

Lycée Jean Perrin

Filière PCSI

Samedi 28 septembre 2024

# DEVOIR SURVEILLÉ DE PHYSIQUE N°1

**Analyse dimensionnelle et  
Optique géométrique**

Durée de l'épreuve : 2 heures.

L'usage de la calculatrice et de tout dispositif électronique est autorisé.

L'énoncé de cette épreuve comporte 5 pages de texte.

**L'ANNEXE EST À RENDRE AVEC LA COPIE**

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

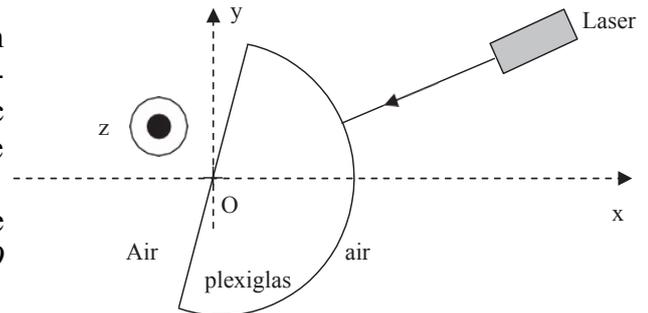
Il ne faudra pas hésiter à formuler des commentaires (incluant des considérations numériques) qui vous semblent pertinents, même lorsque l'énoncé ne le demande pas explicitement. Le barème tiendra compte de ces initiatives ainsi que des qualités de rédaction de la copie.

Certaines questions peu ou pas guidées, demandent de l'initiative de la part du candidat. Leur énoncé est repéré par une barre en marge. Il est alors demandé d'explicitement la démarche, les choix et de les illustrer le cas échéant, par un schéma. Le barème valorise la prise d'initiative et tient compte du temps nécessaire à la résolution de ces questions.

## EXERCICES COURTS ET SIMPLES (20 min)

### Exercice 1 – (extrait CCP PC 2018)

Lors d'une séance de travaux pratiques, on dispose d'un disque métallique gradué en degrés, d'un laser et d'un demi-cylindre de plexiglas dont la face plane est confondue avec un diamètre du disque métallique. La lumière du laser arrive sur la face courbe du demi-cylindre de plexiglas suivant un de ses rayons comme indiqué en **figure 1**. Le demi-cylindre peut pivoter sur le disque métallique autour de l'axe  $(Oz)$ ,  $O$  étant le centre du disque.



**Figure 1** – Expérience avec un demi-cylindre en plexiglas

**Q1.** Reproduire la **figure 1** et tracer les rayons réfractés et réfléchis issus du laser. Quelles lois peut-on vérifier avec cette expérience ? Quel phénomène pourra être mis en évidence à l'occasion de cette expérience ?

### Exercice 2 – (Extrait Sujet X/ENS PC 2011)

Un matériau test élastique cylindrique de rayon  $R$  résiste à la compression avec une force  $\vec{F}_C$  qui dépend du taux de compression  $\varepsilon = (\delta_0 - \delta) / \delta_0$  avec  $\delta_0$  la valeur de  $\delta$  prise en un endroit particulier :  $F_c = \pi R^2 Y \varepsilon$ . Dans cette relation,  $Y$  est le module de Young du matériau.

**Q1** Déterminer la dimension de  $Y$ , et donner son unité SI.

## PROBLÈMES (1h40 min)

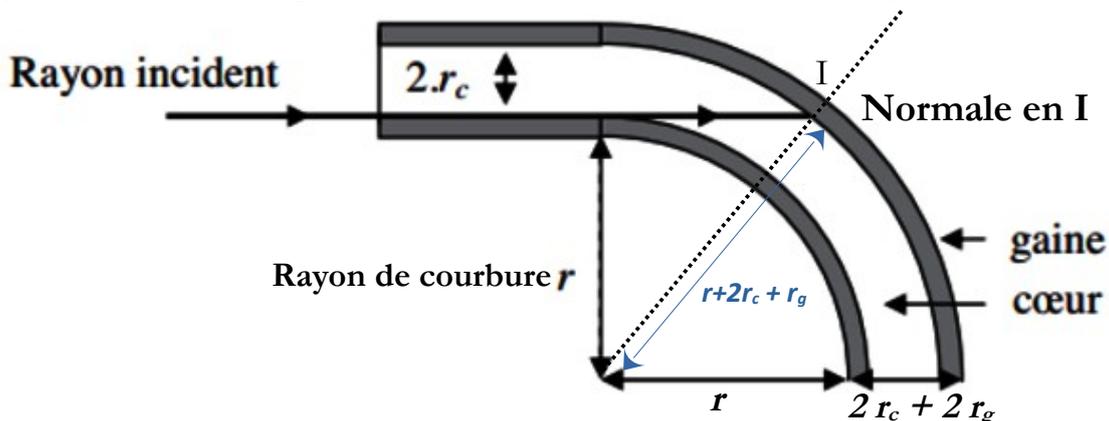
### **Problème A -Perte d'énergie dans une fibre optique (extrait de CCP PC 2018) (20 min)**

On étudie une fibre à saut d'indice cylindrique constituée d'un cœur de rayon  $r_c$  d'indice optique  $n_c = 1,500$  et d'une gaine d'épaisseur  $r_g$  d'indice optique  $n_g = 1,485$

Même si cette fibre peut être courbée sans qu'elle se brise, la courbure peut néanmoins conduire à une perte de l'énergie guidée. (On rappelle que les rayons lumineux transportent l'énergie lumineuse)

**Q1** En raisonnant sur la figure 2 expliquer, en justifiant, la raison de cette perte dans une fibre à saut d'indice.

**Q2** En considérant un rayon pénétrant dans la fibre perpendiculairement à sa section comme sur le schéma ci-dessous, donner en fonction de  $n_c, n_g, r_c$  et  $r_g$ , l'expression du rayon de courbure  $r_{lim}$  à partir duquel la perte d'énergie apparaîtra. Calculer ce rayon en considérant que  $r_g + r_c = 1,0$  mm et  $r_c - r_g = 0$ . Conclure



**Figure 2** : Perte d'énergie dans une fibre optique courbée.

## **Problème B- Étude d'un téléobjectif (extrait de ENSTIM 2007 PCSI) (50 min)**

Un téléobjectif est un objectif de longue focale, c'est-à-dire un objectif dont la focale est supérieure à la diagonale de la pellicule pour un appareil photographique argentique ou de la matrice de cellules photosensibles dans le cas d'un appareil photographique numérique.

Ces objectifs permettent un cadrage serré des sujets photographiés grâce à un angle de champ étroit.

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.

### **Partie B1 : Objectif standard**

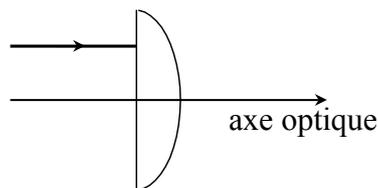
On s'intéresse dans un premier temps à un objectif standard d'appareil photographique argentique constitué d'une lentille convergente unique de centre O et de focale  $f' = 50$  mm.

- Q1.** Quelle doit être la distance  $D$  entre la lentille et la pellicule pour que la photographie soit nette? Justifier votre réponse.
- Q2.** Construire sur un schéma l'image de l'objet sur la pellicule (sans respecter l'échelle).
- Q3.** 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 B2 : Réalisation d'un téléobjectif avec une lentille unique**

- Q4.** 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.
- Q5.** 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 3). On se place dans l'approximation d'un indice  $n$  ne dépendant pas de la longueur d'onde.



**Figure 3**

- Q6.** Reproduire la figure 3 et tracer la marche du rayon incident représenté dans et après la lentille. Justifier sommairement le tracé.
- Q7.** Quelle est la nature de cette lentille ? Justifier.
- Q8.** Définir le foyer image d'un système optique. Indiquer sur la figure le foyer image  $F'$  de la lentille.

### Partie B3 : 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  $e = O_1O_2 = 35$  mm.

On note  $P$  l'intersection du plan de la pellicule avec l'axe optique et  $F'$  l'image par l'ensemble du téléobjectif d'un point à l'infini sur l'axe optique.

**Q9** Compléter le schéma en annexe en rajoutant  $L_2$  et en prolongeant à travers le système optique le rayon arrivant sur  $L_1$ . *Noter votre nom et votre prénom sur l'annexe à détacher et à glisser dans la copie.*

**Remarques :**

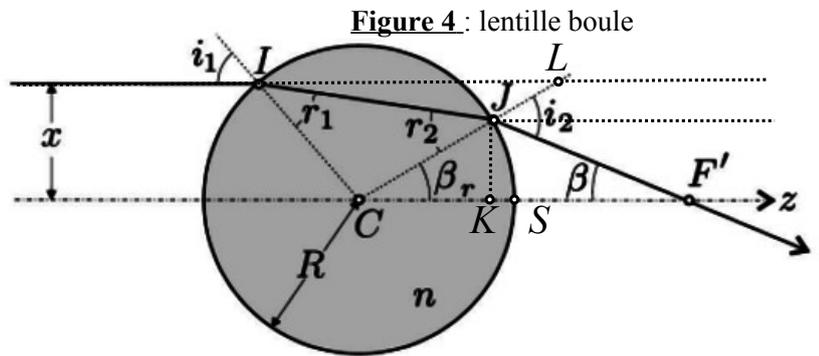
- Le point  $F'$  n'apparaîtra pas sur le schéma
- Un carreau sur le schéma correspond à 1,25 mm en réalité

On donne la formule de position de Descartes :  $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'}$

**Q10.** Déterminer littéralement la distance  $\overline{O_2F'}$  en fonction de  $f_1$ ,  $f_2$  et  $e$ . En déduire l'expression de l'encombrement  $O_1P$  de l'appareil en fonction de ces mêmes grandeurs. Faire l'application numérique.

### Problème C -Microscope de Van Leeuwenhoek (*inspiré de Mines-Ponts 2020 PC*) (30 min)

Le premier microscope de Van Leeuwenhoek, était rudimentaire et reposait sur l'utilisation d'une seule lentille boule qui agissait comme une loupe. Après polissage d'une goutte de silice fondue, Van Leeuwenhoek, obtint des lentilles boule de rayon  $R = 0,6$  mm de centre  $C$ . L'indice optique de la silice sera noté  $n$ , les foyers objet et image de la lentille sont respectivement noté  $F$  et  $F'$



**Q1** Expliquer, à l'aide d'un schéma optique précis, que cette lentille peut jouer le rôle de loupe si on la place entre l'échantillon et l'observateur. On pourra modéliser cette lentille par une lentille mince.

Sur la figure 4 on a représenté la trajectoire d'un rayon lumineux initialement parallèle à l'axe optique ( $Cz$ ) se propageant dans la lentille boule d'indice optique  $n$  placée dans l'air d'indice unitaire. Les rayons incidents et émergents se coupent dans un plan passant par  $C$ , perpendiculaire à l'axe ( $Cz$ ).

#### L'étude sera menée dans l'approximation de Gauss.

Les angles formés entre les rayons lumineux et les normales au dioptres sont notés  $i_1$  au point  $I$  en entrée de la lentille et  $i_2$  à l'extérieur de la lentille au point  $J$ , en sortie. De même, les angles intérieurs seront notés  $r_1$  et  $r_2$ . L'angle  $\widehat{F' C J}$  est noté  $\beta_r$  et l'angle de déviation  $\widehat{C F J}$  sera noté  $\beta$

- Q2**
- a) Écrire la loi de Snell-Descartes sur la réfraction en  $I$  et  $J$  dans les conditions de Gauss.
  - b) Établir une relation entre  $r_1$  et  $r_2$  en remarquant que le triangle  $ICJ$  est isocèle.
  - c) En déduire la relation entre  $i_1$  et  $i_2$ .
  - d) Exprimer  $i_1$  en fonction de  $x$  et  $R$ .
  - e) Exprimer  $\beta_r$  en fonction de  $i_1$  et  $n$ , puis en fonction de  $x$ ,  $R$  et  $n$ .  
(On pourra s'intéresser aux triangles  $ICL$  et  $ICJ$ )
  - f) Exprimer  $\beta$  en fonction de  $i_2$  et  $\beta_r$ , puis en fonction de  $x$ ,  $R$  et  $n$ .

**Q3** En déduire la distance focale  $f_L$  définie comme la distance  $CF'$  sur la figure 4 en fonction de  $n$  et  $R$  estimer enfin numériquement  $f_L$  en prenant  $n=1,5$ . On supposera que  $CK \approx CS = R$

NOM:

**ANNEXES**

PRENOM:

**DOCUMENT REPONSE Problème B**