

Cycle Ingénieur 1A – novembre 2019

## Examen d'optique instrumentale

---

durée 3h

formulaire A4 recto-verso et calculatrice autorisés

Le sujet présente 3 feuilles et une annexe.

L'annexe, en mentionnant vos nom-prénom, est à rendre avec votre copie.



Ce soir, vous sortez à l'opéra Bastille pour voir le ballet Casse-Noisette. Votre budget d'étudiant.e vous permet d'avoir la plus mauvaise place ! Vous êtes situé à 36 mètres de la scène. Au premier acte (partie A) vous regardez le spectacle à l'œil nu muni de votre smartphone pour prendre quelques photos. Au second acte (partie B) vous sortez votre lunette de Galilée empruntée au LENSE !

**Les parties A et B sont indépendantes.**

## A. Premier acte

L'œil présente une résolution angulaire de  $2'$  (2 minutes d'arc).

1. Pouvez-vous observer les expressions du visage des acteurs ? Autrement dit, quelle est la taille des détails situés à 36 m que vous pouvez observer à l'œil nu ? Justifiez votre réponse.

Pour saisir toute la palette d'émotions véhiculées par les danseuses et les danseurs vous sortez discrètement votre smartphone pour faire quelques photos. Il présente un objectif à focale fixe de 3,5 mm ouvert à  $f/2,4$ . Le capteur est un carré de 4 mm de côté. Ses pixels carrés font  $3,5 \mu\text{m}$  de côté. On supposera que l'objectif est équivalent à une lentille mince convergente.

2. Quelle est la taille de l'image  $y'$  (située sur le capteur) d'un objet à l'infini vu sous un angle  $\theta$ ? Faire un schéma de principe.
3. Calculer la tache image due à la diffraction pour une longueur d'onde de 500 nm. En déduire ce qui limite la résolution dans l'image fournie.
4. Déterminer la résolution angulaire dans l'espace objet situé à l'infini. En déduire la résolution sur la scène à 36 m.
5. Déterminer le champ transversal angulaire dans l'espace objet situé à l'infini. En déduire le champ sur la scène à 36 m.

## B. Deuxième acte

Pas très satisfait par les photos prises par votre smartphone, vous sortez votre magnifique lunette de Galilée. C'est une lunette afocale. L'objectif est une lentille mince convergente de focale 350 mm et de diamètre 20 mm. L'oculaire est une lentille mince divergente de focale -50 mm et de diamètre 10 mm. Le diaphragme d'ouverture est l'objectif.

6. Faire un schéma de principe de la lunette en traçant deux rayons provenant d'un objet ponctuel à l'infini sur l'axe. Placez les foyers des lentilles.
7. Déterminer la distance entre l'objectif et l'oculaire. Application numérique.
8. Déterminer le grossissement de la lunette (amplitude et signe). Voyez vous enfin le joli sourire de Clara (ou du prince Casse-Noisette) ?

L'annexe, fournie pour les tracés de rayons, présente une échelle  $\times\frac{1}{2}$  le long de l'axe et  $\times 5$  en transversal. L'objectif est positionné mais la longueur du trait est arbitraire.

9. Sur l'annexe, placer l'oculaire et tracer deux rayons provenant d'un objet ponctuel placé à l'infini sur l'axe, s'appuyant sur les bords de la pupille d'entrée et traversant la lunette dans sa totalité.

10. A l'aide de tracés de rayons, positionner la pupille de sortie de la lunette.
11. Vérifier par le calcul la taille et la position (par rapport à l'oculaire) de la pupille de sortie de la lunette.
12. 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 de la lunette.
13. Déterminer graphiquement le champ de pleine lumière dans l'espace intermédiaire situé entre l'objectif et l'oculaire ? Donnez sa valeur en mm.
14. Donnez une expression du champ de pleine lumière dans l'espace objet. Application numérique en degré. Puis donnez sa valeur en mètre sur la scène.

Vous placez maintenant votre œil à 10 mm de l'oculaire. Il possède une pupille de diamètre 4 mm.

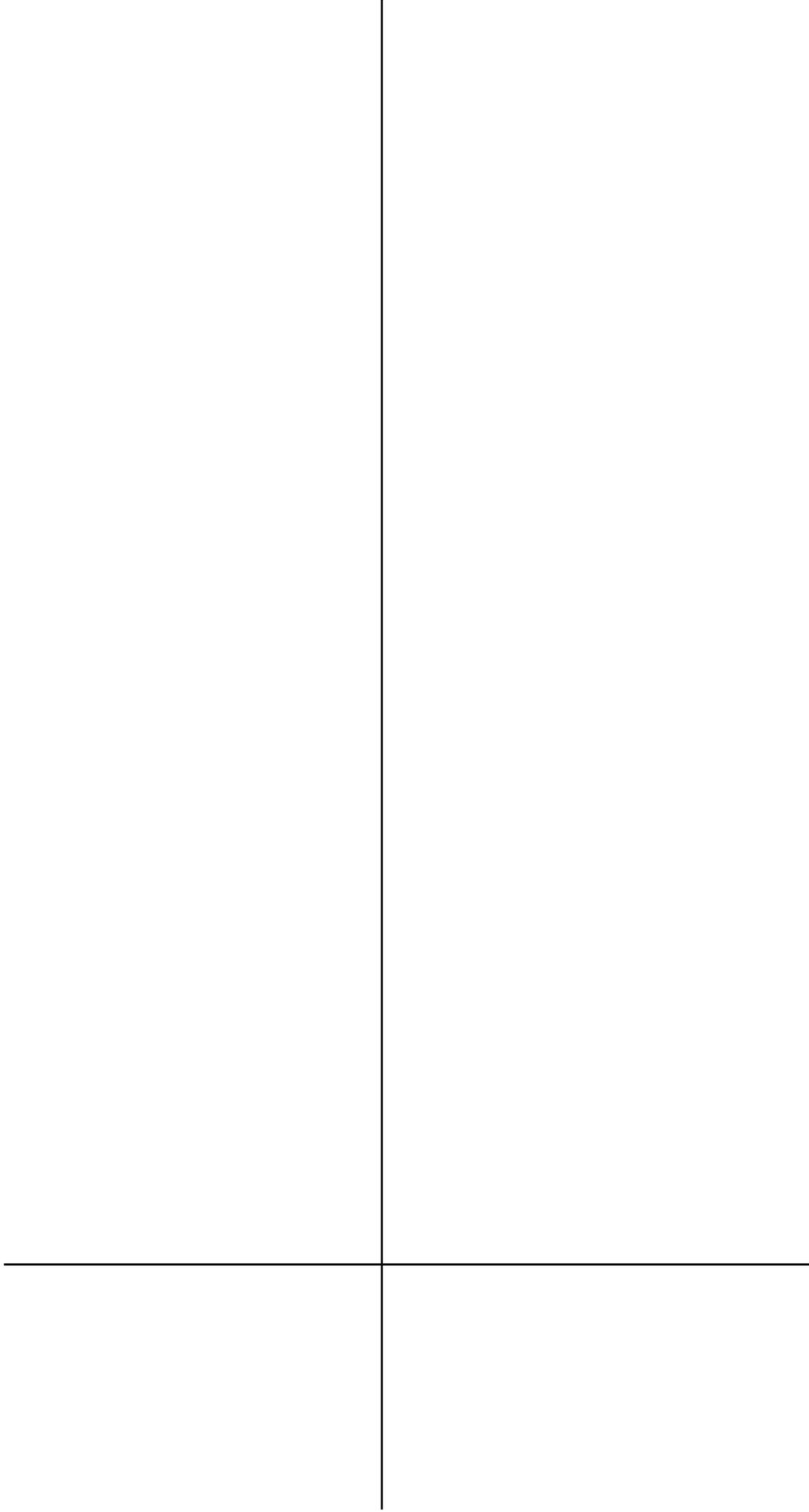
15. Placez la pupille de l'œil sur l'annexe. Pourquoi la pupille du système {lunette+œil} est toujours l'objectif ?
16. Faites un deuxième schéma sur votre copie ( $\times 2$  le long de l'axe /  $\times 10$  transverse à l'axe) en faisant apparaître l'ensemble des éléments dans l'espace situé entre la sortie de la lunette et la pupille de l'œil.
17. Montrer, en vous aidant du schéma de la question précédente, que la lucarne de champ de pleine lumière du système {lunette+œil} est maintenant la pupille de l'œil.
18. En déduire une expression du nouveau champ de pleine lumière dans l'espace entre la lunette et l'œil. Application numérique en degré.
19. Donnez une expression du nouveau champ de pleine lumière dans l'espace objet. Application numérique en degré. Puis donnez sa valeur en mètre sur la scène. Conclure sur la pertinence d'utiliser cette lunette.
20. Une question vous taraude tout de même. 36 m ce n'est pas l'infini ! Dans quel sens et de combien devez-vous déplacer l'oculaire pour voir net à travers la lunette lorsque l'objet est à 36 m de l'objectif (l'œil accommode toujours à l'infini).
21. Question bonus : Qui a adapté le conte Casse-Noisette au ballet ?

ANNEXE / Nom Prénom

échelle longitudinale :  $\times \frac{1}{2}$

échelle transversale :  $\times 5$

objectif



1.  $2' \times 36m = 2 \text{ cm}$  limite pour bien voir l'expression des visage 1pt
2.  $y' = f'\theta$  + schéma 1pt
3.  $\emptyset = 2,44\lambda N = 2,9\mu\text{m} < \text{pixel} \rightarrow \text{résolution limitée par le pixel}$  1pt
4.  $\delta\theta_{\text{pixel}} = \frac{\text{pixel}}{f'} = 1\text{mrad} \rightarrow 3,6\text{cm}$  1pt
5.  $\theta_{\text{capteur}} = \frac{\text{capteur}}{f'} = \frac{4\text{mm}\sqrt{2}}{f'} = 1,61\text{rad} \rightarrow 58\text{m} (41\text{m si oublie racine 2})$  1pt
6. Schéma de principe 1pt
7.  $f_{\text{obj}} + f_{\text{oc}} = 350 - 50 = 300 \text{ mm}$  1pt
8.  $G = \frac{350}{50} = +7$  1pt
9. Schéma sur l'axe 1pt
10. Schéma pupille sortie 1pt
11.  $F'_{\text{ocPs}} \times F_{\text{ocPe}} = -f'^2_{\text{oc}} \rightarrow F'_{\text{ocPs}} = -50^2 / -350 = +7,1 \text{ mm}$  soit  $O_{\text{ocPs}} = -42,9\text{mm}$   
 $\text{Dia}_{\text{Ps}} = \text{Dia}_{\text{Pe}} \times O_{\text{ocPs}} / O_{\text{ocPe}} = 20 \times (-50 + 7,1) / -300 = 2,85 \text{ mm}$  1pt
12. Schéma CPL 2pt
13.  $\text{dia}_{\text{CPL}_{\text{int}}} = 8 \text{ mm}$  1pt
14.  $\theta_{\text{CPL}_{\text{objet}}} = \text{dia}_{\text{CPL}_{\text{int}}} / f_{\text{obj}} = 1,31^\circ \rightarrow 82 \text{ cm à } 36 \text{ m}$  1pt
15. Dans l'espace de sortie, PS est toujours l'élément ayant le plus petit diamètre. 1pt
16. Schéma position élément 0pt
17. Schéma + tracé 1pt
18.  $(\Phi_{\text{oeil}} - \Phi_{\text{Ps}}) / \text{PsOeil} = (4 - 2,85) / (50 - 7,1 + 10) = 1,24^\circ$  1pt
19.  $\theta_{\text{CPL}_{\text{objet}}} = \theta_{\text{CPL}_{\text{objet}}} / G = 0,177^\circ$  soit 11 cm à 36 m  
 Ce champ est un peu petit pour une observation utile 1pt
20.  $F_{\text{objA}} * F'_{\text{objA}} = -f'^2_{\text{obj}}$   
 $F'_{\text{objA}} = 350^2 / (35650\text{mm}) = 3,4 \text{ mm}$   
 vous devez déplacer l'oculaire de +3,4 mm 1pt
21. Piotr Ilitch Tchaïkovski ou Tchaïkovsky 0,5pt

**Somme** à 20 + 0,5

