

# DS de physique n°1

Durée : 3h00

- \* L'usage de la calculatrice est autorisé, l'usage de documents autres que ceux du présent devoir est interdit.
- \* Le sujet comporte 3 pages numérotées. Le devoir se compose de 3 exercices indépendants.
- \* Vous veillerez à lire l'intégralité de l'énoncé avant de commencer la rédaction du devoir.
- \* Vous soignerez votre rédaction et votre présentation : en particulier, vous prendrez soin de **mettre en évidence vos résultats** et de paginer vos copies. Pensez à écrire vos nom et prénom sur chaque copie.
- \* **Une pénalité de 10% de la note finale sera appliquée sur toute copie dont les réponses seront insuffisamment rédigées ou mal présentées.**
- \* Tout commentaire physique pertinent est bienvenu et sera valorisé. Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous le signalerez dans votre copie et expliquerez les mesures que vous avez été amené à prendre.
- \* Les tracés pourront facultativement être réalisés sur le papier millimétré fourni. Plusieurs schémas peuvent être réalisés sur une même page, ils seront alors proprement légendés.

## Exercice 1 : Miroir grossissant

On étudie dans cet exercice un miroir grossissant à usage cosmétique, destiné à former une image agrandie du visage de l'utilisateur. On considère pour cela un miroir sphérique concave, de rayon de courbure  $R = 10$  cm, de sommet  $S$ , de centre  $C$  et de foyer  $F$ .

- (Q.1.1) Dans quelles conditions peut-on considérer ce système comme stigmatique ?
- (Q.1.2) Pour un miroir concave, la distance  $\overline{SC}$  est-elle positive ou négative ? On considère que les rayons lumineux arrivent de la gauche, et que les distances algébriques sont prises positives lorsque lues de gauche à droite.
- (Q.1.3) On rappelle la relation de conjugaison au sommet des miroirs sphériques :

$$\frac{1}{\overline{SA'}} + \frac{1}{\overline{SA}} = \frac{2}{\overline{SC}}$$

Déterminer la nature de l'image – réelle ou virtuelle – pour un objet situé à une position  $\overline{SA} < \overline{SC}$ , puis  $\overline{SC} < \overline{SA} < \overline{SF}$  et enfin  $\overline{SF} < \overline{SA} < 0$ .

- (Q.1.4) A quel(s) endroit(s) placer le visage de l'utilisateur pour que son image soit observable ?
- (Q.1.5) Déterminer graphiquement, et à l'échelle, la position et la taille de l'image d'un objet vertical de 1 cm, placé à une distance  $\overline{SA} = -2.5$  cm.

## Exercice 2 : Fibre optique à saut d'indice

Une fibre optique à saut d'indice, représentée ci-après, est constituée d'un cœur cylindrique transparent d'indice  $n_c = 1,500$  et de rayon  $r_c$ , entouré d'une gaine transparente d'indice  $n_g = 1,485$ . L'axe  $Ox$  de la fibre est normal au dioptre air-cœur. L'indice de l'air sera pris exactement égal à 1. En raison de la symétrie de révolution de la fibre autour de l'axe  $Ox$ , on se restreint à une étude dans le plan  $(xOy)$ .

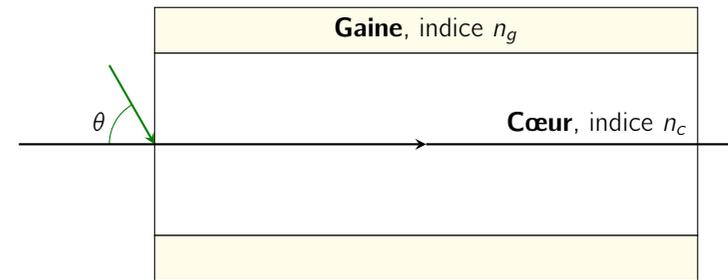


Figure 1 – Schéma d'une fibre optique à saut d'indice.

- (Q.2.1) Rappeler la loi de Descartes sur la réfraction, pour un rayon lumineux passant d'un indice  $n_1$  à un indice  $n_2$ .
- (Q.2.2) Rappeler ce qu'est le phénomène de réflexion totale. Montrer que l'angle limite d'apparition de ce phénomène est  $i_{lim} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$ , avec  $n_1 > n_2$ .
- (Q.2.3) Un rayon lumineux monochromatique se propageant dans l'air, situé dans le plan  $(xOy)$ , pénètre dans le cœur de la fibre en  $O$  avec un angle d'incidence  $\theta$ . Le rayon réfracté fait alors un angle  $r$  par rapport à l'axe de la fibre. Exprimer  $\sin(r)$  en fonction de  $\sin\theta$  et  $n_c$ .
- (Q.2.4) Exprimer l'angle  $i_{lim}$  de réflexion totale entre le cœur et la gaine en fonction de  $n_g$  et  $n_c$ .
- (Q.2.5) Montrer que  $\cos(r) = \frac{n_g}{n_c}$ . Exprimer alors  $\sin(r)$  en fonction de  $n_g$  et  $n_c$ .
- (Q.2.6) Montrer alors que l'angle d'incidence  $\theta_L$ , appelé angle d'acceptance de la fibre, tel que le rayon à l'intérieur de la fibre subisse une réflexion totale au niveau de l'interface cœur/gaine, est tel que  $\sin\theta_L = \sqrt{n_c^2 - n_g^2}$ . Calculer la valeur de  $\theta_L$ .
- On considère maintenant une fibre optique de longueur  $L$ . Le rayon entre

dans la fibre avec un angle d'incidence  $\theta$  variable compris entre 0 et  $\theta_L$ .

- (Q.2.7) Quel est le rayon qui traverse le plus rapidement la fibre? Exprimer, en fonction de  $L$ ,  $c$  et  $n_c$ , la durée de parcours  $T_1$  de ce rayon.
- (Q.2.8) Quel est le rayon qui met le plus de temps à traverser la fibre? Exprimer, en fonction de  $L$ ,  $c$ ,  $n_g$  et  $n_c$ , la durée de parcours  $T_2$  de ce rayon.
- (Q.2.9) En déduire l'expression de l'intervalle de temps  $\delta T = T_2 - T_1$ , en fonction de  $L$ ,  $c$ ,  $n_g$  et  $n_c$ . Calculer la valeur de  $\delta T$  pour  $L = 10$  km. On injecte à l'entrée de la fibre une impulsion lumineuse de durée extrêmement faible, formée par un faisceau de rayons ayant un angle d'incidence compris entre 0 et  $\theta_L$ .
- (Q.2.10) À la sortie de la fibre, quelle durée sépare la sortie du premier et du dernier rayon lumineux de l'impulsion précédente?
- (Q.2.11) On envoie maintenant plusieurs impulsions dans la fibre, à une fréquence  $f$ . Quelle durée  $\tau$  sépare deux impulsions consécutives? Quelle valeur minimale doit avoir  $\tau$  pour que les impulsions ne se "mélangent" pas à la sortie de la fibre?
- (Q.2.12) En déduire la fréquence maximale  $f_{max}$  des impulsions que l'on peut envoyer dans la fibre.

### Exercice 3 : Etude d'un téléobjectif

Un téléobjectif est un objectif de longue focale, qui permet un cadrage serré (un grand zoom) des sujets photographiés.

Dans les trois parties suivantes, largement indépendantes, le sujet photographié est constitué par la tour Eiffel culminant à une hauteur  $h = 324$  m du sol et située à une distance  $d = 2,0$  km du photographe.

On rappelle la relation de conjugaison de Descartes au centre (avec les notations d'usage) :

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

#### Partie 1 : Objectif standard

On s'intéresse dans un premier temps à un objectif standard d'appareil photographique constitué d'une lentille convergente unique de centre  $O$  et de focale  $f' = 50$  mm.

- (Q.3.1) Justifier brièvement pourquoi il est possible de considérer l'objet comme étant situé à l'infini.

- (Q.3.2) Quelle doit être la distance  $D$  entre la lentille et la pellicule pour que la photographie soit nette? Justifier votre réponse.
- (Q.3.3) Construire sur un schéma l'image de l'objet (pris à l'infini) sur la pellicule (sans respecter l'échelle). Les rayons venus de l'objet font un angle  $\alpha$  avec l'axe optique. Exprimer  $\alpha$  en fonction de  $h$  et  $d$ , en faisant les approximations nécessaires.
- (Q.3.4) On appelle  $h_1$  la hauteur de l'image de la tour Eiffel sur la pellicule. Déterminer son expression en fonction de  $f'$ ,  $d$  et  $h$  puis calculer sa valeur numérique.

#### Partie 2 : Réalisation d'un téléobjectif avec une lentille unique

- (Q.3.5) Expliquer pourquoi, si l'on souhaite photographier les détails d'un sujet lointain, il faut choisir un objectif de focale plus élevée que celle d'un objectif standard.
- (Q.3.6) Dans le cas d'un téléobjectif de focale  $f'_0 = 200$  mm, calculer la hauteur  $h_2$  de l'image de la tour Eiffel sur la pellicule ainsi que l'encombrement de l'appareil (distance entre la lentille et la pellicule)

On considère dans un premier temps une lentille de verre d'indice  $n$  placée dans l'air (figure 1). On se place dans l'approximation d'un indice  $n$  ne dépendant pas de la longueur d'onde.

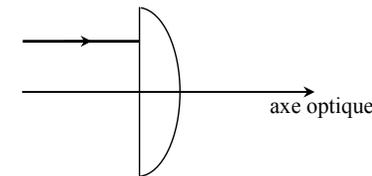


Figure 2 – Schéma de l'objectif

- (Q.3.6) Reproduire la figure 1 et tracer la marche du rayon incident représenté dans et après la lentille. Justifier sommairement le tracé.
- (Q.3.7) Quelle est la nature de cette lentille? Justifier.

L'indice de réfraction  $n$  du verre constituant la lentille dépend en réalité de la longueur d'onde  $\lambda$  de la radiation lumineuse qui la traverse. Ils sont reliés par la loi de Cauchy :

$$n(\lambda) = a + \frac{b}{\lambda^2}$$

où  $a$  et  $b$  sont des constantes positives qui ne dépendent que du milieu traversé.

- (Q.3.8) Comparer  $r_R$  et  $r_B$ , angles réfractés en sortie de lentille pour une radiation rouge et pour une radiation bleue en considérant des rayons incidents parallèles à l'axe optique. Tracer alors (schématiquement) les chemins suivis par ces deux radiations dans et après la lentille.
- (Q.3.9) Expliquer le problème qui pourrait se poser si l'on réalisait un téléobjectif avec une lentille unique.

### Partie 3 : Réalisation d'un téléobjectif par association de deux lentilles distantes de $e$

Afin de raccourcir les téléobjectifs, en particulier les plus puissants, on peut réaliser un autre montage en associant deux lentilles distantes d'une distance  $e$  : une lentille convergente  $L_1$  de centre  $O_1$  et de focale  $f_1'$  et une lentille divergente  $L_2$  de centre  $O_2$  et de focale  $f_2'$ .

On prendra pour les applications numériques :  $f_1' = 50$  mm,  $f_2' = -25$  mm et  $e = \overline{O_1O_2} = 31$  mm. On note  $F'$  l'image par le téléobjectif d'un point à l'infini sur l'axe optique.

- (Q.3.10) Schématiser la situation, en représentant les deux lentilles, leurs centres et leurs foyers.
- (Q.3.11) Pour un objet  $A$  situé à l'infini sur l'axe optique, écrire pour les deux lentilles la relation de conjugaison de Descartes, en fonction des points  $O_1, F_1', O_2$  et  $F'$ , ainsi que des distances  $f_1'$  et  $f_2'$ .
- (Q.3.12) Montrer alors que :

$$\overline{O_2F'} = \frac{f_2'(f_1' - e)}{f_1' + f_2' - e}$$

En déduire l'expression de l'encombrement  $\overline{O_1F'}$  de l'appareil. Faire l'application numérique.



