

**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**

**GENIE OPTIQUE**

**option OPTIQUE INSTRUMENTALE**

**Epreuve de PHYSIQUE APPLIQUEE**

**Sous-épreuve U42 : PHYSIQUE**

**Durée 2 heures 30**

**coefficient 2,4**

*La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront pour une part importante dans l'appréciation des copies.*

**2 feuilles de papier millimétré seront distribuées avec la copie.**

**Matériel autorisé :**

**Calculatrice conformément à la circulaire n°99-186 du 16/11/1999**

*Sont autorisées toutes les calculatrices de poche, y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimantes.*

*Le candidat n'utilise qu'une seule machine sur la table. Toutefois, si celle-ci vient à connaître une défaillance, il peut la remplacer par une autre.*

*Afin de prévenir les risques de fraude, sont interdits les échanges de machines entre les candidats, la consultation des notices fournies par les constructeurs ainsi que les échanges d'informations par l'intermédiaire des fonctions de transmission des calculatrices.*

**Tout autre matériel est interdit**

*Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.*

*Ce sujet comporte : 4 pages numérotées de 1 à 4.*

## I Optique géométrique : l'appareil photographique (12 points)

*L'étude suivante est constituée de quatre parties indépendantes les unes des autres.*

Les éléments essentiels d'un appareil photographique sont l'objectif et la pellicule ; l'objectif donne d'un objet réel une image réelle qui se forme dans le plan de la pellicule.

Un appareil photographique " autofocus " effectue automatiquement la mise au point sur l'objet.

L'appareil a un objectif de distance focale  $f' = 50$  mm, les dimensions de sa pellicule sont  $24 \text{ mm} \times 36 \text{ mm}$ . Pour illustrer son fonctionnement, on modélise l'objectif par une lentille mince. La distance lentille - pellicule varie ainsi entre 50 et 55 mm lors d'une mise au point sur l'objet à photographier.

L'objectif comporte également un diaphragme circulaire de diamètre  $D$  qui correspond alors à la pupille d'entrée. On définit le nombre d'ouverture  $N$  par le rapport  $N = \frac{f'}{D}$ .

### A. Mise au point :

1. En quoi consiste la mise au point ?
2. Déterminer la distance minimale qui peut séparer l'objet à photographier de l'objectif.
3. Montrer que tous les objets situés au-delà d'une distance de 10 m de l'objectif peuvent être considérés comme étant à l'infini.
4. On photographie un enfant de hauteur  $h = 1,2$  m situé au pied d'un arbre de hauteur  $h' = 3,0$  m. Lorsque la mise au point sur l'enfant et l'arbre est faite, la distance lentille - enfant est de 2,0 m. Peut-on avoir l'image entière de l'enfant et de l'arbre sur la pellicule ?

### B. Champs :

Un appareil 24x36 est équipé d'un objectif de focale 50 mm.

1. En supposant que l'objet est dans un plan transverse à l'infini, déterminer les champs objets horizontal et vertical à l'aide d'un schéma.
2. Déterminer les dimensions du champ transversal situé à 100 m.

### C. Éclairement :

L'objectif est face à une source lumineuse étendue. On mesure l'éclairement  $E$  de la pellicule en fonction du nombre d'ouverture  $N$  grâce à un luxmètre.

Les valeurs obtenues sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Nombre d'ouverture $N$	2,8	4	5,6	8	11	16	22
Eclairement $E$ (lux)	349	165	85	45	22	11	5,4
Carré du diamètre du diaphragme circulaire $D^2$ ( $\text{mm}^2$ )							

1. Reproduire le tableau et en compléter la dernière ligne à partir des valeurs de  $N$ .
2. Tracer le graphe  $E = f(D^2)$  sur une feuille de papier millimétré.
3. En déduire la relation liant l'éclairement  $E$  au carré du diamètre de la pupille d'entrée  $D^2$ .
4. Pour l'ensemble des valeurs de  $N$ , calculer le rapport des éclairements reçus pour deux valeurs successives de  $N$ , par exemple 2,8 et 4 puis 4 et 5,6 etc...  
Donner la moyenne des valeurs obtenues.  
En déduire comment varie l'éclairement du film quand on passe d'un nombre d'ouverture au suivant.
5. Les durées d'exposition disponibles, exprimées en seconde, sont :  
1/1000 ; 1/500 ; 1/250 ; 1/125 ; 1/60 ; 1/30 ; 1/15 ; 1/8 ; 1/4 ; 1/2 ; 1 ; 2  
Pour quelle raison a-t-on choisi ces valeurs ?  
En déduire ce que doit faire un photographe qui désire diminuer le champ tout en conservant la même exposition à sa photographie.

#### **D. Téléobjectif :**

Le téléobjectif est caractérisé par une distance focale plus importante que l'objectif classique.

Un téléobjectif est assimilé à un doublet de lentilles minces  $L_1$  et  $L_2$  de centres optiques respectifs  $O_1$  et  $O_2$ . Sa distance focale image  $f'$  est égale à 320 mm. Le foyer principal image  $F'$  est réel et il est situé à 120 mm de  $O_2$ . La distance  $O_1O_2$  séparant les deux lentilles est égale à 50 mm. On note  $H'$  l'intersection du plan principal image et de l'axe optique. On a  $\overline{O_2H'} = -200$  mm.

1. Construire, en effectuant un schéma à l'échelle 1/2 sur une feuille de papier millimétré, le foyer principal image de  $L_1$  puis le foyer principal image de  $L_2$ .
2. Coter sur le schéma les distances focales  $f'_1$  et  $f'_2$  des deux lentilles.
3. Quel est l'intérêt principal de cet objectif par rapport à un objectif de même distance focale et qui ne comprendrait qu'une seule lentille ?

## II) Optique physique : couche antireflet (8 points)

Pour augmenter le flux lumineux transmis par l'objectif d'un appareil photographique, on traite les surfaces des lentilles qui le constituent par dépôt d'une couche mince.

On étudie ici les phénomènes produits en réflexion par une lame à faces parallèles. On utilise ensuite les résultats de cette étude pour expliciter le traitement antireflet d'un objectif.

1. On éclaire, sous incidence quasi normale  $i$ , à l'aide d'une source étendue monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$ , une lame de verre à faces parallèles d'indice  $n$  et d'épaisseur  $e$ . Cette lame est placée dans l'air. On étudie les interférences produites par les ondes réfléchies. Le système est schématisé sur la figure 1 où l'angle d'incidence  $i$  et l'angle  $r$  n'ont pas été représentés à l'échelle. Dans cette modélisation simplifiée, on ne tient compte que des deux premiers rayons réfléchis.

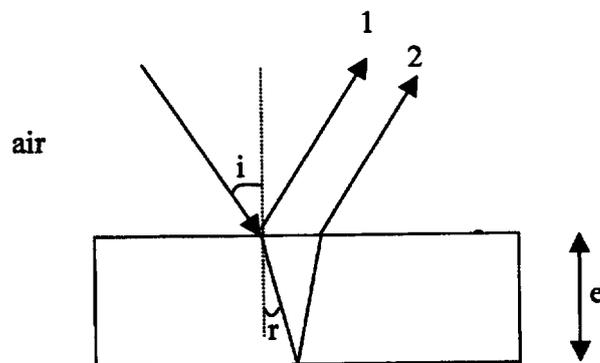


Figure 1

- 1.1. Les interférences obtenues sont dites localisées à l'infini. Justifier.
- 1.2. Les franges d'interférence observées ont la forme d'anneaux. Justifier.
- 1.3. Donner l'expression de la différence de marche géométrique entre les deux premiers rayons réfléchis en fonction de  $n$ ,  $e$  et de  $r$ .
- 1.4. Doit-on tenir compte d'une différence de marche supplémentaire de  $\frac{\lambda}{2}$  dans le cas étudié ? Justifier la réponse.

2. On dépose par vaporisation sous vide une couche mince d'un diélectrique transparent d'indice  $n_1$  sur un substrat plan en verre d'indice  $n_2$  avec  $n_2 > n_1 > 1$ . Cette couche est d'épaisseur constante  $e$ . Une source étendue et monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$  éclaire la couche sous une incidence quasi normale (voir figure 2). L'angle d'incidence  $i$  sur cette figure n'a pas été représenté à l'échelle.

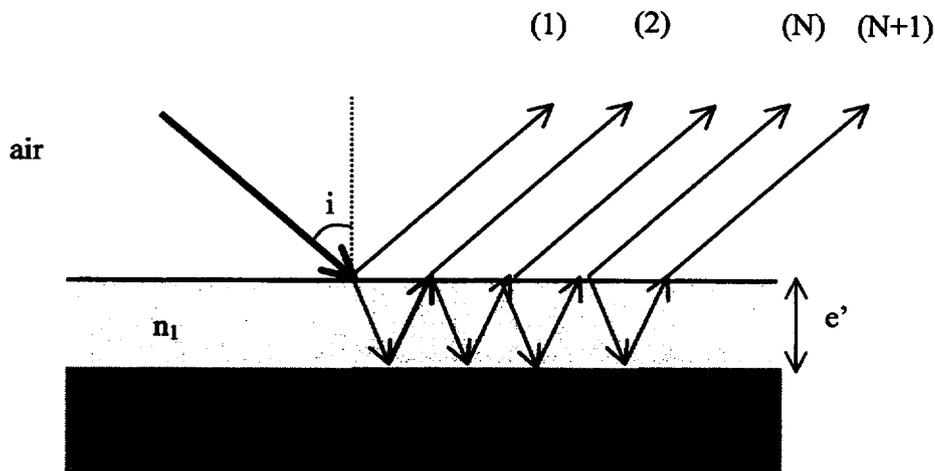


Figure 2

- 2.1. Exprimer le coefficient de réflexion en intensité pour le dioptre air-diélectrique, et pour le dioptre diélectrique-verre, en fonction de  $n_1$  et de  $n_2$ .
- 2.2. Les calculer pour  $n_1 = 1,35$  et  $n_2 = 1,52$ .
- 2.3. Exprimer, sans démonstration, le déphasage  $\varphi$  entre les deux ondes associées aux rayons (1) et (2) représentés sur la figure 2 (on admettra qu'on peut négliger la contribution à l'intensité lumineuse des rayons réfléchis successifs à partir du troisième rayon réfléchi).
- 2.4. À quelle condition doit satisfaire le déphasage  $\varphi$  pour que l'intensité réfléchie  $I$  soit minimale ? En déduire la plus petite valeur possible de l'épaisseur  $e'$  de la couche mince en fonction de  $\lambda$  et  $n_1$ .
- 2.5. Exprimer l'intensité réfléchie minimale  $I_{\min}$  en fonction des intensités  $I_1$  et  $I_2$  associées respectivement aux rayons (1) et (2). On rappelle l'expression générale :  $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi$ .  
On suppose que le coefficient de transmission en intensité du premier dioptre  $T$  vaut 1 pour simplifier. Dans ces conditions, montrer que  $I_{\min}$  est nulle si  $n_1 = \sqrt{n_2}$ .
- 2.6. On utilise du fluorure de magnésium d'indice  $n_1 = 1,35$  pour réaliser la couche. Comparer le coefficient de réflexion en intensité du système (couche, substrat) au coefficient de réflexion en intensité du verre seul. Conclure.