

Physique 1

Durée : 4 heures

Calculatrice autorisée – Documents interdits

- Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il est invité à le signaler sur sa copie et à poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.
- Tout résultat fourni dans l'énoncé peut être utilisé pour les questions ultérieures, même s'il n'a pas été démontré.
- Il ne faudra pas hésiter à formuler les commentaires (incluant des considérations numériques) qui vous sembleront pertinents, même lorsque l'énoncé ne le demande pas explicitement. Le barème tiendra compte de ces initiatives ainsi que des qualités de rédaction de la copie.

Ce sujet est constitué de deux problèmes indépendants. Il comporte 17 pages ; avant de composer, assurez-vous que votre sujet est complet.

Premier problème : Lunette astronomique

Un document présentant le principe de construction d'une lunette astronomique d'initiation est fourni en annexe. L'objectif de ce problème est de vérifier les valeurs numériques fournies par l'auteur de l'annexe et de comparer les performances des deux oculaires proposés.

Pour les applications numériques, on utilisera les valeurs de diamètre et de distance focale fournies dans l'annexe.

1 Préliminaires

1. Donner la définition d'un système centré. Rappeler l'approximation de la lentille mince.
2. Rappeler les conditions de Gauss. Quelles en sont les conséquences.
3. Tracer l'image $\overline{A'B'}$ d'un objet \overline{AB} à travers une lentille divergente de centre O et de distance focale f' .
4. À l'aide de ce schéma, démontrer la relation suivante :

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

2 Principe de fonctionnement

La lunette astronomique est un système centré constitué d'un objectif et d'un oculaire. L'objectif est assimilé à une lentille mince convergente de centre optique O_1 , de distance focale f'_1 et de diamètre ϕ_1 . L'oculaire est une lentille mince de centre optique O_2 , de distance focale f'_2 et de diamètre ϕ_2 .

L'objectif donne, d'un objet éloigné, une image réelle appelée image objective. Cette dernière est observée au moyen de l'oculaire.

5. À quelle condition l'œil d'un observateur, supposé emmétrope, n'accorde pas ? En déduire la position relative de l'objectif et de l'oculaire. Ce système optique possède-t-il des foyers ? Comment se nomme un tel système optique ?

Donner la longueur minimale de la lunette pour les deux oculaires possibles.

6. Dans le cas d'un oculaire convergent, réaliser un schéma, sans respecter les échelles, montrant le devenir d'un rayon incident faisant un angle θ avec l'axe optique et émergeant sous un angle θ' dans les conditions de Gauss.

7. Le grossissement de la lunette est défini par $G = \frac{\theta'}{\theta}$. Démontrer l'expression du grossissement fournie en annexe. Que devient le grossissement dans le cas d'un oculaire divergent ? On pourra s'aider d'un schéma.

8. Calculer les grossissements pour les deux oculaires. Commenter. Quel est l'intérêt d'utiliser une lentille divergente ?

On définit le cercle oculaire comme l'image de l'objectif par l'oculaire. Dans la suite, sauf mention contraire, on se restreint au cas de l'oculaire convergent.

9. Déterminer la position du cercle oculaire $\overline{O_2 C}$ en fonction de f'_1 et f'_2 . Exprimer également le diamètre D_C du cercle oculaire.

Applications numériques.

On veut maintenant trouver graphiquement l'intérêt de ce cercle oculaire. On note α l'angle d'incidence d'un rayon sur l'objectif.

10. Compléter la figure fournie en annexe en traçant la marche complète (avant L_1 et après L_2) du rayon déjà tracé.

On note α_m l'angle d'incidence du rayon sur l'objectif.

On considère un objet situé à l'infini, en dehors de l'axe optique, dans une direction formant un angle α avec l'axe optique

11. Justifier que si $\alpha > \alpha_m$, alors tous les rayons incidents ne passeront pas par l'oculaire.

12. Compléter la figure en annexe en ajoutant deux rayons en incidence normale au bords de l'objectif ainsi qu'un rayon incident avec un angle α_m en haut de l'objectif.

13. Faire apparaître sur l'annexe le disque dans lequel passent tous les rayons. Comparer sa position et sa taille avec \overline{OC} et D_C calculés précédemment.

Conclure sur l'intérêt de placer son œil au cercle oculaire.

14. Sans calcul, donner qualitativement la position du cercle oculaire pour un oculaire divergent.

Quel est l'inconvénient de la lentille divergente ?

15. Exprimer α_m en fonction de f'_1, f'_2, ϕ_1 et ϕ_2 .

Application numérique.

16. Déterminer le champ angulaire maximal visible dans la lunette.

3 Limites d'utilisation

3.1 Diffraction

17. Donner le rayon angulaire de la tache de diffraction par l'objectif.
18. En déduire l'angle α_D d'écart entre deux objets lointains en dessous duquel ils ne seront pas discernables. Commentaire.

3.2 Aberrations chromatiques

La vergence V d'une lentille mince est donnée par la relation algébrique suivante :

$$V = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

où n est l'indice de réfraction du verre constituant la lentille et R_1 et R_2 les rayons de courbure algébriques ($R_x = \overline{S_x C_x}$) respectivement des faces avant et arrière de la lentille.

L'indice n varie avec la longueur d'onde λ suivant la loi empirique de Cauchy :

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

A et B étant deux constantes positives. Pour un verre de type crown :

$$A = 1,515 \quad \text{et} \quad B = 3,400 \cdot 10^3 \text{ nm}^2$$

On définit la constringence ν et le pouvoir dispersif K d'un verre par :

$$\nu = \frac{1}{K} = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$$

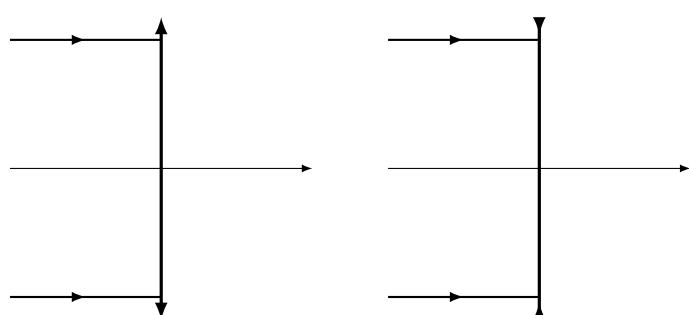
où n_F , n_D et n_C sont les indices du verre pour les radiations F (bleu : $\lambda_F = 486,0 \text{ nm}$), D (jaune : $\lambda_D = 589,0 \text{ nm}$) et C (rouge : $\lambda_C = 656,0 \text{ nm}$).

On notera f'_F , f'_D et f'_C les distances focales images et F'_F , F'_D et F'_C les foyers images de la lentille pour les radiations F , D et C respectivement.

Une lentille mince (L), en verre crown, est biconvexe avec les rayons de courbure R_1 et R_2 tels que $|R_1| = 90,00 \text{ cm}$ et $|R_2| = 150,0 \text{ cm}$.

19. Calculer, avec le nombre de chiffres significatifs correct, les indices n_F , n_D et n_C . En déduire la constringence ν et le pouvoir dispersif K pour ce verre crown.
20. Déterminer la distance focale moyenne f'_D de (L).

Deux lentilles minces convergente (L_1) et divergente (L_2) sont éclairées, parallèlement à l'axe optique, par un faisceau de lumière blanche.



21. Reproduire les figures ci-dessus et tracer le cheminement des rayons lumineux bleu et rouge de longueurs d'onde respectives (λ_F) et (λ_C) émergeant des lentilles (L_1) et (L_2), en indiquant pour chacune de ces deux lentilles la position relative des foyers F'_F et F'_C sur l'axe optique.
22. L'aberration chromatique longitudinale d'une lentille est définie par la distance algébrique $A_L = \overline{F'_F F'_C}$ qui sépare les foyers bleu F'_F et rouge F'_C . Exprimer A_L pour la lentille convergente (L), en fonction de la constringence v et de la distance focale moyenne f'_D en supposant que $f'_F f'_C \simeq f'_D^2$. Commentaire. Calculer numériquement A_L .
23. On définit l'aberration chromatique transversale A_T d'une lentille comme le rayon de la plus petite tache lumineuse produite par les faisceaux bleu et rouge, interceptée par un écran disposé normalement à l'axe optique. Exprimer A_T pour (L), en fonction de la constringence v et du diamètre ϕ de la lentille, en supposant de plus que f'_D est quasiment la moyenne arithmétique de f'_F et f'_C . Commentaire. Calculer numériquement la valeur de A_T .

On réalise un objectif achromatique mince en accolant la lentille (L) précédente biconvexe, de rayons de courbure R_1 et R_2 en verre crown avec une lentille (L'), plan concave en verre de type flint, de sorte que les faces de contact aient le même rayon de courbure R_2 .

Les indices de réfraction des deux verres sont donnés par la loi de Cauchy :

- verre crown : $A_1 = 1,515$ et $B_1 = 3,400 \cdot 10^3 \text{ nm}^2$,
- verre flint : A_2 et B_2 à déterminer.

24. Exprimer les vergences V_1 , V_2 respectivement des lentilles (L), (L') en fonction des constantes A_1 , A_2 , B_1 , B_2 , des rayons R_1 , R_2 et de λ . En déduire la vergence $V = V_1 + V_2$ des deux lentilles accolées.
25. Déterminer l'expression de $\frac{\partial V}{\partial \lambda}$. Que doit valoir cette expression pour supprimer l'aberration chromatique ? En déduire une relation entre B_1 , B_2 , R_1 et R_2 puis exprimer la vergence V en fonction de A_1 , A_2 , R_1 et R_2 .
26. Calculer les constantes A_2 et B_2 pour que la distance focale de l'objectif soit égale à f'_1 (voir première partie).

FIN DU PREMIER PROBLÈME

Second problème : Moteurs à explosion

Les moteurs à combustion interne, qui comprennent essentiellement les moteurs à allumage commandé (cycle de BEAU DE ROCHAS) et les moteurs DIESEL, sont d'une très grande importance pratique. Ils constituent notamment la quasi-totalité des moteurs des automobiles. Ce problème étudie le fonctionnement théorique de ces moteurs.

Dans tout le problème, les gaz seront supposés parfaits.

1 Rendement théorique

Pour récupérer, en partie, cette énergie chimique, le principe est le suivant : on comprime un gaz (de l'air mélangé éventuellement à du carburant) dans un cylindre à l'aide d'un piston, lui-même actionné par un système bielle-vilebrequin (cf. figure 1). Le mélange a été préalablement admis dans le cylindre par une soupape d'admission (fermée ultérieurement). En fin de compression a lieu la réaction de combustion (s'il n'y était pas déjà, le combustible est donc injecté dans le cylindre, à ce stade). Une partie de l'énergie dégagée est récupérée sous forme de travail car les gaz résultants de cette réaction repoussent le piston. Les gaz subissent alors une détente (augmentation du volume tandis que le piston est repoussé vers le bas). La rotation de l'arbre conduit, par l'intermédiaire du système bielle-vilebrequin, à la remontée du piston. La soupape d'échappement s'ouvre, ce qui permet l'évacuation des gaz vers l'extérieur. La rotation de l'arbre se poursuivant, le piston redescend. La soupape d'échappement se ferme et celle d'admission s'ouvre et on revient à la phase d'admission.

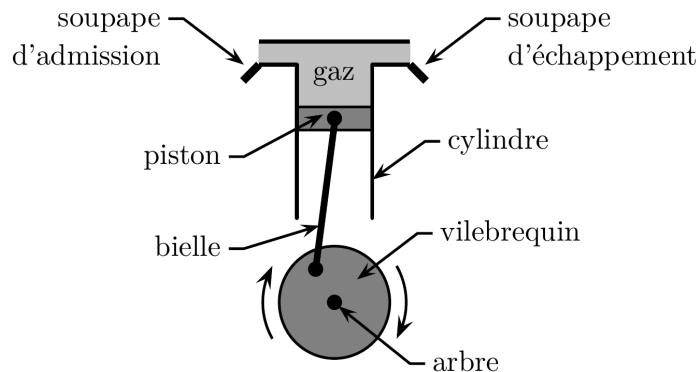


FIG. 1 : Schéma d'un cylindre.

Pendant un cycle complet, le vilebrequin a donc accompli deux tours et le piston deux allers et retours : le piston descend pendant l'admission, remonte pendant la compression, redescend pendant la détente (après réaction) et remonte pendant l'échappement. Le moteur étudié est donc à quatre temps.

Le but du système bielle-vilebrequin est de transformer les mouvements de translation du piston en mouvement de rotation de l'arbre qui sera transmis aux roues.

On idéalise le fonctionnement du moteur en considérant que le système fermé constitué de n moles de gaz parfait parcourt le cycle réversible suivant (se reporter au diagramme de Watt donné à la figure 2) :

- compression adiabatique de A à B ;
- la combustion démarre en B et il s'ensuit une première phase de B à C isochore ;
- la combustion se poursuit dans une phase isobare de C à D ;

- détente adiabatique de D à E ;
- phase isochore de E à A .

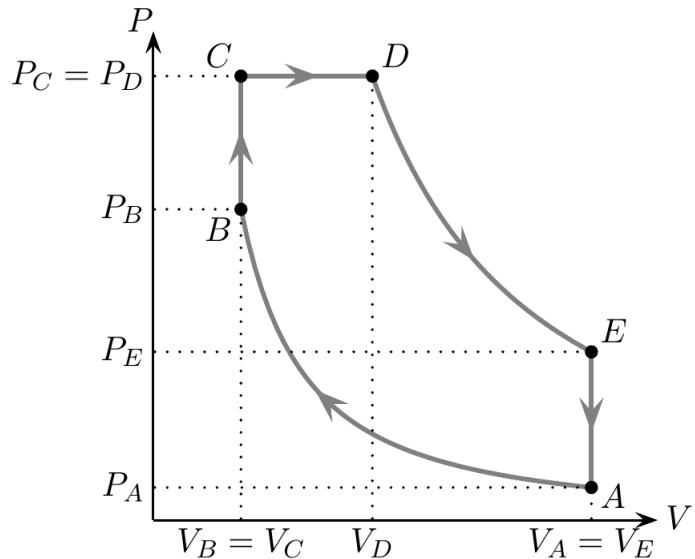


FIG. 2 : Diagramme de Watt du cylindre.

La combustion est prise en compte de façon abstraite : on ne se préoccupe pas des modifications dans la composition du système dues à la réaction chimique ; on considère que la combustion est équivalente à un apport de chaleur au gaz effectuant le cycle, durant les phases $B \rightarrow C$ et $C \rightarrow D$.

On adopte les notations suivantes :

$$\alpha = \frac{V_A}{V_B}, \quad \lambda = \frac{P_C}{P_B} \quad \text{et} \quad \varepsilon = \frac{V_D}{V_C}.$$

On notera C_{vm} la capacité thermique molaire à volume constant de l'air, C_{pm} la capacité thermique molaire à pression constante et $\gamma = \frac{C_{pm}}{C_{vm}}$. On prendra $\gamma = 1,35$.

Les différentes valeurs des pressions et des volumes sont indiquées sur le schéma 2. On notera de même T_A, T_B, T_C, T_D et T_E les températures respectives des points A, B, C, D et E .

1. Écrire la relation entre P_A, P_B, V_A, V_B et γ .
2. Exprimer la chaleur Q_{AB} et le travail W_{AB} reçus par le gaz pendant la transformation $A \rightarrow B$. On exprimera les résultats en fonction de P_A, P_B, V_A, V_B et γ .
3. Exprimer la chaleur Q_{BC} et le travail W_{BC} reçus par le gaz pendant la transformation $B \rightarrow C$. On exprimera les résultats en fonction de n, C_{vm}, T_B et T_C .
4. Exprimer la chaleur Q_{CD} reçue par le gaz pendant la transformation $C \rightarrow D$. On exprimera le résultat en fonction de n, C_{pm}, T_C et T_D .
5. Exprimer les chaleurs Q_{DE} et Q_{EA} reçues par le gaz pendant les transformations $D \rightarrow E$ et $E \rightarrow A$. On exprimera le résultat en fonction des températures des points extrêmes des transformations étudiées, de n et des capacités thermiques molaires.
6. Que vaut la variation d'énergie interne ΔU sur un cycle complet (ABCDEA) ?

7. En déduire le travail total W reçu par le gaz au cours d'un cycle en fonction des chaleurs reçues définies dans les questions précédentes.
8. Définir le rendement η du cycle.
L'exprimer ensuite uniquement en fonction des chaleurs reçues définies dans les question précédentes.
9. Exprimer T_B en fonction de T_A , γ et α .
10. Exprimer T_C en fonction de T_A , γ , α et λ .
11. Exprimer T_D en fonction de T_A , γ , α , λ et ε .
12. Exprimer T_E en fonction de T_A , γ , λ et ε .
13. Montrer alors que le rendement peut s'écrire :

$$\eta = 1 - \frac{\lambda \varepsilon^\gamma - 1}{\alpha^{\gamma-1} [\lambda - 1 + \gamma \lambda (\varepsilon - 1)]}.$$

2 Moteur à allumage commandé

Les moteurs à essence suivent le cycle de BEAU DE ROCHAS. Le gaz qui entre dans le cylindre durant la phase d'admission est un mélange essence-air. Le combustible est donc présent dans le système durant la phase de compression. La réaction de combustion est déclenchée en B par une étincelle d'allumage (arc électrique) générée par un dispositif appelé bougie. La combustion étant très rapide, on peut considérer qu'elle se fait à volume constant (phase isochore BC). Elle est suivie par la détente. Il n'y a donc pas de phase isobare (en d'autres termes, on pourra représenter le cycle à l'aide du diagramme de Watt de la figure 2 dans lequel les points D et C sont confondus).

14. Compte tenu de ce qui précède, simplifier l'expression du rendement donnée à la question 13.
15. Le coefficient α est appelé rapport de compression volumétrique.
Pour avoir le plus grand rendement possible, a-t-on *a priori* intérêt à le choisir grand ou petit ?
16. Si la température en fin de compression (en B) est trop élevée, la combustion peut démarrer spontanément (auto-allumage du mélange) ce qui provoque des vibrations et une détérioration des parois (cliquetis).
En admettant que, pour le combustible utilisé, cette température maximale soit de 380°C (653 K), calculer numériquement la valeur maximale α_{\max} du rapport de compression volumétrique. On prendra $T_A = 300$ K.
17. Calculer le rendement théorique du moteur pour une valeur du rapport de compression volumétrique égale à la valeur calculée précédente α_{\max} .
18. On peut améliorer le rapport de compression volumétrique maximal en choisissant soigneusement la composition de l'essence utilisée.
Connaissez-vous un indice qui permet d'évaluer la tendance à l'auto-allumage d'un carburant ?
19. Une autre manière d'améliorer le rapport de compression volumétrique maximal est de rajouter à l'essence du plomb tétraméthyle ou du plomb tétraéthyle.
Quel est l'inconvénient de procéder ainsi ?

3 Moteur DIESEL

Dans un moteur DIESEL, pour permettre un meilleur rapport de compression volumétrique tout en évitant l'auto-allumage prématûré, le carburant n'est pas mélangé à l'air dans la phase d'admission mais il est injecté après la compression, en *B*. C'est donc de l'air sans carburant qui subit la compression. La température devient alors très élevée et le combustible injecté s'enflamme spontanément. Il n'y a pas besoin d'étincelle d'allumage. L'injection est progressive et réglée de telle manière qu'on pourra considérer que la combustion est uniquement isobare. Ainsi, il n'y a pas d'étape isochore *BC* (en d'autres termes, on pourra représenter le cycle à l'aide du diagramme de Watt de la figure 2 dans lequel les points *B* et *C* sont confondus).

20. Compte tenu de ce qui précède, simplifier l'expression du rendement donnée à la question 13.
21. Le rapport de compression volumétrique α étant supposé égal à 22, déterminer la température T_B en fin de compression si $T_A = 300$ K.
22. Supposons qu'une automobile à moteur DIESEL roule à la vitesse constante de $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, avec une consommation constante de 6 litres de gazole par 100 km parcourus. Le moteur tourne à la vitesse angulaire, elle aussi constante, de 2 000 tours par minute.
Quelle est la masse de carburant injectée à chaque cycle dans le moteur (on n'oubliera pas qu'il y a deux tours de moteur lorsque le cycle est décrit une fois) ? On donne la masse volumique du gazole : $\mu = 850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
23. On définit le *pouvoir calorifique inférieur*, noté P_{ci} comme étant la chaleur dégagée par la réaction de combustion par unité de masse de combustible. On prendra $P_{ci} = 44,8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.
Calculer la chaleur fournie, durant la phase de combustion, au gaz parcourant le cycle.
24. La masse d'air parcourant le cycle vaut 25 fois la masse de carburant injecté. Cette masse d'air reçoit la chaleur calculée à la question précédente (dans le cadre de la modélisation effectuée, on ne se préoccupe plus de la masse de carburant ni des produits de la réaction).
Dans ces conditions, calculer la température T_D en fin de combustion (on rappelle que $T_B = T_C$ pour le moteur DIESEL). On donne la masse molaire de l'air $M = 28,8 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et la capacité molaire à pression constante de l'air $C_{pm} = 32,0 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.
25. En déduire la valeur numérique du rendement théorique de ce moteur DIESEL.

FIN DU SECOND PROBLÈME - FIN DE L'ÉPREUVE

Annexes

Construction d'une lunette astronomique d'initiation

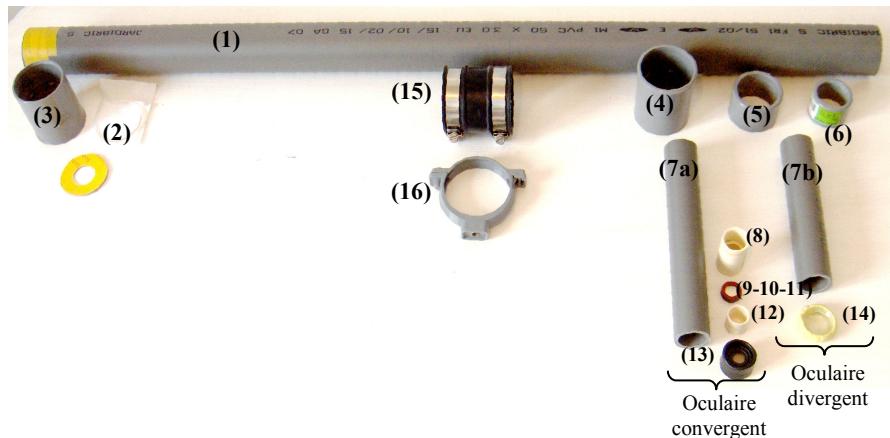


Figure 1 : Lunette astronomique d'initiation en kit avant montage.

- 1** : Tube principal $\Phi_{ext} = 50$ mm **2** : Verre objectif **3** : Manchon objectif $\Phi_{int} = 50$ mm **4** : Manchon oculaire $\Phi_{int} = 50$ mm **5** : Bague réductrice 50/40 **6** : Bague réductrice 40/32 **7a ou 7b** : Tube secondaire coulissant $\Phi_{ext} = 32$ mm, $\Phi_{int} = 25$ mm **8** : Manchon réducteur 25/20 **9** : Rondelle n° 1 **10** : Verre oculaire convergent $\Phi = 12,5$ mm **11** Rondelle n°2 **12** Manchon $\Phi_{ext} = 20$ mm **13** : Embout en caoutchouc **14** : Verre oculaire divergent entouré de patafix **15** : Manchon en caoutchouc $\Phi_{int} = 50$ mm **16** : Collier.

Passons de la théorie à la pratique, en construisant notre propre lunette astronomique d'initiation. Avec un grossissement $\times 40$, elle nous permettra d'observer la Lune et les planètes du système solaire, tout en comprenant les principes fondamentaux mis en œuvre dans la construction d'un instrument d'optique. Conçue pour être montée sur un simple pied d'appareil photographique, utilisant des verres non traités et des tubes PVC achetés dans le commerce¹, son prix de revient reste modéré (environ 100 euros). Son montage est très simple et ne nécessite aucun collage ni vissage. Pour sa construction, je me suis inspiré d'une brochure ancienne publiée par Pierre Bourge, fondateur de l'Association Française d'Astronomie (AFA), et d'une autre plus récente, diffusée par A. Dargencourt à l'occasion d'une école d'été du CLEA (Comité de Liaison Enseignants Astronomes).

1. Choix de l'objectif et de l'oculaire

1.1 Objectif

Il s'agit d'une lentille plan-convexe de focale $f'_{ob} = 1,00$ m, et de diamètre $\Phi_{ob} = 51,8$ mm. La forme

plan-convexe, la grande longueur de la focale et la faible ouverture relative permettent de limiter l'aberration sphérique et l'aberration chromatique transversale. Pour observer des objets célestes très lumineux comme la Lune, on diaphragmera l'objectif à l'aide de rondelles en carton de diamètres intérieurs 20, 25, 30, 35 mm.

1.2 Oculaire

Deux oculaires peuvent être adaptés sur la lunette :

- un oculaire convergent² (lunette de Kepler) constitué d'une lentille biconvexe de focale $f'_{oc} = + 25,4$ mm et de diamètre $\Phi_{oc} = 12,5$ mm.
- un oculaire divergent (lunette de Galilée) constitué d'une lentille plan-concave de focale $f'_{oc} = - 27,8$ mm et de diamètre $\Phi_{oc} = 28$ mm.

¹ Tous les manchons et tubes PVC utilisés ici ont été achetés au BHV ou dans un Bricorama.

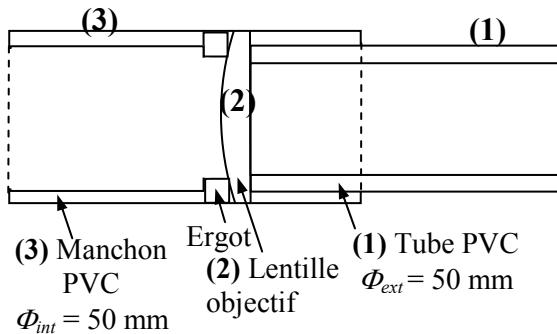
² Les verres convergents proposés ici sont disponibles sur le site www.newport.com, au prix de 50 euros pour l'objectif et de 30 euros pour l'oculaire. Pour commander ces verres depuis la France, il faut passer par la filiale française Micro contrôle Spectra Physics SA, 1 rue Jules Guesde bât B, Z.I voie de l'Epine, BP 189 91006 Evry Cedex (fax 0160916869).

Dans les deux cas, la valeur absolue du grossissement $|G| = \frac{f'_{ob}}{|f'_{oc}|}$ est voisine de 40, ce qui permet de comparer les caractéristiques de l'image, et notamment le champ angulaire objet, à grossissement égal.

2. Assemblage de la lunette

La lunette est représentée en kit, figure 1. Le tube principal (1) est un tube PVC de diamètre extérieur $\Phi_{ext} = 50$ mm et de longueur $L_1 = 1$ m. Il doit être raccourci à une longueur $L'_1 = 93$ cm en vue de l'assemblage.

2.1 Montage de l'objectif



a) La lentille objectif est bloquée entre l'extrémité du tube principal (à droite) et les ergots du manchon (à gauche).



b) Lentille objectif insérée dans le manchon
On distingue les ergots de blocage à l'intérieur de ce dernier

Figure 2 : Montage de l'objectif.

L'objectif (2) est emmanché de force dans un manchon (3) de diamètre intérieur 50 mm, puis bloqué contre

l'extrémité gauche du tube principal (1) (figure 2). Le diamètre de l'objectif (51.8 mm) étant légèrement supérieur au diamètre intérieur du manchon (50 mm), il est nécessaire d'élargir légèrement ce dernier par usinage.

2.2 Montage de l'oculaire

Le problème est de passer du diamètre extérieur du tube principal (1) – égal à 50 mm – à celui du verre de l'oculaire. À l'aide d'un manchon (4) de diamètre intérieur $\Phi_{int} = 50$ mm et de deux bagues réductrices successives 50/40 (5) puis 40/32 (6), on passe dans un premier temps à un diamètre intérieur $\Phi_{int} = 32$ mm. Un tube secondaire (7 a ou 7b), de diamètre extérieur $\Phi_{ext} = 32$ mm et diamètre intérieur $\Phi_{int} = 25$ mm, vient alors coulisser dans la bague (6). C'est lui qui portera l'oculaire et qui permettra d'effectuer la mise au point (figure 3.a)³.

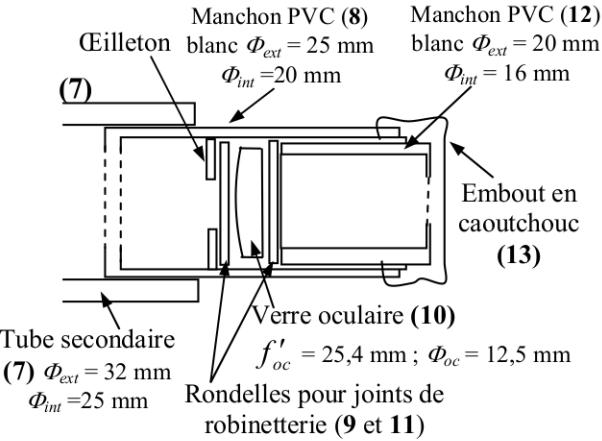
2.2.1 Oculaire convergent

Pour l'oculaire convergent, il faut encore passer du diamètre intérieur $\Phi_{int} = 25$ mm du tube secondaire (7a) au diamètre $\Phi_{oc} = 12,5$ mm du verre oculaire lui-même. Ceci est réalisé grâce à deux nouveaux manchons successifs. Le premier manchon (8) (diamètre extérieur $\Phi_{ext} = 25$ mm, diamètre intérieur $\Phi_{int} = 20$ mm, longueur $L_8 = 42$ mm) possède un œilletton interne de plus petit diamètre en son milieu. En s'appuyant sur cet œilletton, on dispose dans l'ordre une première rondelle (9), le verre convergent (10), puis une seconde rondelle (11). Le second manchon (12), de diamètre extérieur 20 mm, vient alors s'emboîter dans le premier pour plaquer l'ensemble {rondelles + verre oculaire} contre l'œilletton (figure 3.b et c). Le second manchon possède lui-même un œilletton circulaire que l'on placera du côté opposé à l'œilletton précédent. Pour le confort d'observation, on pourra rajouter un embout en caoutchouc (13) à l'extrémité droite du bloc oculaire (figure 3.c et d). Le bloc oculaire ainsi monté s'emboîte alors parfaitement dans le tube secondaire (7a) de diamètre

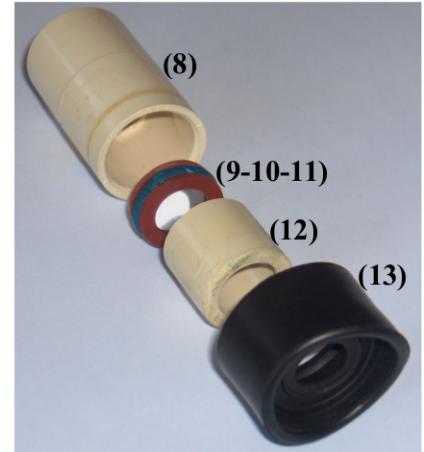
³ On prévoira deux tubes secondaires (7) de diamètre extérieur $\Phi_{ext} = 32$ mm : un premier de longueur $L_2 = 25$ cm pour l'oculaire convergent (7a), et un second de longueur $L'_2 = 15$ cm pour l'oculaire divergent (7b).



a) Réduction
50/40/32 mm



b) Schéma de l'assemblage



c) Éléments avant assemblage



d) Oculaire convergent assemblé



e) Oculaire convergent coulissant à l'intérieur du tube secondaire (7a)



f) Oculaire divergent collé directement contre le tube secondaire (7b) avec de la patafix

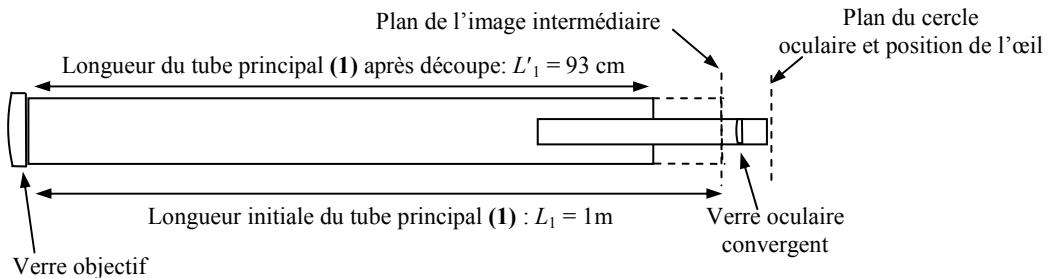
Figure 3 : Assemblage de l'oculaire.

extérieur $\Phi_{ext} = 32$ mm, de diamètre intérieur $\Phi_{int} = 25$ mm et de longueur $L_2 = 25$ cm (figure 3.e).

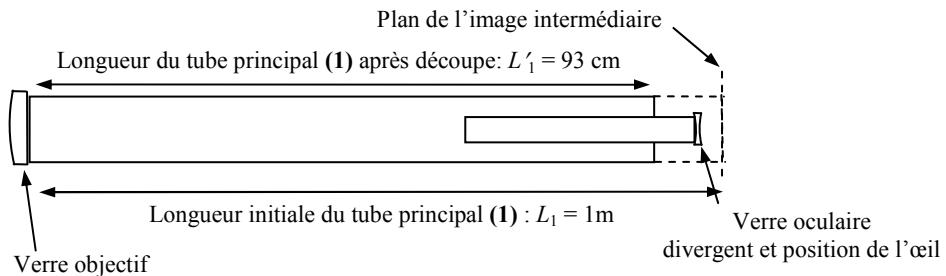
La pupille de l'œil doit se trouver au niveau du cercle oculaire, image de la monture de l'objectif (de centre O_1) par le verre oculaire (de centre O_2)⁴. L'image intermédiaire est située dans le plan focal image de l'objectif (soit ici à $D = f'_{ob} = 1m$). Elle doit également se trouver dans le plan focal objet du verre oculaire, en avant de ce dernier (figure 4.a).

Le cercle oculaire se trouve à droite du verre oculaire. C'est là qu'il faudra placer l'œil lors de l'observation. La demi-épaisseur du verre oculaire additionnée à celle de la deuxième rondelle font 3 mm. Si on découpe le second manchon (12) du bloc oculaire à une longueur de 18 mm, l'extrémité droite de celui-ci se trouve à 21 mm environ de O_2 . En comptant 1 à 2 mm pour l'épaisseur de l'embout en caoutchouc, il reste environ 3 mm de battement à l'œil pour se positionner au cercle oculaire sans toucher l'extrémité du bloc oculaire.

⁴ Si l'œil n'est pas placé au niveau du cercle oculaire, le champ d'observation est considérablement réduit.



a) Oculaire convergent : positionnement de l'extrémité droite du bloc oculaire et de l'œil au niveau du cercle oculaire



b) Oculaire divergent : le cercle oculaire est virtuel et l'œil de l'observateur se positionne directement contre le verre oculaire divergent.

Figure 4 : Positionnement de l'œil de l'observateur au cercle oculaire.

Le second manchon (12), de longueur $L_{12} = 34$ mm, doit donc être découpé à une longueur $L'_{12} = 18$ mm avant l'assemblage de la figure 3 (Il suffit en fait de le découper juste après l'œilleton central).

2.2.2 Oculaire divergent

Dans le cas d'une lunette de Galilée, le foyer objet de l'oculaire divergent est virtuel et situé après O_2 . L'oculaire doit donc se trouver en avant du plan de l'image intermédiaire (figure 4.b). Comme le cercle oculaire est virtuel, l'observateur aura intérêt à coller directement son œil contre l'oculaire. L'assemblage de l'oculaire est alors très simple. Avec de la patafix, on colle l'oculaire divergent (14) de diamètre 28 mm contre l'extrémité du tube secondaire (7b) de diamètre extérieur $\Phi_{ext} = 32$ mm et de longueur $L'_{2} = 15$ cm (figure 3.f).

2.3 Fixation du tube sur un pied d'appareil photographique

Le système de fixation est constitué d'un collier en PVC (16) et d'un manchon en caoutchouc (15) de diamètre intérieur $\Phi_{int} = 50$ mm (figure 5). Le collier est fixé sur

un pied d'appareil photographique en utilisant la vis de fixation du pied. La lunette montée est représentée figure 6. On remarquera la présence d'un diaphragme annulaire à l'extrémité du manchon objectif⁵.



Figure 5 : Système de fixation du tube principal (1) sur le pied d'appareil photographique.

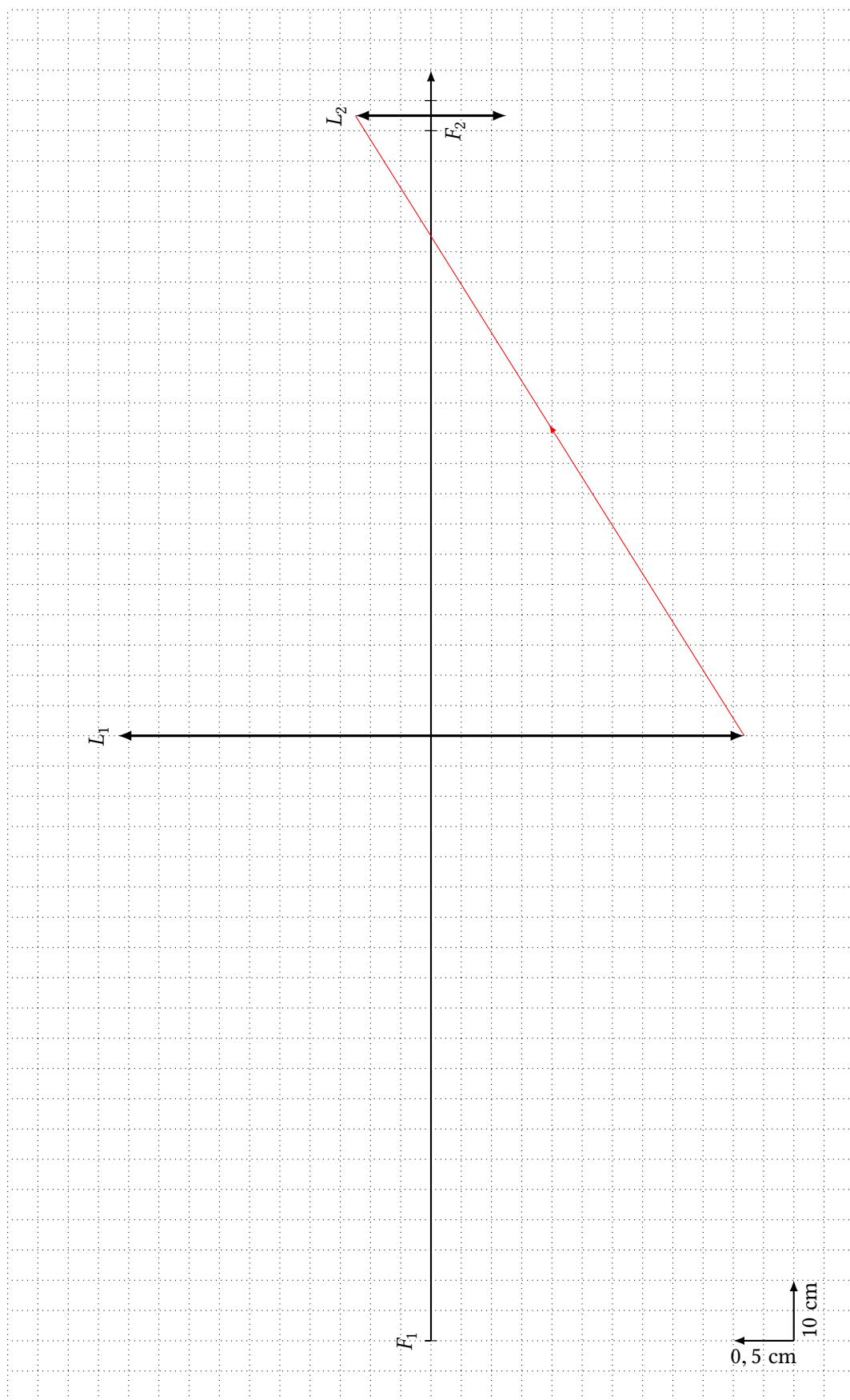


Figure 6 : Lunette montée.

⁵ Afin d'améliorer la stabilité de la lunette – celle-ci peut présenter de légères oscillations en cas de vent – on pourra remplacer le collier par une plaque métallique percée de trous de fixation. Il conviendra alors de percer des trous dans le tube principal (1) pour fixer la plaque au tube.

À rendre avec la copie

N° de candidat :



À rendre avec la copie - 2^e essai

N° de candidat :

