200 \text{ mm}$
7. Tracé axe
8. Ps en F2 de taille $\text{dia}_{PE} \times f_2 / f_1 = 62,5 \text{ mm}$
9. $\sin(\alpha') = \text{dia}_{PS} / \text{Ps} F' = 0,05$
10. $1,22\lambda / \text{Dia}_{Pe} = 3.10^{-6} \text{ rad} = 0,6''$
11. $\text{thetacpl} = (\text{dia}_{M1} - \text{dia}_{Pe}) / f_1 = 0,05 \text{ rad} \rightarrow \text{ycpl} = \text{thetacpl} \times f' = 100 \text{ mm}$
12. Tracé CPL
13. $\text{dia}_{M2} \sim 70 \text{ mm} / \text{Dia}_{trouM1} \sim 90 \text{ mm}$
14. $t_{\text{opt}} = \text{SM2} / \text{SPE} \sim 12\%$
15. $\text{Flux Reçu} = R^2 \times (1 - t_{\text{opt}}) \times \text{Spe} \times E_{\text{ref}} \times 10^{-m/2,5} \sim 1,8.10^{-10} \text{ W/m}^2 \sim 4,6.10^8 \text{ ph/s}$
16. $E_{\text{IMAGE}} = \text{Eclairage image} = \text{Flux}_{\text{image}} / S_{\text{image}}$
 $= R^2 \times (1 - t_{\text{opt}}) \times \text{Spe} \times E_{\text{ref}} \times \exp(-m/2,5) / (\pi/4 \times (f \times 65')^2)$
 $= R^2 \times (1 - t_{\text{opt}}) \times E_{\text{ref}} \times 10^{-m/2,5} / (N \times 65')^2$
 $= 1,8.10^{-8} \text{ W/m}^2$
 $= 4,6.10^{10} \text{ ph/s/m}^2$
17. $\text{Champ}_{\text{trou}} = \text{Dia}_T / f' = 0.5 / 2000 = 0,25 \text{ mrad} = 50''$
18. $gy_L = 50 / 500 = 0,1 \rightarrow f_L = 18,2 \text{ mm}$
19. $\text{ON}_{\text{entree fibre}} = \text{ON}_{\text{telescope}} / gy_L = 0.5 \rightarrow \text{donc fibre \#1}$
20. On ne peut pas augmenter le flux transmis jusqu'à la fibre avec d'autres lentilles car ce flux est limité par l'étendue géométrique du faisceau dans le télescope, défini par la pupille et le diaphragme de champ (ici le trou)
21. $\text{FLUX} = E_{\text{IMAGE}} \times T_{\text{lentille}} \times S_{\text{TROU}} = E_{\text{IMAGE}} \times 0,9 \times S_{\text{TROU}} = 3.10^{-15} \text{ W} = 8.10^3 \text{ ph/s}$

