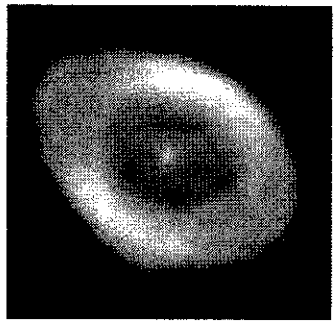
EXERCICE I. VISIBILITÉ D'UNE NÉBULEUSE ANNULAIRE (4 points)

L'observatoire du Harvard College aux États-Unis, s'est doté en 1847 d'une lunette dont l'objectif a un diamètre de 38 cm. Il s'agissait d'un instrument remarquable pour l'époque au point de rester célèbre sous le nom de « Grand réfracteur ». Cet instrument a permis de réaliser la première photographie d'une étoile en 1850 : l'astronome W. C. BOND a réalisé des daguerréotypes de l'étoile Véga dans la constellation de la Lyre.

D'après *Astronomie* aux éditions Atlas.

Située prés de la constellation de la Lyre, la nébuleuse annulaire de la Lyre (nommée M 57) est le prototype des nébuleuses planétaires. Elle s'est formée il y a environ 20 000 ans à partir d'une étoile qui, en explosant, a libéré des gaz ayant une structure que l'on assimilera à un anneau circulaire (photographie ci-dessous).



L'exercice propose de déterminer le diamètre apparent de cette ***nébuleuse que l'on désignera par M 57*** *dans le texte, observée avec la lunette de l'observatoire de Harvard.*
Pour cela, on négligera le phénomène de diffraction qui intervient dans l'utilisation d'une lunette.
On rappelle qu'une lunette est dite afocale lorsque le foyer image de l'objectif et le foyer objet de l'oculaire sont confondus.

- Pour les angles petits et exprimés en radians : $\tan\alpha \approx \alpha$
- On prendra comme valeur de l'année de lumière : 1 a.l. = $1{,}00 \times 10^{13}$ km.

La lunette de l'observatoire de Harvard sera modélisée par un système de deux lentilles minces L_1 et L_2 (voir ***figure PAGE A1 DE L'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE****) :*

- ❖ *L'objectif (L_1) est une lentille convergente de centre optique O_1, de diamètre 38,0 cm et de distance focale $f'_1 = 6{,}80$ m.*
- ❖ *L'oculaire (L_2) est une lentille convergente de centre optique O_2 et de distance focale $f'_2 = 4{,}0$ cm.*

1. *La distance entre les centres optiques des deux lentilles est de 6,84 m.* 90nm

1.1. Montrer que cette lunette est afocale.

1.2. Sur le schéma ***PAGE A1 EN ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE****, réalisé sans souci d'échelle, on a représenté les deux lentilles et la position du foyer image F'_1 de l'objectif L_1.*

Sur ce schéma, placer les foyers F_2 et F'_2 de l'oculaire L_2 dans le cas d'une lunette afocale.

2. *La nébuleuse M 57, supposée à l'infini, est représentée sur le schéma* ***PAGE A1 DE L'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE*** *par $A\infty B\infty$ ($A\infty$ étant sur l'axe optique). Un rayon lumineux issu de $B\infty$ est également représenté.*

2010 Asie

2.1. Construire, sur le schéma ***PAGE A1 EN ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE***, l'image A_1B_1 de l'objet A∞ B∞, donnée par l'objectif.

2.2. *On désigne par α le diamètre apparent de la nébuleuse M 57, α est l'angle sous lequel on voit l'objet à l'œil nu.*
Quelle est, en fonction de f'_1 et A_1B_1, l'expression du diamètre apparent α ?

3. *L'oculaire L_2 permet d'obtenir une image définitive A'B' de la nébuleuse M 57.*

3.1. La lunette étant afocale, où sera située l'image A'B' ? Justifier la réponse.

3.2. Construire, sur le schéma ***PAGE A1 EN ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE***, la marche d'un rayon lumineux issu de B_1 permettant de trouver la direction de B'.

4. *On désigne par α' le diamètre apparent de l'image A'B' vue à travers la lunette, α' est l'angle sous lequel on voit l'image donnée par l'instrument.*

4.1. Exprimer le diamètre apparent α' en fonction de f'_2 et A_1B_1.

4.2. *On appelle grossissement G d'un instrument d'optique le rapport* $G = \dfrac{\alpha'}{\alpha}$.

Déduire des questions précédentes l'expression du grossissement G de la lunette de l'observatoire de Harvard, puis sa valeur numérique.

5. Application.

La nébuleuse M 57, située à la distance L ≈ 2600 a.l. de la Terre a un diamètre D :

$$D = A\infty B\infty = 1{,}3 \times 10^{13} \text{ km.}$$

5.1. *Sachant que l'œil voit comme un point tout objet de diamètre apparent inférieur à $3{,}0 \times 10^{-4}$ rad,* montrer qu'il peut théoriquement distinguer les points A∞ et B∞.

5.2. *En réalité, la nébuleuse M 57 n'est pas observable à l'œil nu, mais, à travers la lunette, elle devient faiblement visible.*
Proposer une explication.
Quel est, à votre avis, l'intérêt d'utiliser pour les observations, des lunettes (et actuellement des télescopes) qui ont un objectif dont le diamètre est de plus en plus grand ?

5.3. Calculer le diamètre apparent de cette nébuleuse vue à travers la lunette de l'observatoire de Harvard.

6. Position de l'œil.

Lors d'une observation, on place l'œil derrière l'oculaire dans une zone appelée « cercle oculaire ».

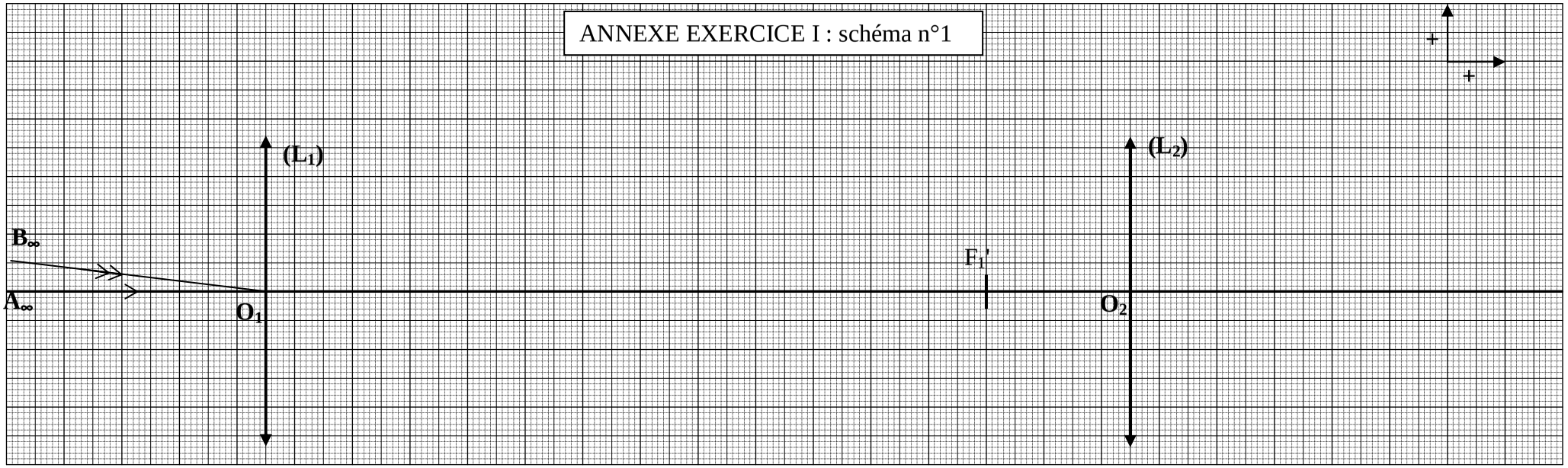
6.1. Définir le cercle oculaire.

6.2. Pourquoi est-il indiqué de placer l'œil à cet endroit ?

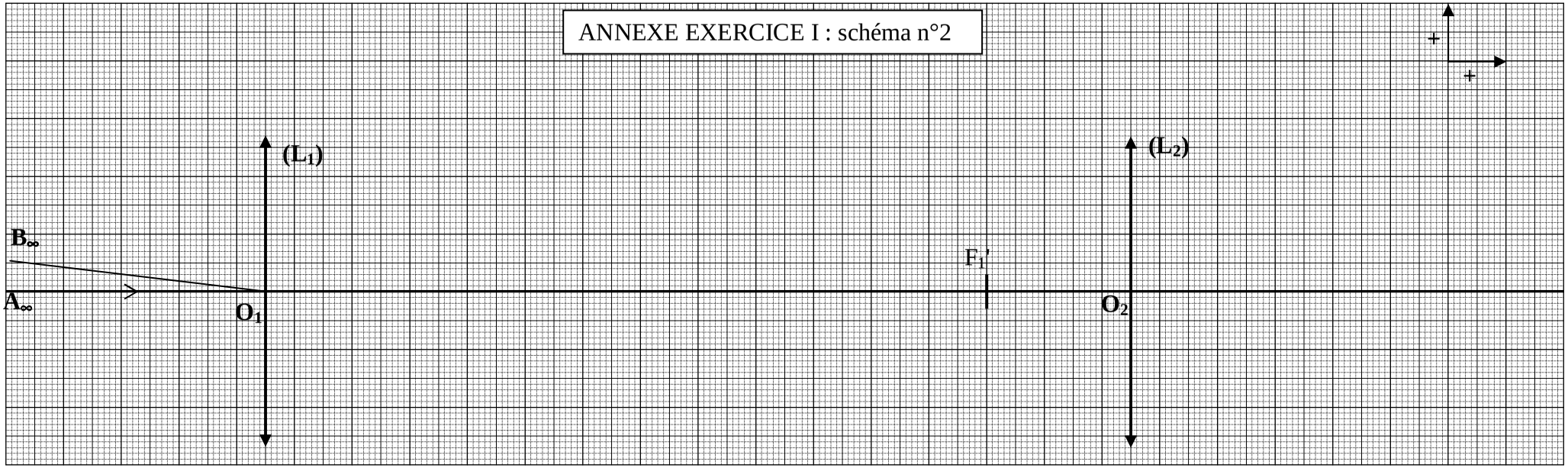
6.3. Construire, sur le schéma ***PAGE A1 EN ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE***, le cercle oculaire.

2010 Asie

ANNEXE EXERCICE I : schéma n°1



ANNEXE EXERCICE I : schéma n°2



2010 Asie

EXERCICE III : CARACTERISTIQUES D'UNE LUNETTE ASTRONOMIQUE (4 points)

Martin est passionné par l'observation du ciel. Il demande à son professeur de Sciences Physiques de lui donner quelques explications à propos des lunettes astronomiques. Celui-ci propose de modéliser une lunette en utilisant deux lentilles convergentes. Il lui rappelle également que toute lentille possède un centre optique O, un foyer image F', un foyer objet F.

1. Étude d'une lentille convergente.

Soit la lentille L, de distance focale f' = 2,0 cm.

1.1. Par quelle relation définit-on la distance focale d'une lentille ?

1.2. Calculer la vergence *C* de cette lentille.

1.3. Placer sur **l'annexe page 12 à rendre avec la copie** le centre optique O, le foyer image F', le foyer objet F.

1.4. Construire, sur **l'annexe page 12 à rendre avec la copie**, l'image A'B' par la lentille L de l'objet AB.

1.5. Vérification de la position et de la taille de l'image A'B' par le calcul.
Données : OA = 4,0 cm ; AB = 1,5 cm.

1.5.1. Utiliser la formule de conjugaison pour déterminer la position de l'image A'B'.

1.5.2. Utiliser la formule du grandissement pour déterminer la taille de l'image A'B'

2. Modélisation de la lunette.

On appelle objectif la lentille située du côté de l'objet à observer, et oculaire celle située du côté de l'œil de l'observateur.

Données : objectif : lentille L_1 de distance focale $f'_1 = 1{,}00$ m et de diamètre 6 cm.
oculaire : lentille L_2 de distance focale $f'_2 = 20{,}0$ cm et de diamètre 6 cm.

2.1. Où se situe l'image par l'objectif d'un objet à l'infini ? Cette image est appelée image intermédiaire.

2.2. Où doit se situer l'image intermédiaire pour être vue à travers l'oculaire sans accommoder ?

2.3. Préciser la position du foyer objet F_2 de l'oculaire par rapport au foyer image F'_1 de l'objectif. Justifier votre réponse. *On dit qu'une telle lunette est afocale.*

2.4. Placer la lentille L_2 sur **l'annexe page 13 à rendre avec la copie** (échelle $1/10^{ème}$).

2.5. Construire, sur **l'annexe page 13 à rendre avec la copie**, l'image A_1B_1, dite image intermédiaire, de AB par L_1 puis l'image A_2B_2 de A_1B_1 par L_2.

2.6. *Le diamètre apparent de l'objet AB situé à l'infini est noté θ et celui de l'image définitive A_2B_2 est noté θ'*

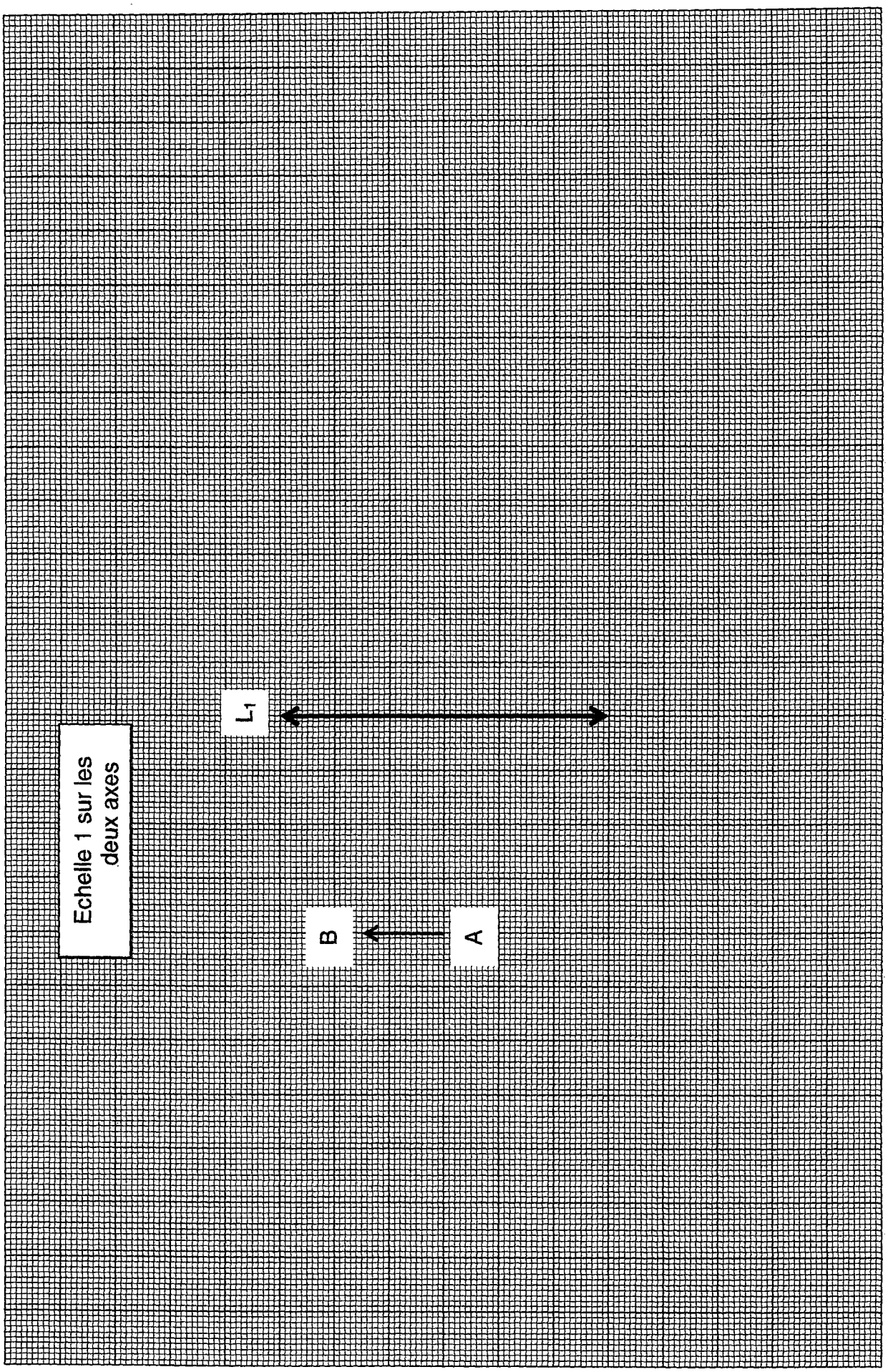
2.6.1. Définir le diamètre apparent d'un objet.

2.6.2. Représenter θ et θ' sur **l'annexe page 13 à rendre avec la copie.**

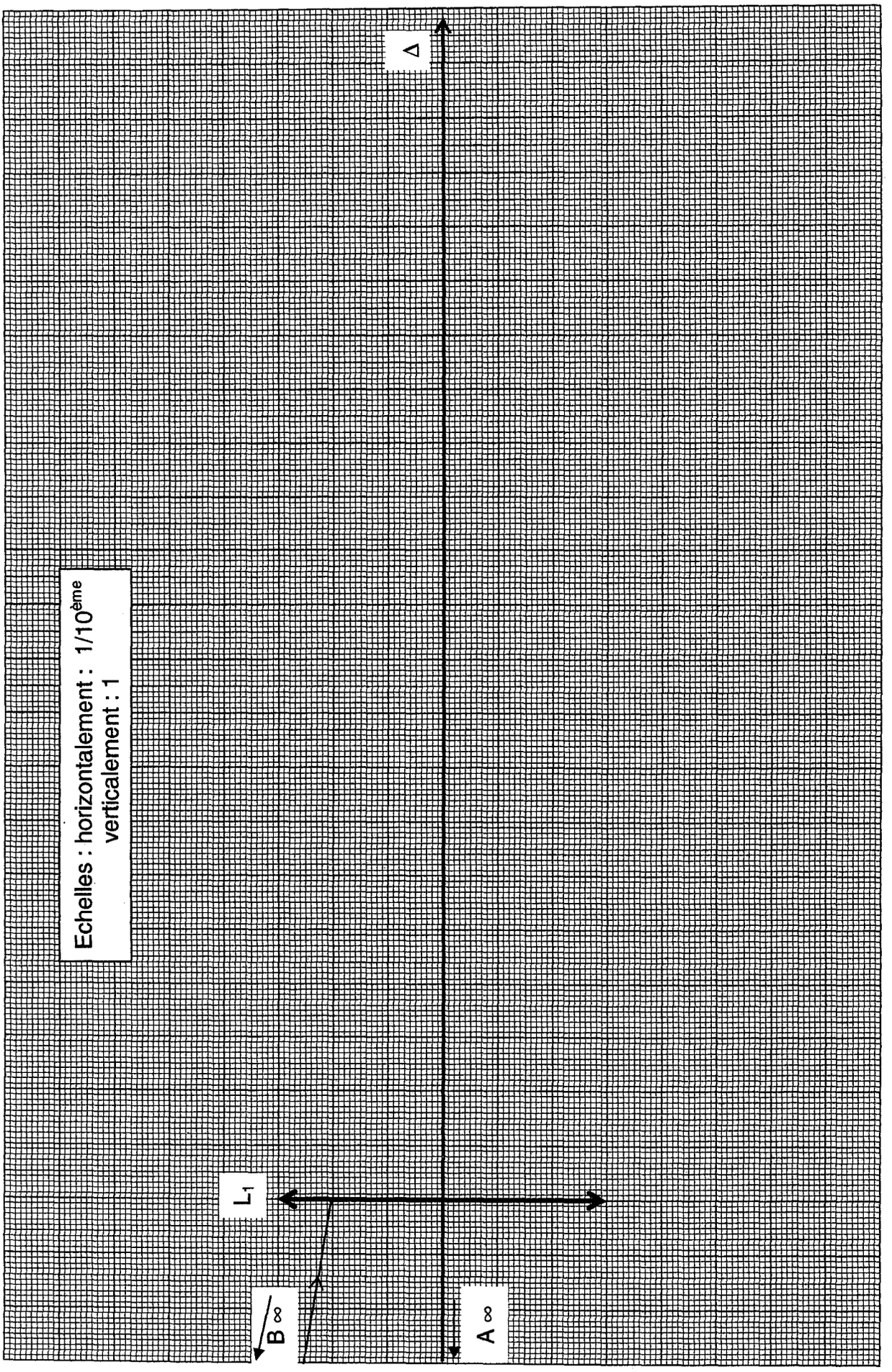
2.6.3. Le grossissement *G* de la lunette est défini par le rapport $\frac{\theta'}{\theta}$. Établir la relation donnant *G* en fonction de f'_1 et f'_2 puis calculer sa valeur ; on rappelle que pour les petits angles $\sin\theta \approx \tan\theta \approx \theta$.

2.7. Définir le cercle oculaire et le construire sur **l'annexe page 13 à rendre avec la copie.**

2009 Antilles Guyane Remplacement



2009 Antilles Guyane Remplacement



2009 Antilles Guyane Remplacement

EXERCICE III. DÉTECTION D'EXOPLANÈTES (4 points)

La première exoplanète, planète gravitant autour d'une autre étoile que le Soleil, a été détectée en 1995.
Avec les instruments actuels, la détection « directe » des exoplanètes n'est guère possible. En effet, d'après Michel Mayor, un des grands spécialistes du sujet, observer une exoplanète reviendrait à essayer de distinguer à 1000 km une flamme de bougie près d'un phare.
Différents moyens sont employés pour « deviner » l'existence de ces planètes si éloignées de nous. En décembre 2006, le satellite Corot, équipé d'un télescope et de différents instruments de mesure, a été mis en orbite avec pour objectif la détection et l'étude de nouvelles exoplanètes. En mai 2007, un communiqué de presse annonce le succès des premières observations de Corot : une nouvelle exoplanète a été découverte. Les résultats à venir sont très attendus par les scientifiques aussi bien que par le grand public.

D'après Science magazine et Internet.

La première partie de cet exercice montre que la présence d'une exoplanète ne peut pas être détectée par un télescope classique.
La deuxième partie montre que l'on peut détecter une exoplanète en observant ses passages périodiques devant son étoile.

1. Observation au télescope

À la lecture de différents articles scientifiques, Julie et Léa, deux jeunes astronomes amateurs, décident d'observer avec leur télescope une exoplanète et son étoile hôte. Grâce à une base de données d'exoplanètes disponible sur Internet, elles choisissent le couple HD 209458 située dans la constellation de Pégase.
Julie et Léa pointent leur télescope dans la direction souhaitée et après vérification des réglages, observent l'étoile mais sans sa compagne... Analysons le problème sans tenir compte de la luminosité de l'étoile par rapport à l'exoplanète.
Un extrait de la fiche technique du télescope utilisé pour leurs observations est donnée ci-dessous :

Télescope de Newton	
Diamètre :	*300 mm*
Distance focale du miroir primaire :	$f_1 = 1200$ *mm*
Distance focale de l'oculaire :	$f_2 = 30$ *mm*

Le schéma du télescope est représenté sur la ***FIGURE 3 DE L'ANNEXE EN PAGE 11****.*
On note :
- (M1), le miroir sphérique concave d'axe optique Δ, de sommet S et de foyer F_1
- (M2), le miroir secondaire plan incliné de 45°par rapport à Δ
- et (L), l'oculaire assimilable à une lentille mince convergente de foyers F_2 et F'_2 et d'axe optique Δ'.

Le couple étoile - exoplanète situé à l'infini est noté AB et son diamètre apparent α. L'image de AB donnée par le miroir primaire (M1) est notée A_1B_1

1.1. Indiquer, en justifiant, la position du foyer F_1 sur la **FIGURE 3 DE L'ANNEXE PAGE 11**.

1.2 *On rappelle que le diamètre apparent α est l'angle sous lequel l'œil de l'observateur voit l'objet.* Donner son expression en fonction de A_1B_1 et f_1. On considère que, α étant petit, tan $\alpha = \alpha$ avec α exprimé en radians.

1.3. *On note A_2B_2 l'image de A_1B_1 donnée par le miroir plan (M2).*
1.3.1. Sur la **FIGURE 3 DE L'ANNEXE PAGE 11**, indiquer la position de l'image A_2B_2 donnée par le miroir plan de l'image intermédiaire A_1B_1.
1.3.2. Quelle relation existe-t-il entre les longueurs A_1B_1 et A_2B_2 ?

2009 Métropole

1.4. *Le réglage du télescope étant afocal, l'image A_2B_2 se forme dans le plan focal objet de l'oculaire. On appelle A'B' l'image de l'objet A_2B_2 donnée par l'oculaire.*

1.4.1. Où se trouve l'image définitive *A'B'* du couple étoile - exoplanète ?

1.4.2. Justifier la réponse précédente après avoir fait le tracé sur la **FIGURE 3 DE L'ANNEXE PAGE 11**, deux rayons lumineux caractéristiques, à partir du point B_2, traversant l'oculaire (*L*).

1.5. Étude du grossissement

1.5.1. Faire figurer sur la **FIGURE 3 DE L'ANNEXE PAGE 11**, le diamètre apparent α' sous lequel est vu le couple étoile - exoplanète à travers le télescope.

1.5.2. Exprimer α' en fonction de A_2B_2 et de f_2. *On considère que, α' étant petit, tan α' = α' avec α' exprimé en radians.*

1.5.3. *Le grossissement Gr d'un instrument d'optique est défini par la relation* $Gr = \dfrac{\alpha'}{\alpha}$

Montrer que $Gr = \dfrac{f_1}{f_2}$. Calculer la valeur de ce rapport.

1.6. *On considère que deux points sont aisément discernables à l'œil nu s'ils sont observés sous un diamètre apparent supérieur ou égal à* $3{,}5 \times 10^{-4}$ *rad.*

Document 1 : Caractéristiques du couple étoile - exoplanète :

Exoplanète HD 209458 b	*Étoile hôte : HD 209458*
Distance moyenne à son étoile : 0,045 u.a *Type : « Hot Jupiter », planète semblable à Jupiter mais très proche de son étoile*	*Distance à la Terre : 153 années de lumière*

1 unité astronomique : 1 u.a = 150×10^6 *km ; 1 année de lumière : 1 a.l =* $9{,}5 \times 10^{15}$ *m*

1.6.1. En vous aidant des caractéristiques du couple étoile - exoplanète données dans le **document 1**, estimer la valeur du diamètre apparent α sous lequel est vu le couple étoile - exoplanète à l'œil nu.

1.6.2. Calculer la valeur du diamètre apparent α' sous lequel est vu le couple étoile - exoplanète à travers le télescope.

1.6.3. Montrer que même si la luminosité de l'étoile hôte n'était pas si importante, Léa et Julie n'auraient pas pu obtenir une image où l'étoile et sa compagne seraient séparées.

2. Méthode des transits

*Comme on l'a vu précédemment, on ne peut pas détecter de manière directe la présence d'une exoplanète autour d'une étoile. La méthode des transits peut alors être utilisée en se servant d'un photomètre à la sortie du télescope ; cet instrument permet de mesurer la luminosité de l'astre observé. Dans le cas présent, le passage répété d'une planète (**figure 4**) devant son étoile provoque une diminution périodique de la luminosité de l'étoile.*
*Par exemple la mesure de la luminosité de l'étoile HD 209458 en fonction du temps conduit au graphe de la **figure 5**.*

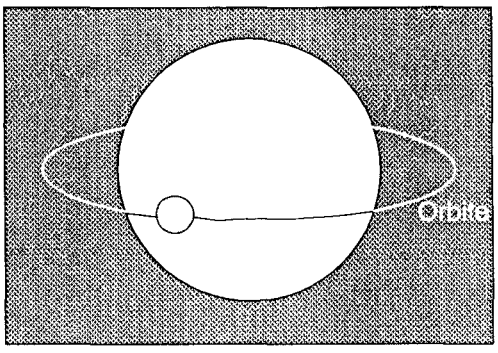
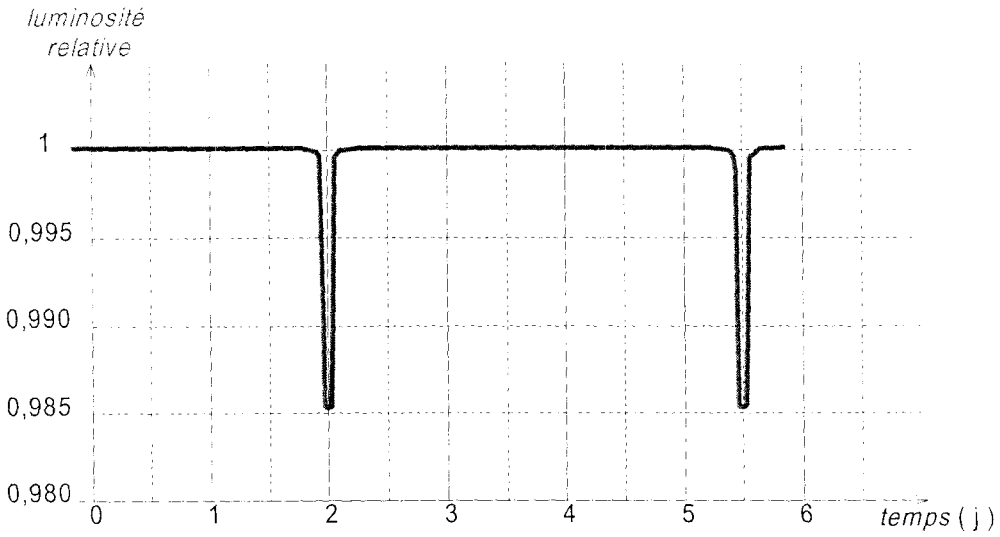


Figure 4 : Passage de la planète devant son étoile hôte

2009 Métropole

Figure 5 : évolution temporelle de la luminosité de l'étoile HD 209458



Document 2 : Caractéristiques du couple étoile - exoplanète:

Exoplanète HD 209458 b	*Etoile hôte : HD 209458*
Masse : $M_b = 0{,}69 \times M_J$ *M_J étant la masse de Jupiter*	*Masse : $M = 1{,}057 \times M_s$* *M_s étant la masse du Soleil*

Constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ (S.I.)
Masse du Soleil : $M_s = 2{,}00 \times 10^{30}$ kg ; Masse de Jupiter : $M_J = 1{,}90 \times 10^{27}$ kg
1 jour = 86 400 s.

2.1. D'après la **figure 5**, quelle est la période de révolution *T* de la planète HD 209458 b ? Exprimer cette période T en secondes.

2.2. En utilisant la troisième loi de Kepler et les données du **document 2**, calculer la valeur du demi grand axe *a* de l'ellipse parcourue par la planète autour de son étoile. Comparer avec la valeur de la distance moyenne de la planète à son étoile donnée dans le **document 1**.

Rappel : la troisième loi de Kepler donne une relation entre la période de révolution T de la planète, le demi grand axe a de l'orbite elliptique de la planète autour de son étoile et la masse M de l'étoile :

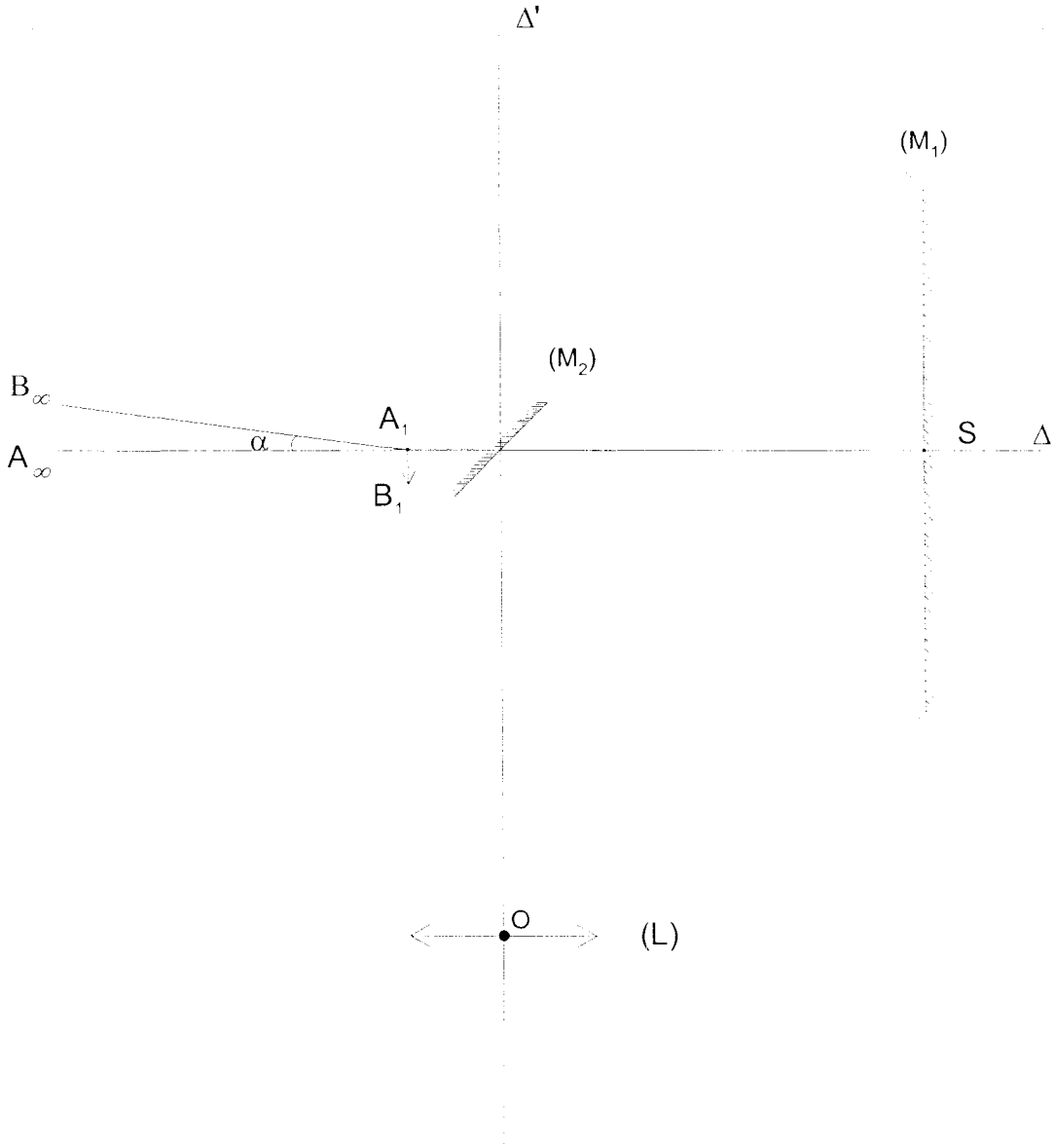
$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

2009 Métropole

ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE III

Figure 3 : schéma du télescope



2009 Métropole