Devoir surveillé n° 1. Optique.
PTSI. 24 Septembre 2022. 4 heures.

Les portables, les calculatrices ainsi que tous les documents sont interdits.
Toute communication entre élèves est interdite.

<u>On tiendra compte de la présentation et de la rédaction pour la notation:</u> On prendra soin de laisser quelques lignes en début de copie, ainsi qu'une marge pour la notation, d'encadrer les résultats, de numéroter les questions, de mettre les unités après les applications numériques, de numéroter les copies et d'indiquer le nombre de copies.

Le conjugué A' d'un point A, par une lentille mince sphérique, de centre optique O, de foyers F et F', de distance focale image f ', vérifie les relations suivantes :

Pour $A \xrightarrow{(L)} A'$, on a : Relation de Descartes : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$ et $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

Relation de Newton : $\overline{F'A'} \cdot \overline{FA} = -f'^2$ et $\gamma = \frac{\overline{FO}}{\overline{FA}} = \frac{\overline{F'A'}}{\overline{F'O}}$

<u>Problème n° 1. Force gravitationnelle</u>

Le but de cet exercice est d'étudier l'équation donnant l'ordre de grandeur de l'angle de déviation θ d'un rayon lumineux frôlant le soleil. M_S et R_S sont respectivement la masse et le rayon du soleil. On note c la vitesse de la lumière dans le vide et $\mathcal{G}$ la constante de gravitation universelle ($\mathcal{G}$ = 6,67.10^{11} SI).

On rappelle que la norme de la force gravitationnelle attractive entre deux masses m_1 et m_2 distantes de r s'écrit :

$$F_G = \frac{\mathcal{G} m_1 m_2}{r^2}$$

1) Déterminer la dimension de $\mathcal{G}$ et donner son unité dans le système international.

2) L'angle de déviation θ d'un rayon lumineux frôlant le soleil peut s'écrire : $\theta = K\mathcal{G}M_S^{\alpha}R_S^{\beta}c^{\gamma}$ où K est une constante sans dimension.
Déterminer α, β et γ par analyse dimensionnelle.

<u>Problème n° 2. Réfraction</u>

On notera n l'indice de réfraction de l'eau. On donne n = 1,33.

1. On plante une épingle au centre d'un bouchon de liège en forme de disque de rayon a = 3 cm (on ne se préoccupera pas de son épaisseur). On fait flotter le bouchon sur de l'eau, l'épingle vers le bas. Le bouchon de liège s'enfonce d'une profondeur négligeable dans l'eau. L'épingle dépasse du bouchon d'une longueur h. On se reportera à la figure A donnée en annexe.

On observe depuis un point situé au-dessus de l'eau. Si la longueur h n'est pas trop grande, on constate qu'il est impossible de voir l'épingle, quelle que soit la position de l'observateur au-dessus de l'eau. On cherche à expliquer le phénomène. Soit H l'extrémité inférieure de l'épingle, E une position quelconque de l'œil au-dessus de l'eau, et I_1 le point de la surface de l'eau situé au bord du bouchon.

- **a.** Tracer le rayon issu du point H qui parvient à l'œil en se réfractant en I_1.
- **b.** Quelle condition doit être vérifiée pour que ce rayon parvienne à l'œil ?
- **c.** Que devient la figure si le point I d'incidence au niveau du dioptre eau/air est situé à droite de I_1 ?
- **d.** Pouvez-vous expliquer le phénomène : épingle invisible ?

2. Déterminer l'expression littérale de la longueur maximale de h_0 pour que l'épingle soit absolument invisible depuis l'air en fonction des données de l'énoncé.

<u>Problème n°3 : Constructions (voir feuille annexe à rendre avec la copie)</u>

Problème n° 4. Focométrie des lentilles minces [CCP MP]

Ce problème concerne la mesure, par différentes méthodes, des distances focales de lentilles minces convergentes et divergentes. On considérera que les lentilles minces de ce problème sont utilisées dans le cadre de l'approximation de Gauss.

L'axe ($x'x$) d'un banc d'optique est orienté dans le sens de parcours de la lumière. On notera O_1 et O_2 les centres de deux lentilles (L_1) convergente et (L_2) divergente, A et A' les points sur l'axe optique d'un objet lumineux transverse AB et de son image $A'B'$ par l'instrument.

1.1. Lentille convergente : (L_1) de centre O_1 et de distance focale f_1'

1.1.1. Méthode d'autocollimation

On prend la lentille convergente (L_1) et on positionne juste derrière elle un miroir plan. On déplace le système lentille-miroir par rapport à l'objet AB jusqu'à ce que l'image $A'B'$ soit dans le plan de l'objet. La distance mesurée entre l'objet et la lentille est alors X. Déterminer f_1' en fonction de X.

1.1.2. Méthode de Bessel

Un objet AB et un écran (E) sont fixes et distants de D. Entre l'objet et l'écran, on déplace la lentille (L_1) pour obtenir sur (E) une image nette $A'B'$.

1.1.2.1. On $x = \overline{O_1A} < 0$. Montrer que si $D > D_{min}$, valeur minimale que l'on exprimera en fonction de f_1', alors il existe deux positions distinctes du centre de la lentille, O_1 et O_2, repérées respectivement par x_1 et x_2 (avec $x_1 < x_2$) de (L_1) pour lesquelles une image nette se forme sur l'écran. Donner les expressions de x_1 et x_2 en fonction de D et f_1'.

1.1.2.2. Si d représente la distance entre les deux positions de la lentille (L_1) quand $D > D_{min}$, exprimer la distance focale f_1' en fonction de D et d.

1.1.3. Méthode de Silbermann

L'objet AB étant fixe, sa position sera prise comme origine sur l'axe optique. On cherche les positions de la lentille (L_1) et de l'écran (E) telles que le grandissement transversal $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -1$. La distance objet-écran est alors D_0.

1.1.3.1. Déterminer l'expression de f_1' en fonction de D_0.

1.1.3.2. La méthode de Silbermann peut-elle se déduire de la méthode de Bessel ?
Justifier votre réponse.

1.2. Lentille divergente : (L_2) de centre O_2 et de distance focale f_2'

1.2.1. Théorème des vergences (formule des opticiens)

Pour déterminer la distance focale d'une lentille mince divergente (L_2) on accole celle-ci à une lentille mince convergente (L_0) de vergence V_0 connue.

1.2.1.1. Montrer que ce système optique (L_0, L_2) est équivalent à une lentille mince de vergence $V=Vo+V_2$

1.2.1.2. On choisit la lentille (L_0) pour obtenir par ce système optique (L_0, L_2) d'un objet réel AB, une image réelle $A'B'$, renversée, de même dimension que l'objet. La distance objet-image mesurée est égale à D.
Déterminer la vergence V du système de lentilles accolées. En déduire la distance focale image f_2'

1.2.2. Méthode de Badal

La méthode de Badal se déroule en deux étapes :

1ère étape : une lentille convergente (L) donne d'un objet ponctuel A situé au foyer objet F de cette lentille, une image rejetée à l'infini. Une seconde lentille convergente (L_0) de distance focale connue f_0' est disposée à la suite de (L) à une distance supérieure à f_0'. L'image finale ponctuelle A' se trouve sur un écran (E) situé au foyer image F_0' de (L_0).

2ème étape : la lentille divergente (L_2), de distance focale f_2' inconnue, est positionnée dans le plan focal objet de (L_0). Pour obtenir la nouvelle image nette A', il faut éloigner (E) de (L_0), d'une distance D.

1.2.2.1. Représenter sur la copie le trajet d'un faisceau lumineux issu de A pour chacune des étapes précédentes.

1.2.2.2. En appliquant la relation de conjugaison de Newton à la lentille (L_0), déterminer la relation donnant l'expression de la distance focale f_2' en fonction des distances f_0' et D.

Problème n° 5. Observation astronomique[E3A MP 2021] [ENAC 2022]

I) Observer Jupiter depuis la Terre

C'est en janvier 1610, à l'aide d'une très modeste lunette astronomique, que Galilée se rendit compte de la présence de quatre points lumineux à proximité de la planète géante. En notant soigneusement leurs positions, plusieurs soirs de suite, il s'aperçut que ces quatre points étaient mobiles et comprit qu'ils tournaient autour de la planète. Galilée venait de découvrir les quatre satellites principaux de Jupiter.

Données :

Rayon de la Terre	$R_T = 6,4 \cdot 10^3$ km
Rayon de Jupiter	$R_J = 7,0 \cdot 10^4$ km
Rayon de l'orbite terrestre	$d_T = 1,50 \cdot 10^8$ km
Rayon de l'orbite de Jupiter	$d_J = 7,80 \cdot 10^8$ km

Pour un observateur terrestre, Jupiter est vue sous un angle α qui varie suivant la distance Terre-Jupiter. Les orbites de la Terre et de Jupiter sont assimilées à des cercles ayant pour centre le Soleil, contenus dans un même plan, de rayons respectifs d_T et d_J et décrits dans le même sens. La planète Jupiter est modélisée en première approximation par une sphère de rayon R_J.

1) Calculer l'angle maximal α_m sous lequel Jupiter est vue depuis la Terre.

II) L'œil

L'œil peut être modélisé par une lentille mince convergente (L_0) (le cristallin) couplé à un écran (la rétine) située environ à $d'=1,5cm$ du cristallin.

2) Quelle est la limite de résolution angulaire d'un œil normal ?

On considère d'abord un œil myope dont le cristallin peut faire une image nette d'un objet A situé à une distance de l'œil comprise entre $d_1=12cm$ et $d_2=1,2m$.

3) Déterminer l'expression de la distance focale image f_{01}' de (L_0) permettant d'obtenir une image nette sur la rétine d'un objet situé à une distance d_1 devant l'œil. Donner une application numérique approchée.

4) Calculer la valeur de la distance focale image f_{02}' de (L_0) permettant d'obtenir une image nette sur la rétine d'un objet situé à une distance d_2 devant l'œil.

5) Déterminer graphiquement dans le cadre de l'approximation de Gauss, les positions des foyers principaux image F' et objet F de la lentille sur la **figure 1 donnée en annexe et à rendre avec la copie.**

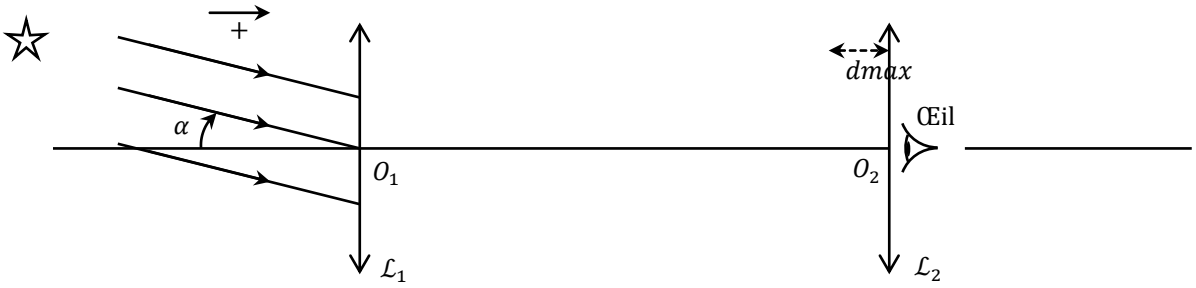
III) Lunette astronomique

Pour observer Jupiter, l'observateur utilise une lunette astronomique.

Dans toute cette partie, on admet que les conditions de Gauss sont satisfaites.

Une lunette astronomique peut être assimilée à un système de deux lentilles minces convergentes $\mathcal{L}_1$ et $\mathcal{L}_2$ de centres respectifs O_1 et O_2, de même axe optique, et de distances focales images respectives $f_1' > 0$ et $f_2' > 0$. Les foyers principaux objets et images de $\mathcal{L}_1$ et $\mathcal{L}_2$ sont notés respectivement F_1, F'_1 et F_2, F'_2.

L'œil est à présent considéré comme normal ou emmétrope (c'est-à-dire sans défaut). Son punctum proximum (PP) est situé à $d_m=25cm$ du cristallin. L'œil est placé juste derrière l'oculaire (Fig. ci-après), son centre optique O étant confondu avec O_2.



On note A_1B_1 l'image de l'objet AB par la lentille objectif et $A'B'$ l'image de A_1B_1 par la lentille oculaire.

L'objet AB étant très éloigné sera considéré à l'infini : A est situé sur l'axe optique et B hors de l'axe optique. AB est vu à l'œil nu sous un angle d'incidence $\alpha > 0$ (voir schéma précédent).

6) Qu'appelle-t-on conditions de Gauss ?

7) Déterminer la position de l'image intermédiaire A_1B_1 pour qu'un œil normal visant AB à travers la lunette n'ait pas à accommoder.

8) En déduire la position relative de l'objectif et de l'oculaire.

9) $f_1' = 100cm$ et $f_2' = 20cm$. Reproduire la figure sur la feuille annexe, en respectant la position de l'image intermédiaire A_1B_1 et représenter le trajet d'un faisceau lumineux en prenant une échelle à 1/10ième.

10) Le grossissement est défini par $G = \frac{\beta}{\alpha}$, β étant l'angle algébrique sous lequel est vu l'objet à travers la lunette. Déterminer l'expression de G et sa valeur numérique.

11) On note D_1 le diamètre de l'objectif $\mathcal{L}_1$, ce dernier constituant un objet pour l'oculaire $\mathcal{L}_2$. Quel est alors le diamètre D'_1 du disque image de l'objectif par l'oculaire (exprimé en fonction de D_1), et à quelle distance de O_2 cette image se forme-t-elle ? Comment appelle-on ce disque image ?

12) Lorsque l'œil accommode, on doit déplacer l'oculaire par rapport à l'objectif. Déterminer l'expression de la distance maximale $d_{max} > 0$ dont on peut rapprocher l'oculaire de l'objectif, l'œil étant toujours situé juste derrière l'oculaire, pour pouvoir encore observer l'étoile ?

13) La lunette est à nouveau réglée dans une configuration d'instrument afocal ($d_{max}=0$) (l'œil étant toujours situé juste derrière l'oculaire). On observe alors un objet ponctuel A à distance finie de l'objectif de la lunette sur l'axe optique. On note A_1 l'image de A par $\mathcal{L}_1$ et A' celle de A_1 par $\mathcal{L}_2$.
Déterminer en fonction de f_1', f_2' et d_m la distance minimale $D_{min} = \overline{AF_1}$ à laquelle on peut placer A pour que l'œil puisse observer nettement l'image de A à travers la lunette ?

14) La lunette vise à nouveau l'objet à l'infini et l'œil est normal ou emmétrope

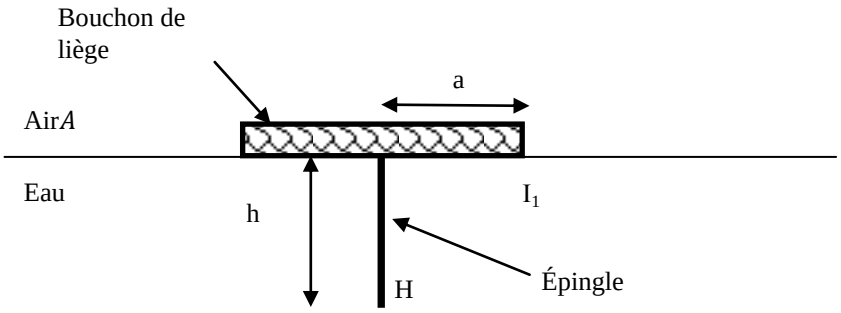
On veut augmenter le grossissement de cette lunette et redresser l'image. Pour cela, on interpose entre $\mathcal{L}_1$ et $\mathcal{L}_2$, une troisième lentille convergente $\mathcal{L}_3$ de distance focale image $f_3' = \overline{O_3F'_3} > 0$.
L'oculaire $\mathcal{L}_2$ est déplacé pour avoir de l'objet une image nette à l'infini à travers le nouveau système optique.

a) Quel couple de points doit conjuguer $\mathcal{L}_3$ pour qu'il en soit ainsi ?
b) On appelle γ_3, le grandissement transversal de la lentille $\mathcal{L}_3$. En déduire $\overline{O_3F'_1}$ en fonction de f_3' et γ_3.
c) Faire sur la feuille annexe une construction qui ne sera pas à l'échelle. On appelle $\overline{A_1B_1}$ la première image intermédiaire et $\overline{A_2B_2}$ la seconde image intermédiaire. Placer les foyers.
d) En déduire le nouveau grossissement G' en fonction de γ_3 et de G. Comparer G' à G en norme et en signe.

Feuille annexe NOM :

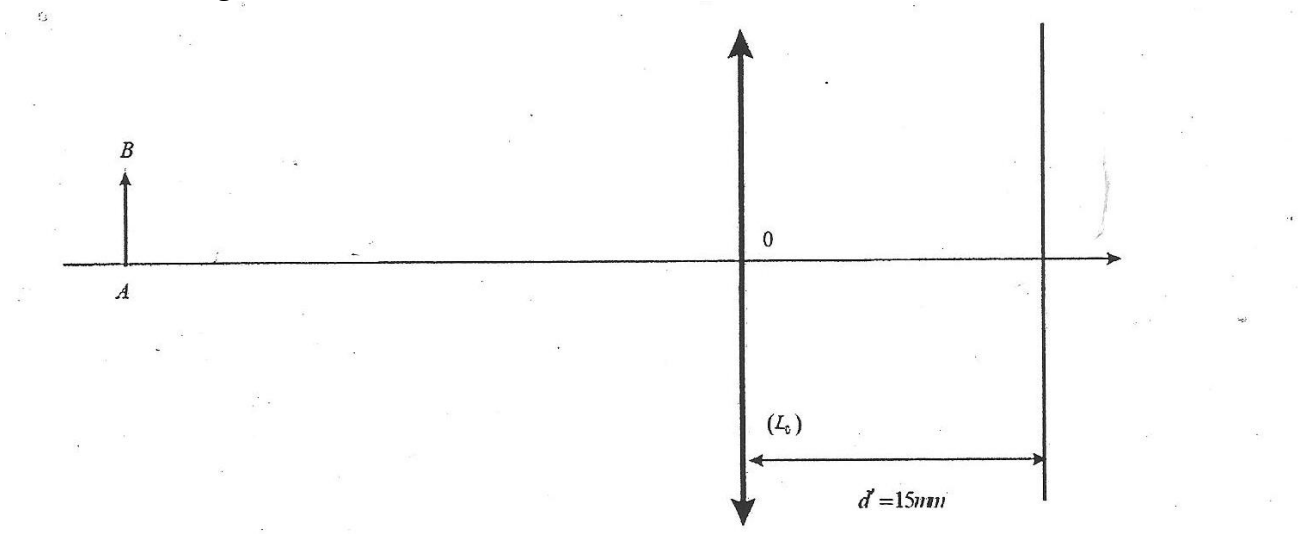
Problème n° 2. Réfraction

Figure A



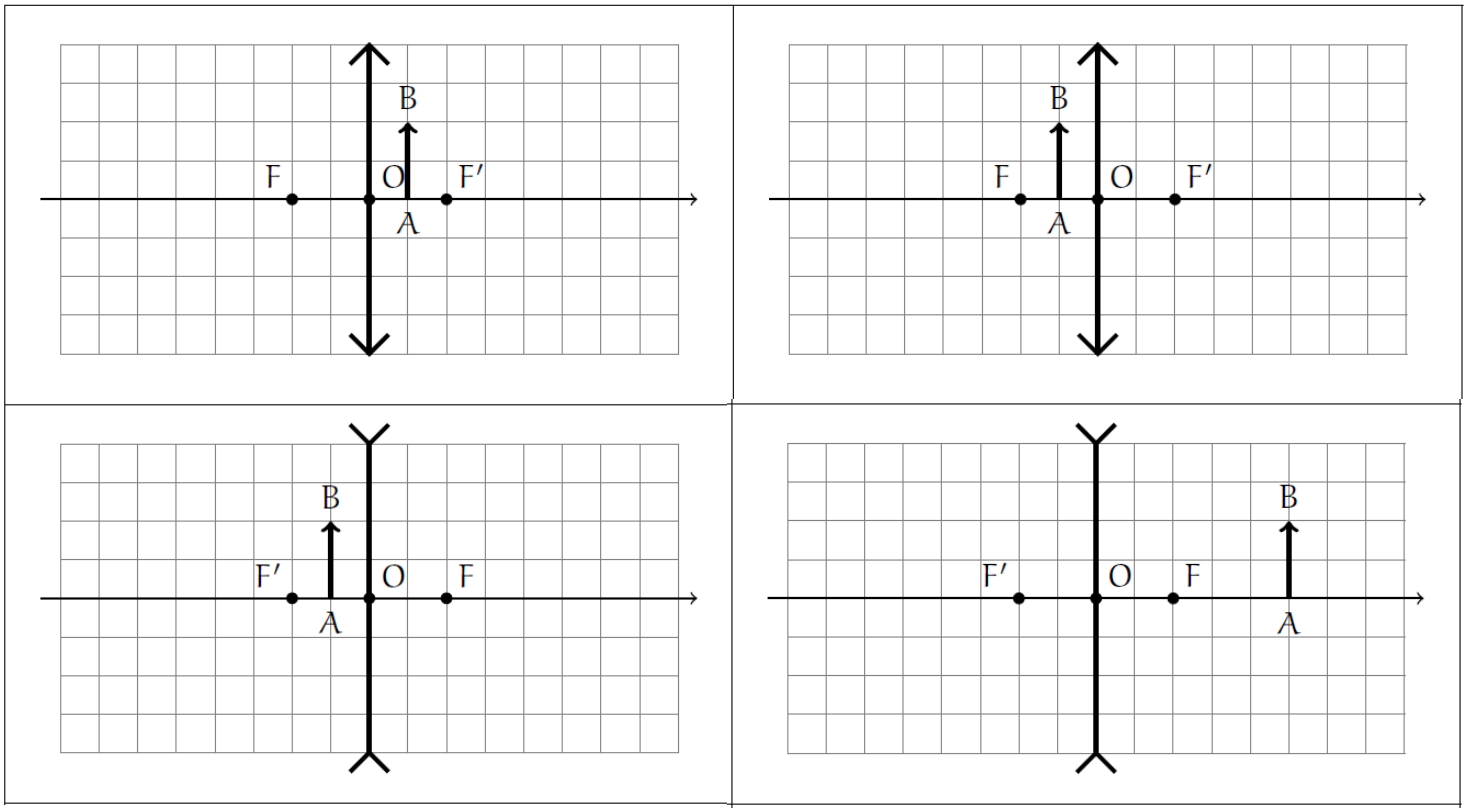
Problème n° 5. Observer Jupiter depuis la Terre

II L'œil Figure 1

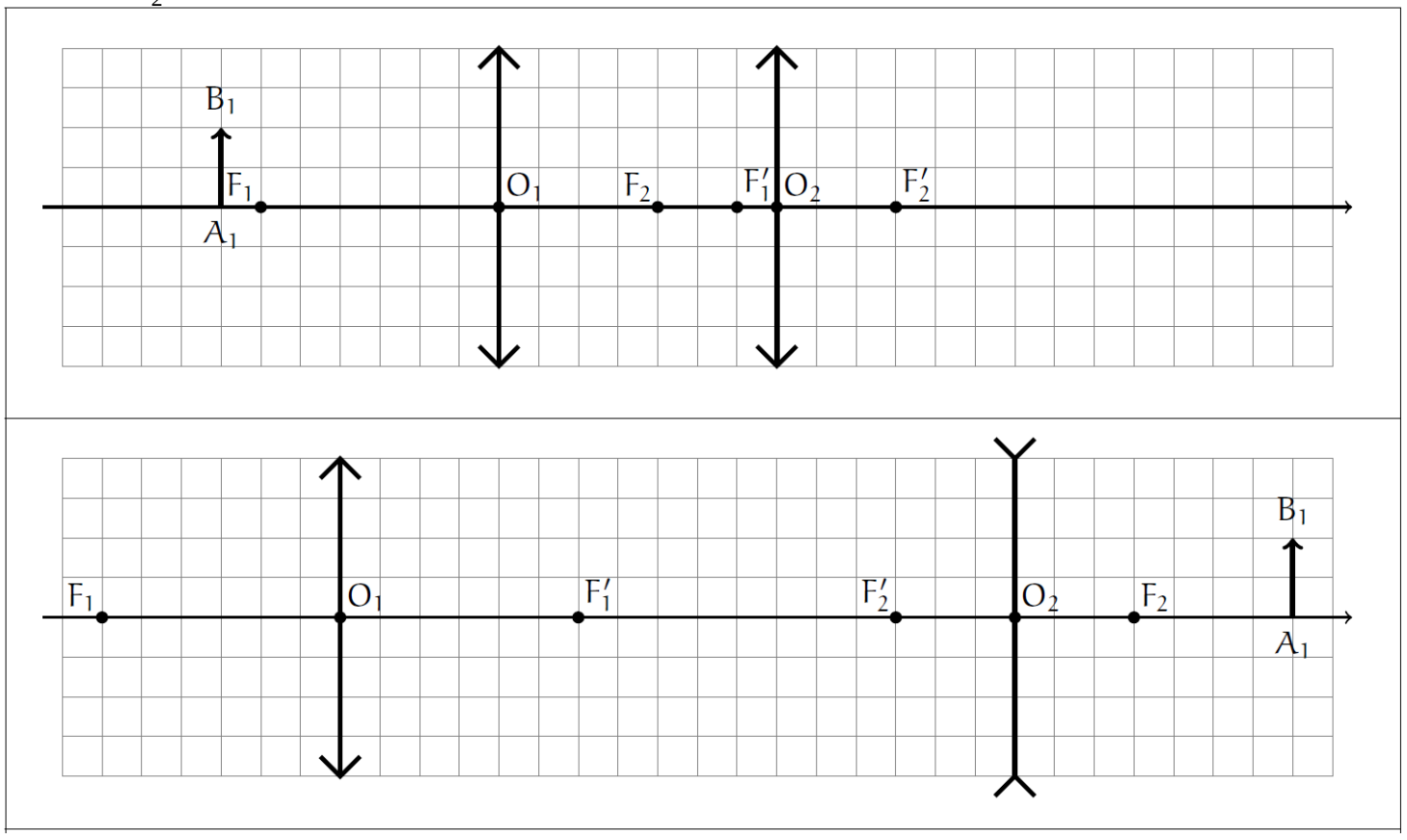


Problème n° 3. Constructions

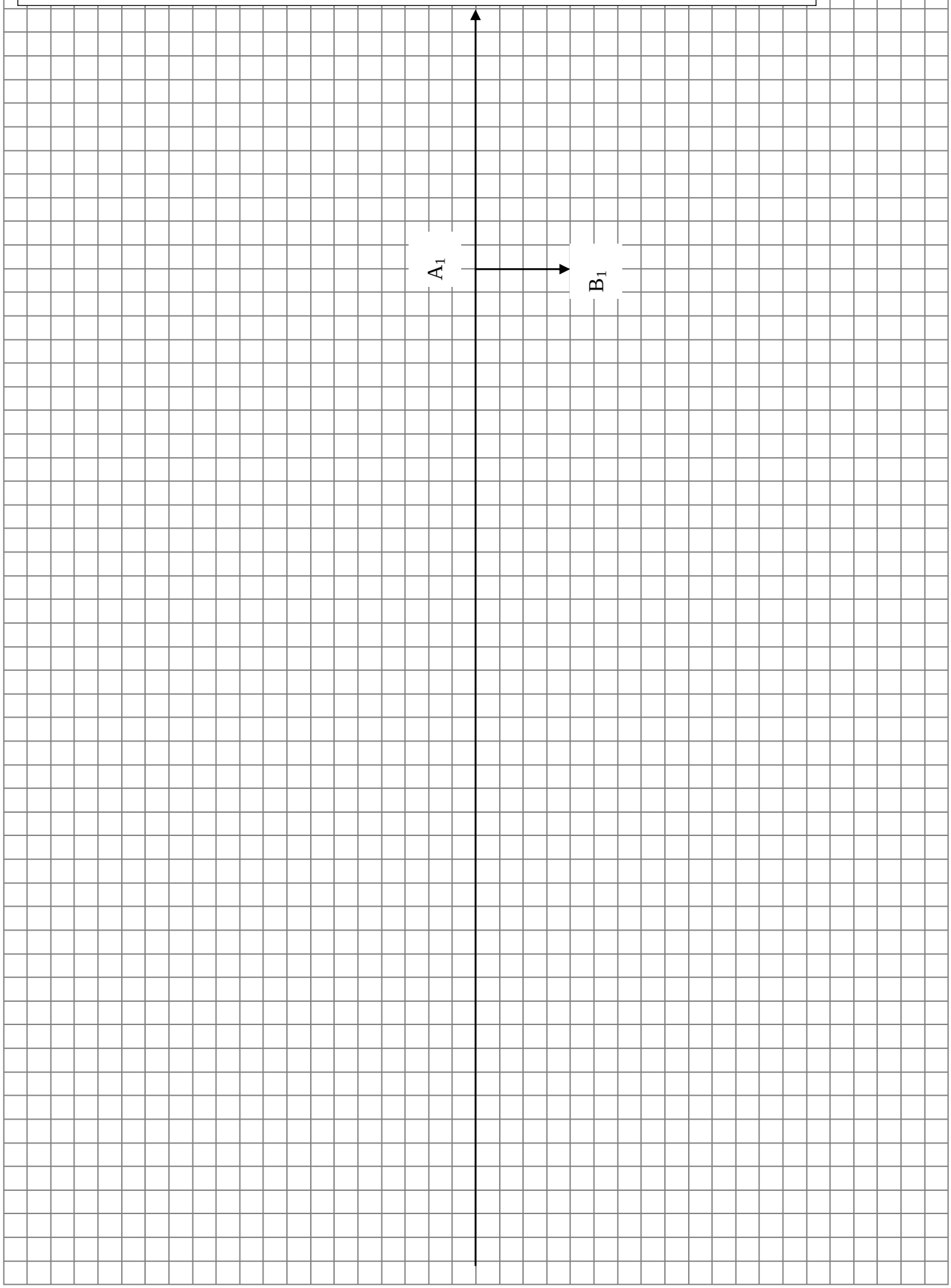
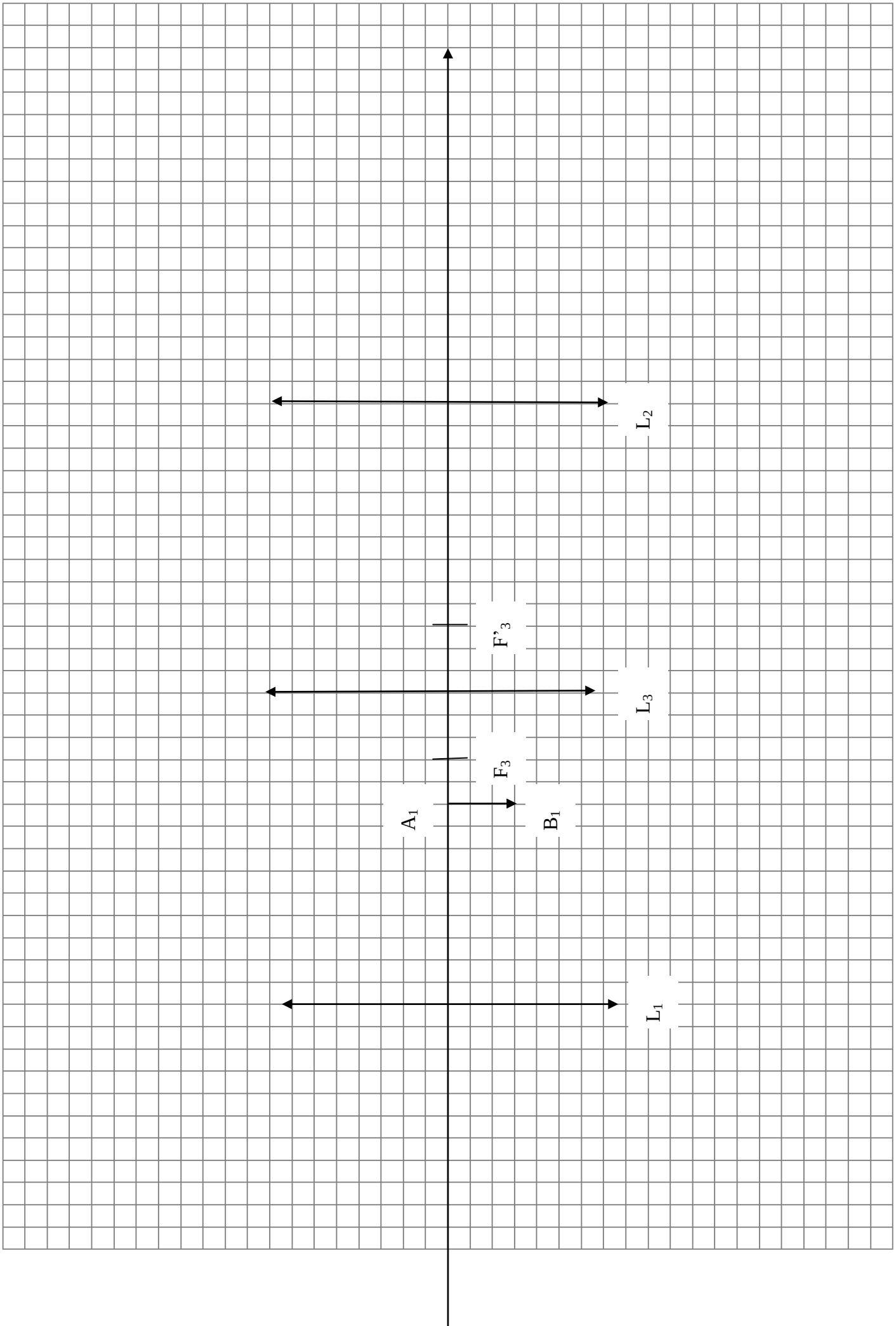
1) Images à tracer pour quelques objets réels ou virtuels



2) On donne l'image intermédiaire A_1B_1 : construire son objet par L_1 et son image par L_2



Problème n° 5. III Lunette astronomique Question 9 On prend 2 carreaux = 1cm



III Lunette astronomique Question 14c