Licence 1 – UE PHY124/125

Examen d'Optique

1ère session – 10 Mars 2016 (durée 2h)

Aucun document n'est autorisé – calculatrice, règle et rapporteur conseillés.
Le sujet comporte 4 pages plus ***2 documents réponses à rendre avec la copie****.*
La présentation et la clarté des explications sont évaluées.
Le barème est donné à titre indicatif.

I. Tracé de rayons lumineux (4 points)

2 pts

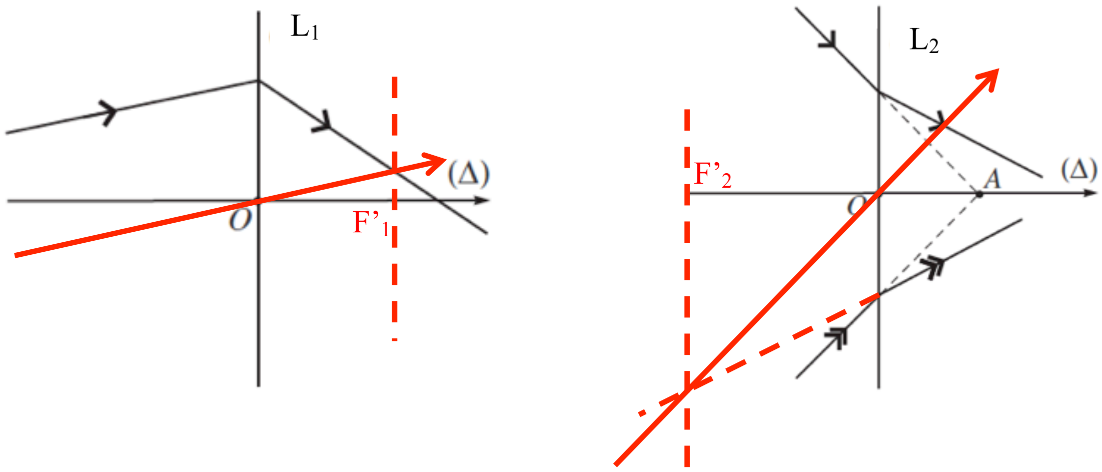
1) Compléter le tracé de rayons sur le document réponse 1. Indiquer dans chaque cas si l'objet est réel ou virtuel et si l'image est réelle ou virtuelle, droite ou inversée.

Pour chaque cas : 0.5 pt pour le tracé, 0.25pt pour la nature de l'objet, 0.25pt pour les caracteristiques de l'image

2) Quelle est la nature (convergente/divergente) de chacune des lentilles L_1 et L_2 ci-dessous ?

1 pt

L_1 convergente (0.5pt), L_2 divergente (0.5pt)



1 pt

3) Reproduire les deux schémas ci-dessus sur votre copie et compléter la représentation graphique des lentilles L_1 et L_2. A l'aide de la construction de rayons, déterminer la position du foyer image F' de chaque lentille L_1 et L_2.

0.5pt par schéma

II. Guide de lumière et fibre optique (6 POINTS)

Questions préliminaires : dioptre air – verre.

On prendra l'indice de réfraction de l'air égal à 1, et celui du verre égal à **n=1,6** (le verre est ici « renforcé » d'où son indice plus élevé qu'un verre normal).

1) Soit un rayon lumineux se propageant dans l'air et arrivant à l'interface **air/verre**. Existe-t-il toujours un rayon réfracté dans le verre quelque soit l'angle d'incidence i (entre 0° et 90° ? Donner l'expression de l'angle de réfraction maximum $\mathbf{r_{max}}$ en fonction de **n** et calculer sa valeur.

1 pt **0,5 POINT Oui il existe toujours un rayon réfracté quelque soit le rayon incident variant entre 0° et 90°.**

0,25 POINT $\mathbf{r_{max}}$=Arcsin(1/n)

0,25 POINT $\mathbf{r_{max}}$= Arcsin(1/1,6)=38,68°

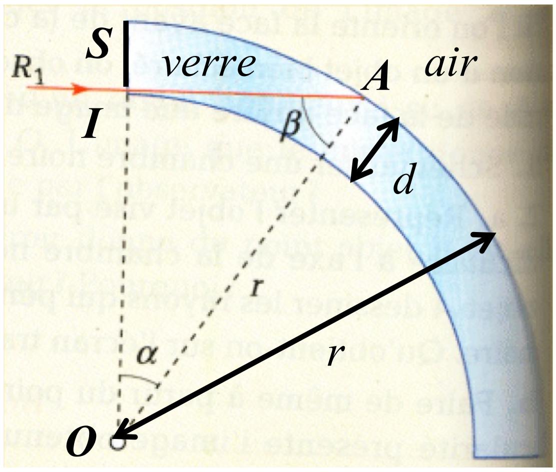
2) Soit maintenant la situation inverse où un rayon lumineux se propage dans le verre et arrive à l'interface **verre/air**.
Quelle est la condition sur l'angle d'incidence dans le verre **i** pour qu'il existe un rayon réfracté dans l'air ? Donner l'expression de $\mathbf{i_{limite}}$ en fonction de **n** et calculer sa valeur. Comment est qualifiée la réflexion dans le cas où $\mathbf{i} > \mathbf{i_{limite}}$?

0,5 POINT $\mathbf{i \leq i_{limite}}$ avec $\mathbf{i_{limite}}$=Arcsin(1/n).

1 pt **0,25 POINT** $\mathbf{i_{limite}}$=Arcsin(1/n)= Arcsin(1/1,6)=38,68°

0,25 POINT La réflexion est qualifiée de totale

On s'intéresse à présent à une fibre de verre cylindrique de diamètre **d=5 mm**, courbée suivant un arc de cercle de rayon extérieur **r=50 mm**, comme indiqué sur le schéma de droite. Un rayon lumineux $\mathbf{R_1}$ arrive sur la fibre en **I**, perpendiculairement à sa section notée **S**, à la limite du bord intérieur. On désire connaitre le chemin de ce rayon lumineux.
On rappelle que l'indice de réfraction de l'air est de 1, et que celui du verre vaut **n=1**



3) Pourquoi le rayon lumineux $\mathbf{R_1}$ n'est-il pas dévié en entrant dans la fibre ?

0,5 pt **0,5 POINT** L'angle d'incidence en **I** étant nul, l'angle réfracté en **I** est également nul. Ainsi, le rayon ressort perpendiculairement à S.

4) Ce rayon arrive ensuite à l'interface verre/air au point **A**. L'angle **α** est l'angle entre (OI) et (OA), et **β** est l'angle complémentaire de **α**. Déterminer l'angle d'incidence $\mathbf{i_A}$ en fonction de **α** et/ou **β** ?

0,5 pt **0,5 POINT** OA étant perpendiculaire à la section circulaire en **A**, alors l'angle d'incidence $\mathbf{i_A}=\beta$

5) Exprimer l'angle β en fonction de **r** et **d** (Astuce : raisonner dans le triangle AOI). Donner alors l'expression de $\mathbf{i_A}$ en fonction de **r** et **d** et calculer sa valeur. En comparant votre résultat à la valeur de $\mathbf{i_{limite}}$ calculée à la question 2), le rayon arrivant en **A** est-il par la suite partiellement réfracté dans l'air ou reste-t-il totalement guidé dans la fibre ?

Dans le triangle rectangle en **I**, on a les deux relations suivantes :

1,5 pt **0,5 POINT** $\sin(\beta)=OI/OA=(\mathbf{r}-\mathbf{d})/r$ d'où $\beta=\arcsin[(\mathbf{r}-\mathbf{d})/\mathbf{r}]$

0,25 POINT D'où la relation (1) de la question 4 devient $\mathbf{i_A}=\beta=\arcsin[(\mathbf{r}-\mathbf{d})/\mathbf{r}]$

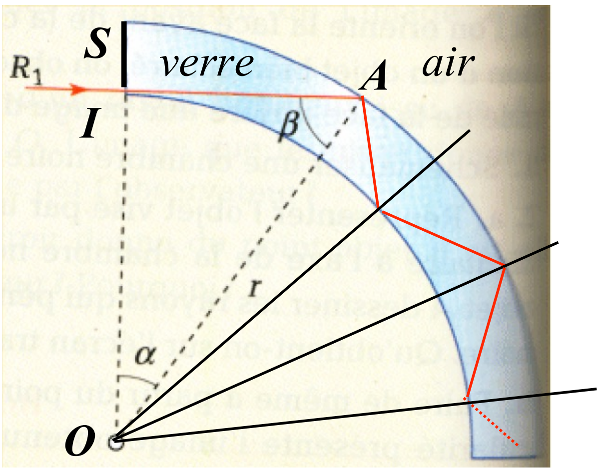
0,25 POINT $\mathbf{i_A}=\arcsin[(\mathbf{50}-\mathbf{5})/\mathbf{50}]=64.2°$

0,5 POINT Comme $\mathbf{i_A}=64.2°>\mathbf{i_{imite}}=38.68°$ alors il y a réflexion totale. Après le point A, le rayon reste dans la fibre.

6) Reproduire la figure ci-dessus sur un schéma et continuer le tracé de rayons à partir du rayon R_1. A chaque fois que le rayon à l'intérieur de la fibre optique rencontre les parois de la fibre, préciser s'il y a réfraction ou réflexion totale.

0.5 pt

0.5 POINT Il y a réflexion totale en tout point de la fibre (principe de la fibre optique). Car à chaque point d'impact, l'angle d'incidence est supérieur à $\mathbf{i_{imite}}$.



7) Que se passe-t-il lorsque l'on plie plus violemment la fibre optique (ce qui revient à obtenir de faibles valeurs pour **r** telles que par exemple **r=10 mm**, alors que le diamètre d de la fibre reste inchangé) ? Que préconisez-vous pour le bon fonctionnement de la fibre ?

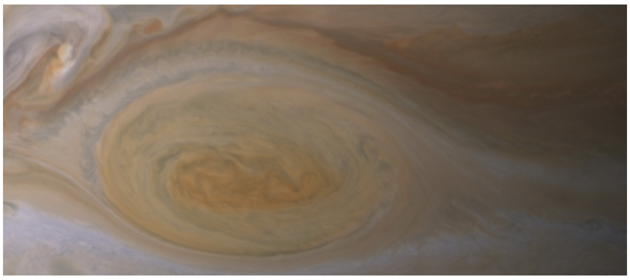
0.5 POINT On a alors $\mathbf{i_A}=\arcsin[(\mathbf{10}-\mathbf{5})/\mathbf{10}]=30.0°<\mathbf{i_{imite}}$. Il existe alors dans ce cas un

1 pt rayon réfracté.

0.5 POINT On préconise alors de ne pas pas trop plier la fibre pour ne pas avoir trop de pertes de signal

III. Un peu d'astronomie : Jupiter et sa Grande Tache Rouge (10 points)

Dans cet exercice, nous allons étudier la visibilité de la Grande Tache Rouge (GTR) de Jupiter.



La Grande Tache Rouge de Jupiter, vue par la sonde Cassini le 29 Décembre 2000

Donnés numériques :
Distance Terre-Jupiter : ~800 000 000 km
Dimensions de la GTR : 40 000 par 12 000 km
1 arcmin = 1' = 1°/60

1) Calculer l'angle α_{GTR} sous lequel nous voyons la plus grande dimension de la Grande Tache Rouge de Jupiter depuis la Terre. Est-elle résolue par l'œil seul sachant que le pouvoir de résolution de l'œil (capacité à distinguer deux points très rapprochés) est de 1 arcmin ?

1 pt **0.5 POINT** α_{GTR} = arctan (40 000 / 800 000 000) = 5 10^{-5} rad ou 2,86 10^{-3} degrés = 0,17'
(ou 8.8 10^{-4} deg = 0.05' pour 12000 km)
0.5 POINT 0.07' < 1' → non resolue

Nous observons maintenant Jupiter à l'aide d'une lunette astronomique. L'objectif est une lentille mince convergente L_1 de distance focale f_1', et l'oculaire une lentille mince convergente L_2 de distance focale f_2' (voir document réponse). Les axes optiques des deux lentilles coïncident, et elles sont placées de telle sorte que les foyers F_1' et F_2 sont séparés d'une très petite distance. On note cette distance $\overline{F_2F_1'} = \varepsilon > 0$.

2) En supposant que la Grande Tache Rouge de Jupiter peut être considérée comme étant à l'infini, où se forme son image donnée par la lentille L_1 ?
Tracer sur le document réponse 2 cette image intermédiaire que l'on notera A_1B_1 (on considère que le faisceau incident arrive de l'infini et frappe la lentille L_1 en faisant un angle α_{GTR} avec l'axe optique).

1 pt **0.5 POINT** image A_1B_1 dans le plan focal image de L_1
0.5 POINT Tracé de A_1B_1

3) Donner l'expression de la taille de l'image A_1B_1 en valeur absolue en fonction de α_{GTR} défini ci-dessus et f_1'. Faire l'application numérique avec f_1' = 350mm.

1 pt **0.5 POINT** $A_1B_1 = f_1' \tan(\alpha_{GTR}) = f_1' \alpha_{GTR}$ (approximation des petits angles)
0.5 POINT A_1B_1 = 350x5 10^{-5}= 0.0175mm

4) Faire le tracé de rayons pour obtenir l'image finale A'B' de la Grande Tache Rouge sur le document réponse 2. Est-elle réelle ou virtuelle ?

1 pt **0.5 POINT** Tracé
0.5 POINT image virtuelle

5) Exprimer $p_2 = \overline{O_2A_1}$ et $p_2^{'} = \overline{O_2A^{'}}$ en fonction de ε et f_2', avec O_2 le centre de la lentille L_2.

1,5 pt **0.5 POINT** $p_2 = O_2A_1 = O_2F_2 + F_2A_1 = O_2F_2 + F_2F'_1 = -f'_2 + \varepsilon$
1 POINT $1/p'_2 - 1/p_2 = 1/f'_2 \rightarrow p'_2 = p_2 f'_2/(p_2+f'_2) = f'_2(-f'_2+\varepsilon)/\varepsilon$

6) En déduire l'expression du grandissement γ_2 de la lentille L_2 en fonction de f_2' et ε. Faire l'application numérique pour f_2' = 20mm et ε=0,5mm. Commenter sur la valeur absolue de γ_2 lorsque ε devient très petit.

0.5 POINT $\gamma_2 = p'_2/p_2 = f'_2/\varepsilon$
1 pt **0.25 POINT** $\gamma_2 = 20/0.5 = 40$
0.25 POINT γ_2 devient très grand lorsque ε devient très petit

7) On considère maintenant que F_1' et F_2 sont confondus (soit ε=0). Où est située l'image finale A'B' ? Faire un schéma de la lunette astronomique dans ces conditions. Quel est l'avantage d'avoir ε=0 ?

1 pt **0.25 POINT** A'B' à l'infini
0.5 POINT schéma avec rayons lumineux
0.25 POINT œil au repos

8) Indiquer sur votre schéma précédent (toujours pour ε=0), α_{GTR}, l'angle sous lequel est vue la Grande Tache Rouge avant la lunette, et α'_{GTR}, l'angle sous lequel elle est vue en sortie de la lunette. En déduire l'expression du grossissement de la lunette astronomique en fonction des distances focales des deux lentilles qui la composent.

0.5 POINT α_{GTR} et α'_{GTR} sur le schéma
1 pt **0.5 POINT** $G = \alpha'_{GTR}/\alpha_{GTR} = (A_1B_1/f'_2)/(A_1B_1/f'_1) = f'_1/f'_2$

9) AN : Calculer α'_{GTR} avec f_1' = 350mm, f_2' = 20mm dans le cas où ε=0. La Grande Tache Rouge est-elle résolue lorsqu'on regarde dans cette lunette astronomique ?

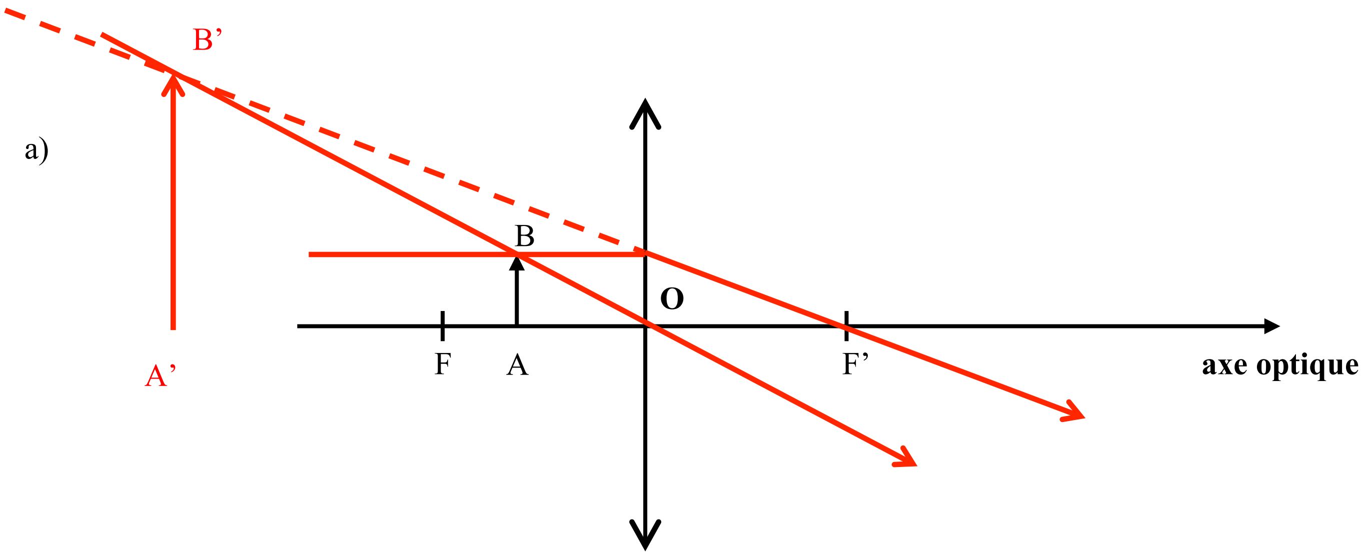
1 pt **0.5 POINT** $\alpha'_{GTR} = \alpha_{GTR} f'_1/f'_2 = 0{,}17 \times 350/20 = 3'$
0.5 POINT oui, la GTR est résolue

10) Quelle(s) amélioration(s) du dispositif pouvez-vous proposer pour obtenir un grossissement encore plus gros ?

0,5 pt **0.5 POINT** augmenter f'_1, diminuer f'_2

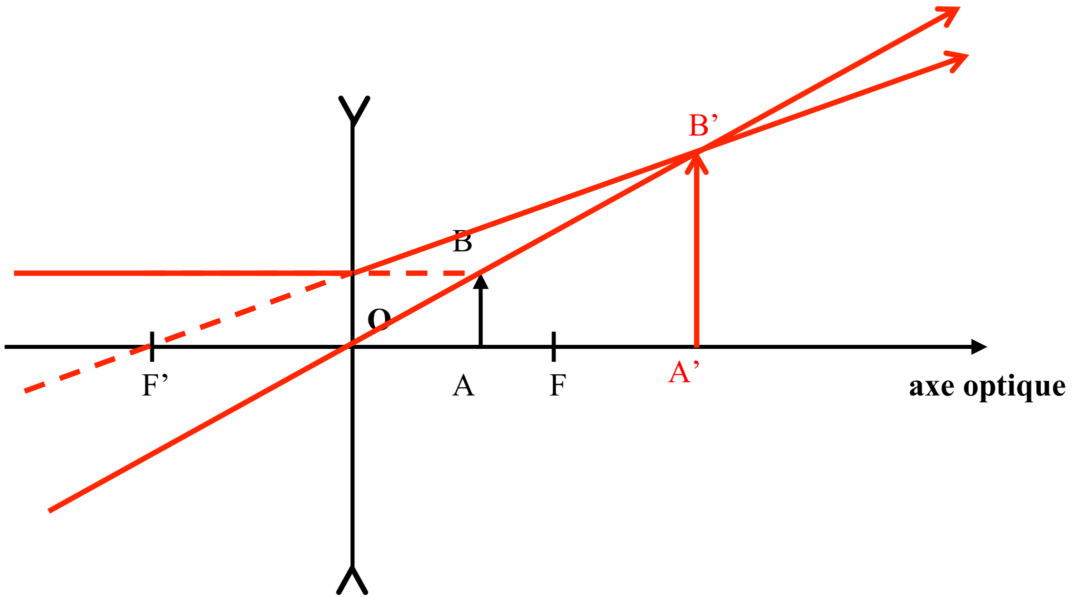
Numéro d'étudiant :	***Document réponse 1***

a)



Objet réel
Image virtuelle, agrandie, droite

b)



Objet virtuel
Image réelle, agrandie, droite

Numéro d'étudiant : *Document réponse 2*