

La lunette astronomique

À l'œil nu, Jupiter n'est qu'un point brillant. Avec deux simples lentilles bien placées, elle devient un disque aussi large que la pleine Lune, entouré de ses satellites. Comment est-ce possible ?

Ce que tu vas savoir faire

- Construire l'image d'un objet par une lentille mince convergente et utiliser la vergence $V = 1/f'$
- Construire l'image intermédiaire d'un objet situé à l'infini, dans le plan focal image de l'objectif
- Représenter le schéma d'une lunette afocale (objectif, oculaire) et le trajet d'un faisceau issu d'un point à l'infini
- Établir l'expression du grossissement $G = f'_1/f'_2$ et l'exploiter
- Situer le cercle oculaire et calculer son diamètre
- Exploiter les données d'une lunette commerciale et réaliser une maquette sur banc d'optique

À revoir avant de commencer

- Lentille mince convergente : centre optique, foyers, distance focale (1re)
- Construction de l'image d'un objet, relation de conjugaison et grandissement (1re)
- Modèle de l'œil réduit (1re)
- Trigonométrie : tangente dans un triangle rectangle ; angles en radians

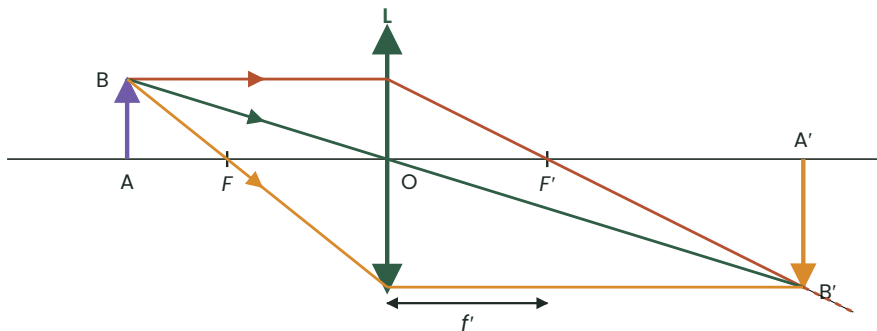
1 Le cours

1. Rappels : la lentille mince convergente

Une loupe, l'objectif d'un appareil photo, le cristallin de ton œil : ce sont des **lentilles convergentes**. Une lunette astronomique n'est rien d'autre que **deux** lentilles convergentes bien placées. Commençons par revoir ce que fait une seule lentille.

Définitions – Centre optique, foyers, distance focale, vergence

- Le **centre optique** O est le centre de la lentille ; l'**axe optique** est la droite perpendiculaire à la lentille passant par O .
- Le **foyer image** F' est le point de l'axe où convergent les rayons arrivant **parallèlement à l'axe**. Le **foyer objet** F est son symétrique par rapport à O : un rayon passant par F ressort parallèle à l'axe.
- La **distance focale** est $f' = \overline{OF'}$ (positive pour une lentille convergente).
- La **vergence** est $V = \frac{1}{f'}$ avec V en **dioptries** (δ , $1 \delta = 1 \text{ m}^{-1}$) et f' en **mètres**. Plus la vergence est grande, plus la lentille est « forte » (courte focale).



Construction de l'image $A'B'$ d'un objet AB : il suffit de deux des trois rayons particuliers issus de B . Le point A' est sur l'axe, à la verticale de B' .

Méthode – Les trois rayons particuliers

1. Un rayon passant par le **centre optique** O n'est pas dévié.
2. Un rayon arrivant **parallèle à l'axe** ressort en passant par le **foyer image** F' .
3. Un rayon passant par le **foyer objet** F ressort parallèle à l'axe.

L'image B' de B est à l'intersection des rayons émergents.

Relations de conjugaison et de grandissement (1re)

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \quad \gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

Distances algébriques en m (orientées dans le sens de la lumière), γ sans unité. $\gamma < 0$: image renversée.

Exemple résolu – Image donnée par une lentille de vergence $+5,0 \delta$

Un objet AB de hauteur 2,0 cm est placé à 30 cm devant une lentille de vergence $V = +5,0 \delta$. Où se forme l'image et quelle est sa taille ?

Solution

Distance focale : $f' = \frac{1}{V} = \frac{1}{5,0} = 0,20$ m. L'objet est avant la lentille : $\overline{OA} = -0,30$ m.

$\frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{0,20} + \frac{1}{-0,30} = 1,67 \text{ m}^{-1}$, donc $\overline{OA'} = 0,60$ m : image **réelle**, à 60 cm après la lentille.

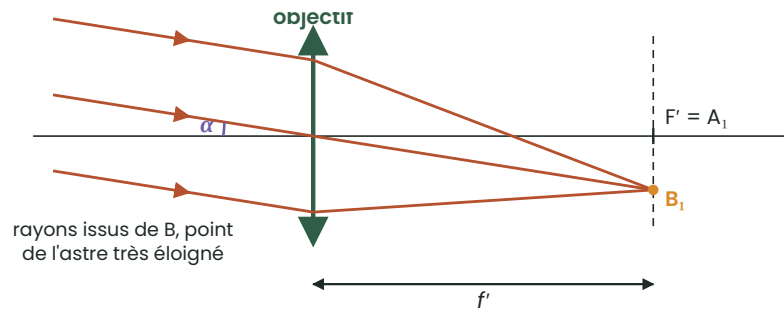
$\gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}} = \frac{0,60}{-0,30} = -2,0$, donc $\overline{A'B'} = \gamma \overline{AB} = -4,0$ cm : image **renversée**, deux fois plus grande.

2. L'image d'un objet situé « à l'infini »

Une étoile, la Lune, une planète sont si éloignées que les rayons issus d'un même point de l'astre arrivent sur la lentille **parallèles entre eux** : on dit que l'objet est **à l'infini**. Pour un astre étendu, on ne parle plus de sa taille mais de son **diamètre apparent**, l'angle sous lequel on le voit.

Définition – Diamètre apparent

Un astre de diamètre d situé à la distance D_T est vu sous l'angle α tel que $\tan \alpha = \frac{d}{D_T}$, soit, l'angle étant petit : $\alpha \approx \frac{d}{D_T}$ (α en rad ; d et D_T dans la même unité). L'œil distingue deux points si l'angle qui les sépare dépasse environ 3×10^{-4} rad (pouvoir séparateur de l'œil).



Un faisceau de rayons parallèles, incliné de α sur l'axe, converge en un point B_1 du plan focal image. Le rayon passant par O n'est pas dévié : il indique où se trouve B_1 .

Propriété – Image d'un objet à l'infini

L'image A_1B_1 d'un objet à l'infini se forme dans le **plan focal image** de la lentille ($A_1 = F'$). Dans le triangle OA_1B_1 : $\tan \alpha = \frac{A_1B_1}{f'}$, soit pour un petit angle :

$$A_1B_1 \approx f' \alpha \quad A_1B_1 \text{ et } f' \text{ en m, } \alpha \text{ en rad.}$$

Plus la focale est grande, plus l'image intermédiaire est grande : c'est pourquoi l'objectif d'une lunette a une **longue focale**.

3. Le modèle de la lunette afocale

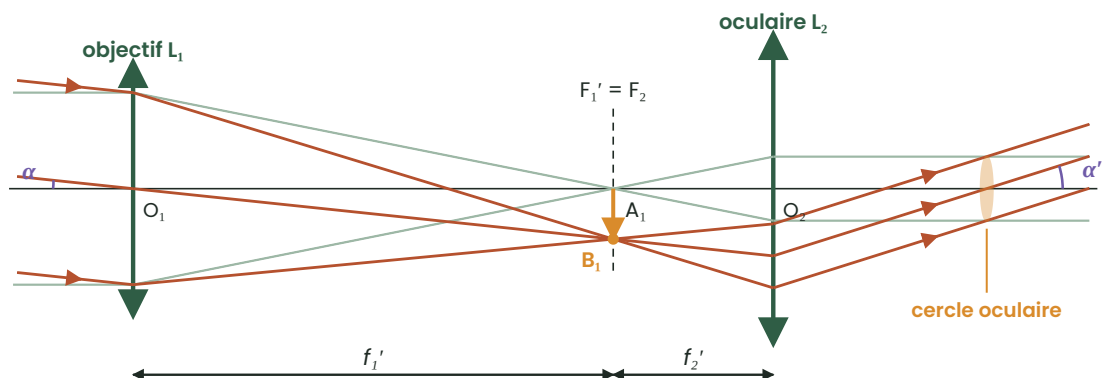
L'image A_1B_1 donnée par l'objectif est petite (quelques millimètres pour la Lune). On l'observe alors avec une **loupe**, l'oculaire, qui la fait voir sous un angle beaucoup plus grand.

Définition – Lunette astronomique afocale

Une lunette astronomique est modélisée par deux lentilles minces convergentes de même axe optique :

- l'**objectif** L_1 (côté astre), de **grande** distance focale f'_1 et de grand diamètre D ;
- l'**oculaire** L_2 (côté œil), de **petite** distance focale f'_2 .

La lunette est dite **afocale** quand le foyer image de l'objectif est confondu avec le foyer objet de l'oculaire : $F'_1 = F_2$. La distance entre les lentilles est alors $O_1O_2 = f'_1 + f'_2$. Un objet à l'infini donne une image finale **à l'infini** : l'œil normal l'observe **sans fatigue** (sans accommoder).



Lunette afocale. En rouge : faisceau issu du point B de l'astre (à l'infini), incliné de α . Il converge en B_1 (image intermédiaire, renversée) puis ressort parallèle, incliné de α' . En vert clair : faisceau issu du centre A de l'astre, parallèle à l'axe. Tous les faisceaux émergents traversent le cercle oculaire.

Méthode – Construire la marche d'un faisceau dans la lunette afocale

1. Tracer le rayon du faisceau incident qui passe par O_1 : il n'est pas dévié et coupe le plan focal commun en B_1 .
2. Tous les rayons du faisceau incident (parallèles entre eux) convergent en B_1 après l'objectif.
3. B_1 est dans le plan focal **objet** de l'oculaire : les rayons qui en sont issus ressortent **parallèles** entre eux, et parallèles au rayon B_1O_2 (non dévié, en pointillés si besoin).
4. L'angle entre les rayons émergents et l'axe est α' . L'image finale est à l'infini et **renversée** par rapport à l'astre.

4. Le grossissement

Une lunette ne donne pas une image « plus grande » (elle est à l'infini !) : elle fait voir l'astre sous un **angle plus grand**.

Définition – Grossissement

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

α : angle sous lequel on voit l'astre à l'œil nu ; α' : angle sous lequel on le voit à travers l'instrument (tous deux en rad, ou tous deux en degrés). G est **sans unité**.

Expression du grossissement d'une lunette afocale À SAVOIR ÉTABLIR

Les angles sont petits, on assimile chaque angle à sa tangente (en radians).

- Dans le triangle $O_1A_1B_1$ (rectangle en A_1 , avec $O_1A_1 = f'_1$) : $\alpha \approx \tan \alpha = \frac{A_1B_1}{f'_1}$.
- Les rayons émergents sont parallèles au rayon B_1O_2 , non dévié. Dans le triangle $O_2A_1B_1$ (rectangle en A_1 , avec $A_1O_2 = f'_2$ puisque $A_1 = F_2$) : $\alpha' \approx \tan \alpha' = \frac{A_1B_1}{f'_2}$.

Donc $G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{A_1B_1/f'_2}{A_1B_1/f'_1}$, soit :

$$\boxed{G = \frac{f'_1}{f'_2}} \quad f'_1 \text{ et } f'_2 \text{ dans la même unité, } G \text{ sans unité.}$$

Pour un fort grossissement : objectif de **grande** focale, oculaire de **petite** focale. Changer d'oculaire permet de changer de grossissement.

Exemple résolu – La Lune dans une lunette « 90/900 »

Une lunette a un objectif de focale $f'_1 = 900 \text{ mm}$; on utilise un oculaire de focale $f'_2 = 25 \text{ mm}$.
Données : diamètre de la Lune $d = 3\,474 \text{ km}$, distance Terre-Lune $D_T = 3,844 \times 10^5 \text{ km}$.

1. Calculer le diamètre apparent α de la Lune.
2. Calculer la taille de l'image intermédiaire A_1B_1 .
3. Calculer le grossissement et l'angle α' .

Solution

1. $\alpha \approx \frac{d}{D_T} = \frac{3\,474}{3,844 \times 10^5} = 9,04 \times 10^{-3} \text{ rad}$ (environ un demi-degré).

2. $A_1B_1 \approx f'_1 \alpha = 0,900 \times 9,04 \times 10^{-3} = 8,13 \times 10^{-3} \text{ m}$, soit environ 8 mm.

3. $G = \frac{f'_1}{f'_2} = \frac{900}{25} = 36$ et $\alpha' = G \alpha = 36 \times 9,04 \times 10^{-3} = 0,33 \text{ rad}$ (environ 19° : la Lune paraît 36 fois plus « large »).

5. Le cercle oculaire

Définition – Cercle oculaire

Le **cercle oculaire** est l'**image de l'objectif** (de sa monture) donnée par l'oculaire. Toute la lumière qui entre dans la lunette par l'objectif passe par ce petit disque (voir la figure de la lunette) : c'est là qu'il faut placer la pupille de l'œil pour recevoir le maximum de lumière et voir tout le champ.

Propriété – Position et diamètre du cercle oculaire (lunette afocale)

L'objectif est à la distance $f'_1 + f'_2$ avant l'oculaire. Avec la relation de conjugaison appliquée à L_2 ($\overline{O_2O_1} = -(f'_1 + f'_2)$), le cercle oculaire est situé juste après le foyer image de l'oculaire, à la distance :

$$O_2C = \frac{f'_2 (f'_1 + f'_2)}{f'_1} \quad \text{et son diamètre vaut} \quad d = D \frac{f'_2}{f'_1} = \frac{D}{G}$$

(O_2C, f'_1, f'_2, d, D en m ou dans la même unité). Pour la lunette 90/900 avec l'oculaire de 25 mm :

$d = \frac{90}{36} = 2,5 \text{ mm}$, à $O_2C = \frac{25 \times 925}{900} = 26 \text{ mm}$ derrière l'oculaire. Ce diamètre est inférieur à celui de la pupille (2 à 7 mm) : toute la lumière collectée entre dans l'œil.

Lire les caractéristiques d'une lunette commerciale

- « **90/900** » signifie : diamètre de l'objectif $D = 90 \text{ mm}$, focale $f'_1 = 900 \text{ mm}$.
- Les oculaires fournis sont repérés par leur focale : « 25 mm », « 10 mm »... donnant ici $G = 36$ et $G = 90$.
- Un grand diamètre D collecte plus de lumière (objets faibles) et limite la diffraction (fiche 14) : les détails fins sont mieux séparés.
- Règle pratique : grossissement maximal utile $\approx 2 \times D$ (en mm), soit 180 ici. Au-delà, l'image est plus grande mais floue.

Pourquoi les géants sont-ils des télescopes ?

Plus f'_1 est grande, plus le tube est long : la lunette de l'observatoire Yerkes (États-Unis), la plus grande lunette ayant servi à la recherche, a un objectif de 1,02 m de diamètre et une focale d'environ 19 m ! Au-delà, les lentilles trop lourdes se déforment : les grands instruments modernes sont des **télescopes**, à miroirs.

Au labo – Réaliser une maquette de lunette sur banc d'optique



1. Objet « à l'infini » : paysage lointain par la fenêtre, ou objet lumineux placé au foyer objet d'une lentille (collimateur).
2. Objectif L_1 de vergence $+2\delta$ ($f'_1 = 50 \text{ cm}$) : on **visualise l'image intermédiaire** sur un écran (papier calque) à 50 cm, dans son plan focal image. Elle est renversée.
3. On retire l'écran et on place l'oculaire L_2 de vergence $+10\delta$ ($f'_2 = 10 \text{ cm}$) à 10 cm après : $O_1O_2 = 60 \text{ cm}$. On observe une image nette à l'œil, sans fatigue.
4. Grossissement attendu : $G = 50/10 = 5$. Pour le mesurer, on vise une règle graduée lointaine avec un œil à travers la maquette et l'autre œil directement : on compte combien de graduations « nues » occupe une graduation vue dans la lunette.
5. Un papier blanc derrière l'oculaire montre un petit disque lumineux net à $O_2C = \frac{10 \times 60}{50} = 12 \text{ cm}$: le cercle oculaire.

2 Les pièges à éviter

Attention – Les erreurs classiques

- **Vergence et unités.** $V = 1/f'$ exige f' en **mètres** : une focale de 25 cm donne $V = 1/0,25 = 4\delta$, et non $1/25$.
- **Inverser objectif et oculaire.** L'objectif a la **plus grande** focale (la plus petite vergence). Retourner une lunette donne $G = f'_2/f'_1 < 1$: on voit plus petit !
- **Mauvaise distance entre les lentilles.** Lunette afocale : $O_1O_2 = f'_1 + f'_2$ (foyers F'_1 et F'_2 confondus), pas $f'_1 - f'_2$ ni f'_1 .

- **Confondre grossissement et grandissement.** Le grossissement $G = \alpha' / \alpha$ compare des **angles** ; le grandissement $\gamma = \overline{A'B'} / \overline{AB}$ compare des **tailles** d'objet et d'image.
- **Angles en degrés dans $A_1B_1 = f'\alpha$.** L'approximation $\tan \alpha \approx \alpha$ n'est valable qu'avec α en radians.
- **Oublier que l'image est renversée.** Dans une lunette astronomique, le haut de l'astre apparaît en bas (sans gêne en astronomie ; les longues-vues terrestres ajoutent un système redresseur).

3 Ordres de grandeur et unités

Objet observé	Diamètre apparent
Soleil	$\approx 32' \approx 9,3 \times 10^{-3} \text{ rad}$
Lune	$\approx 31' \approx 9,0 \times 10^{-3} \text{ rad}$
Jupiter (au plus près)	$\approx 47'' \approx 2,3 \times 10^{-4} \text{ rad}$
Saturne (globe)	$\approx 18'' \approx 9 \times 10^{-5} \text{ rad}$
Étoiles	points (bien moins de 10^{-6} rad)
Pouvoir séparateur de l'œil	$\approx 1' \approx 3 \times 10^{-4} \text{ rad}$

Élément	Valeur typique
Objectif (lunette d'initiation)	$D = 70 \text{ à } 102 \text{ mm} ; f'_1 = 700 \text{ à } 1\,000 \text{ mm}$
Oculaires	$f'_2 = 4 \text{ à } 40 \text{ mm}$
Grossissements usuels	de 20 à 200 environ
Pupille de l'œil	2 mm (jour) à 7 mm (nuit)
Vergence	$1 \delta = 1 \text{ m}^{-1} ; \text{loupe} : +10 \text{ à } +20 \delta$
Angles	$1^\circ = 60' = 3\,600'' ; 1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ rad}$

Conséquence : Jupiter ($2,3 \times 10^{-4} \text{ rad} < 3 \times 10^{-4} \text{ rad}$) n'est qu'un point à l'œil nu ; grossie 40 fois, elle est vue sous $9 \times 10^{-3} \text{ rad}$, comme la pleine Lune à l'œil nu.

4 Exercices

Exercice 1 – Image par une lentille convergente ★

Une lentille mince convergente a une vergence $V = +4,0 \delta$. Un objet AB de hauteur 1,5 cm, perpendiculaire à l'axe, est placé à 75 cm devant la lentille.

1. Calculer la distance focale f' .
2. Déterminer la position de l'image $A'B'$ par le calcul, puis sa taille. Décrire l'image (réelle ou virtuelle, droite ou renversée).
3. Vérifier par une construction (échelle 1/10 pour les distances le long de l'axe, grandeur réelle pour les hauteurs) avec les rayons particuliers.
4. Où se forme l'image d'un objet très éloigné ?

Exercice 2 – Une lunette « 70/700 » ★

Une lunette d'initiation porte l'inscription « 70/700 ». Elle est livrée avec deux oculaires de focales 20 mm et 6 mm.

1. Que signifient les nombres 70 et 700 ? Quelle lentille est l'objectif ?
2. Calculer le grossissement obtenu avec chaque oculaire.
3. Quelle doit être la distance entre l'objectif et chaque oculaire pour que la lunette soit afocale ?
4. Ces grossissements sont-ils « utiles » selon la règle pratique du cours ?

Exercice 3 – Les cratères de la Lune ★★

Une lunette afocale est constituée d'un objectif de focale $f'_1 = 1,20$ m et d'un oculaire de focale $f'_2 = 30$ mm. Diamètre de la Lune : 3 474 km ; distance Terre-Lune : $3,844 \times 10^5$ km ; pouvoir séparateur de l'œil : $\varepsilon = 3,0 \times 10^{-4}$ rad.

1. Calculer le diamètre apparent α de la Lune et la taille de son image intermédiaire.
2. Calculer le grossissement G et l'angle α' sous lequel on voit la Lune dans la lunette.
3. Deux détails sont distingués à travers la lunette si l'angle α' qui les sépare dépasse ε . En déduire le plus petit diamètre apparent $\alpha_{\min}$ (à l'œil nu) d'un détail que la lunette permet de distinguer, puis la taille du plus petit cratère lunaire visible (on néglige la diffraction et la turbulence).

Exercice 4 – Où placer son œil ? ★★

On utilise une lunette « 90/900 » avec un oculaire de focale 20 mm, puis avec un oculaire de focale 40 mm.

1. Qu'appelle-t-on cercle oculaire ? Pourquoi faut-il y placer l'œil ?
2. Pour chaque oculaire, calculer le grossissement, le diamètre du cercle oculaire et sa distance à l'oculaire.
3. La nuit, la pupille de l'œil a un diamètre d'environ 6 mm. Toute la lumière captée par l'objectif entre-t-elle dans l'œil ?

Exercice 5 – Observer Jupiter et ses lunes (type bac) ★★★

Document 1 – La lunette. Lunette « 102/1000 » : objectif de diamètre $D = 102$ mm et de focale $f'_1 = 1\,000$ mm. Oculaires fournis : 25 mm, 10 mm et 4 mm. Le fabricant indique : « grossissement maximal utile : environ 2 fois le diamètre de l'objectif exprimé en millimètres ».

Document 2 – Jupiter. Diamètre équatorial : $1,43 \times 10^5$ km. Distance Terre-Jupiter lors de l'observation : $6,3 \times 10^8$ km. Son satellite Io s'en éloigne au maximum de $4,22 \times 10^5$ km (vu de la Terre).

Document 3 – L'œil. Pouvoir séparateur : $\varepsilon = 3,0 \times 10^{-4}$ rad. Diamètre apparent de la pleine Lune à l'œil nu : $9,0 \times 10^{-3}$ rad.

1. Calculer le diamètre apparent α de Jupiter. Peut-on distinguer son disque à l'œil nu ?
2. Faire le schéma de la lunette afocale (échelle libre) et tracer la marche d'un faisceau issu d'un point de Jupiter, incliné de α sur l'axe. Placer F'_1 , F_2 , l'image intermédiaire A_1B_1 et l'angle α' .
3. Établir l'expression du grossissement en fonction de f'_1 et f'_2 puis le calculer pour chaque oculaire. Quel oculaire est déconseillé ? Pourquoi ?
4. Avec l'oculaire de 10 mm, sous quel angle voit-on Jupiter ? Comparer à la pleine Lune à l'œil nu.

5. Calculer la taille de l'image intermédiaire de Jupiter.
6. Avec l'oculaire de 25 mm, voit-on lo séparé de Jupiter lorsqu'il en est le plus éloigné ?
7. Avec ce même oculaire, calculer le diamètre du cercle oculaire et sa position.

5 Teste-toi (QCM)

- 1 Une lentille convergente a une distance focale de 50 cm. Sa vergence vaut :
A. 0,5 δ **B.** 2 δ **C.** 50 δ **D.** 0,02 δ
- 2 L'image d'un objet à l'infini donnée par l'objectif se forme :
A. au centre optique de l'objectif **B.** dans le plan focal objet de l'objectif
C. dans le plan focal image de l'objectif **D.** à l'infini
- 3 Une lunette est afocale lorsque :
A. F'_1 et F_2 sont confondus **B.** F_1 et F'_2 sont confondus
C. $O_1O_2 = f'_1 - f'_2$ **D.** l'image intermédiaire est à l'infini
- 4 Objectif de focale 1,0 m, oculaire de focale 20 mm : le grossissement vaut :
A. 0,02 **B.** 20 **C.** 50 **D.** 1 020
- 5 Le cercle oculaire est :
A. la monture de l'oculaire **B.** l'image de l'objectif par l'oculaire
C. l'image de l'astre par l'objectif **D.** la pupille de l'œil
- 6 L'image finale donnée par une lunette astronomique afocale est :
A. à l'infini et droite **B.** réelle et renversée, sur l'oculaire
C. à l'infini et renversée **D.** au foyer de l'oculaire

L'essentiel à retenir

- Lentille convergente : vergence $V = \frac{1}{f'}$ (V en δ, f' en m).
- Rayons particuliers : par O non dévié ; parallèle à l'axe → par F' ; par F → parallèle à l'axe.
- Conjugaison (Ire) : $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$
et $\gamma = \frac{OA'}{OA}$.
- Objet à l'infini : image dans le plan focal image, $A_1B_1 \approx f'\alpha$ (α en rad).
- Objectif : grande focale f'_1 ; oculaire : petite focale f'_2 .
- Lunette afocale : $F'_1 = F_2$, $O_1O_2 = f'_1 + f'_2$; image finale à l'infini, renversée.
- Grossissement $G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{f'_1}{f'_2}$ (sans unité).
- Cercle oculaire : image de l'objectif par l'oculaire, de diamètre $d = \frac{D}{G}$; on y place l'œil.
- Un grand diamètre D : plus de lumière, meilleure résolution. G utile $\lesssim 2 D$ (mm).

6 Corrigés

Exercice 1

1. $f' = \frac{1}{V} = \frac{1}{4,0} = 0,25 \text{ m} = 25 \text{ cm}.$

2. $\overline{OA} = -0,75 \text{ m}; \frac{1}{\overline{OA'}} = \frac{1}{0,25} + \frac{1}{-0,75} = 4,0 - 1,33 = 2,67 \text{ m}^{-1}$, d'où $\overline{OA'} = 0,375 \text{ m} \approx 38 \text{ cm}$. $\gamma = \frac{0,375}{-0,75} = -0,50$, donc $\overline{A'B'} = -0,50 \times 1,5 = -0,75 \text{ cm}$. Image **réelle** (après la lentille), **renversée**, deux fois plus petite que l'objet.

3. À l'échelle 1/10 : A à 7,5 cm avant O , F et F' à 2,5 cm de part et d'autre ; B est 1,5 cm au-dessus de l'axe ; les rayons issus de B se coupent à environ 3,8 cm après O , en B' situé 0,75 cm sous l'axe.

4. Pour un objet très éloigné, $\frac{1}{\overline{OA}} \rightarrow 0$, donc $\overline{OA'} = f'$: l'image se forme dans le plan focal image, à 25 cm de la lentille.

Exercice 2

1. $D = 70 \text{ mm}$ (diamètre de l'objectif) et $f'_1 = 700 \text{ mm}$ (focale de l'objectif) : l'objectif est la lentille de grande focale.

2. $G = \frac{f'_1}{f'_2} : \frac{700}{20} = 35$ et $\frac{700}{6} \approx 1,2 \times 10^2$ (117).

3. $O_1O_2 = f'_1 + f'_2 : 700 + 20 = 720 \text{ mm}$ et $700 + 6 = 706 \text{ mm}$.

4. $G_{\max} \approx 2 \times 70 = 140$: les deux grossissements (35 et 117) sont inférieurs, ils sont utiles.

Exercice 3

1. $\alpha \approx \frac{3474}{3,844 \times 10^5} = 9,04 \times 10^{-3} \text{ rad}$; $A_1B_1 \approx f'_1\alpha = 1,20 \times 9,04 \times 10^{-3} = 1,08 \times 10^{-2} \text{ m} \approx 1,1 \text{ cm}$.

2. $G = \frac{1,20}{0,030} = 40$; $\alpha' = G\alpha = 40 \times 9,04 \times 10^{-3} = 0,36 \text{ rad}$.

3. Il faut $\alpha' = G\alpha \geq \varepsilon$, soit $\alpha \geq \alpha_{\min} = \frac{\varepsilon}{G} = \frac{3,0 \times 10^{-4}}{40} = 7,5 \times 10^{-6} \text{ rad}$. Un cratère de diamètre d est vu sous $\frac{d}{D_T}$: $d_{\min} = \alpha_{\min} \times D_T = 7,5 \times 10^{-6} \times 3,844 \times 10^8 \text{ m} = 2,9 \times 10^3 \text{ m}$. On distingue des cratères d'environ 3 km (contre environ 115 km à l'œil nu).

Exercice 4

1. C'est l'image de l'objectif donnée par l'oculaire. Toute la lumière entrée par l'objectif le traverse : l'œil placé là reçoit le maximum de lumière et voit tout le champ de la lunette.

2. Oculaire de 20 mm : $G = \frac{900}{20} = 45$; $d = \frac{90}{45} = 2,0 \text{ mm}$; $O_2C = \frac{20 \times (900 + 20)}{900} = 20,4 \text{ mm}$. Oculaire de 40 mm : $G = \frac{900}{40} = 22,5$; $d = \frac{90}{22,5} = 4,0 \text{ mm}$; $O_2C = \frac{40 \times 940}{900} = 41,8 \text{ mm}$.

3. Les deux cercles oculaires (2,0 et 4,0 mm) sont plus petits que la pupille (6 mm) : toute la lumière captée entre dans l'œil.

Exercice 5

1. $\alpha \approx \frac{1,43 \times 10^5}{6,3 \times 10^8} = 2,3 \times 10^{-4}$ rad. C'est inférieur à $\varepsilon = 3,0 \times 10^{-4}$ rad : à l'œil nu, Jupiter apparaît comme un **point**.

2. Schéma conforme à la figure du cours : L_1 puis L_2 distantes de $f'_1 + f'_2$, $F'_1 = F_2$; le rayon passant par O_1 donne B_1 dans le plan focal commun ; les rayons émergents sont parallèles à B_1O_2 , inclinés de α' de l'autre côté de l'axe.

3. Démonstration du cours : $\tan \alpha = \frac{A_1B_1}{f'_1}$, $\tan \alpha' = \frac{A_1B_1}{f'_2}$, d'où, pour de petits angles, $G = \frac{f'_1}{f'_2}$. Oculaire 25 mm : $G = 40$; 10 mm : $G = 100$; 4 mm : $G = 250$. Or $G_{\max} \approx 2 \times 102 = 204$: l'oculaire de 4 mm est déconseillé (image plus grande mais floue et sombre).

4. $\alpha' = G\alpha = 100 \times 2,27 \times 10^{-4} = 2,3 \times 10^{-2}$ rad, environ 2,5 fois le diamètre apparent de la pleine Lune à l'œil nu.

5. $A_1B_1 \approx f'_1\alpha = 1,000 \times 2,27 \times 10^{-4} = 2,3 \times 10^{-4}$ m = 0,23 mm.

6. Angle lo-Jupiter : $\frac{4,22 \times 10^5}{6,3 \times 10^8} = 6,7 \times 10^{-4}$ rad ; dans la lunette : $40 \times 6,7 \times 10^{-4} = 2,7 \times 10^{-2}$ rad $\gg \varepsilon$: lo est nettement séparé de Jupiter.

7. $d = \frac{D}{G} = \frac{102}{40} = 2,6$ mm ; $O_2C = \frac{f'_2(f'_1 + f'_2)}{f'_1} = \frac{25 \times 1\,025}{1\,000} = 25,6$ mm derrière l'oculaire.

QCM

1. **B** : $V = 1/0,50 = 2$ δ. · 2. **C** : rayons parallèles → plan focal image. · 3. **A** : $F'_1 = F_2$ (d'où $O_1O_2 = f'_1 + f'_2$). · 4. **C** : $G = 1,0/0,020 = 50$. · 5. **B**. · 6. **C** : l'image intermédiaire est renversée, l'oculaire la renvoie à l'infini.