



SERVICES CULTURE ÉDITIONS  
RESSOURCES POUR  
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la  
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

**Campagne 2012**

# BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR GÉNIE OPTIQUE

## Option OPTIQUE INSTRUMENTALE

### Épreuve de PHYSIQUE APPLIQUÉE

#### Sous-épreuve U42 : PHYSIQUE

SESSION 2012

Durée 2 heures 30

coefficient 2,5

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

#### 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 : 8 pages numérotées de 1/8 à 8/8*

**Documents à rendre avec la copie :**

**DOCUMENT RÉPONSE ..... page 8/8**

BTS GÉNIE OPTIQUE OPTION OPTIQUE INSTRUMENTALE	<b>SUJET</b>	SESSION 2012
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYOI	Page : 1/8

# ÉTUDE D'UN ENDOSCOPE INDUSTRIEL

Les endoscopes sont très employés dans l'industrie pour observer des endroits inaccessibles autrement. On peut citer l'inspection des réservoirs d'avion ou des circuits d'eau dans les centrales nucléaires.

Le tube de l'endoscope comporte un objectif, un système optique transportant l'image objective (association de lentilles ou fibre optique) et un oculaire.

La lumière nécessaire à l'observation est conduite jusqu'à l'objet par un guide de lumière parallèle au tube endoscopique.

Le sujet se compose de quatre parties.

**Partie A : Étude de l'objectif et de l'oculaire seuls**

**Partie B : Transport de l'image donnée par l'objectif**

**Partie C : Guide de lumière par fibre optique**

**Partie D : Traitement antireflet des verres**

**Toutes les parties peuvent être traitées indépendamment les unes des autres.**

## **PARTIE A : ÉTUDE DE L'OBJECTIF ET DE L'OCULAIRE SEULS (5 points)**

On assimile l'objectif et l'oculaire à des lentilles minces convergentes  $L_{ob}$  et  $L_{oc}$ . L'objet AB, assimilé à un segment de droite perpendiculaire à l'axe optique (A sur l'axe), est placé, pour les conditions standards d'utilisation, à 50 mm devant le centre optique  $O_{ob}$  de  $L_{ob}$ .

### Données :

- Distance focale de l'objectif  $L_{ob}$  :  $f'_{ob} = \overline{O_{ob}F'_{ob}} = 10,0$  mm
- Distance focale de l'oculaire  $L_{oc}$  :  $f'_{oc} = \overline{O_{oc}F'_{oc}} = 20,0$  mm
- Distance minimale de vision distincte :  $d_m = 250$  mm (Ponctum Proximum)
- Distance objectif-oculaire :  $\overline{O_{ob}O_{oc}} = 32,5$  mm
- Chaîne de conjugués du système :



1. En calculant  $\overline{O_{ob}A_1}$ , déterminer la position de l'image  $A_1B_1$  donnée par l'objectif.

2. Calculer le grandissement  $\gamma$ .

L'image  $A_1B_1$  est observée à travers l'oculaire.

3. Pour un œil emmétrope effectuant une observation sans accommodation, indiquer la place de  $A_1$  par rapport à l'oculaire.

BTS GÉNIE OPTIQUE OPTION OPTIQUE INSTRUMENTALE	<b>SUJET</b>	SESSION 2012
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYOI	Page : 2/8

On définit le grossissement commercial  $G_c$  de l'appareil par  $\frac{\alpha'}{\alpha}$ , avec :

$\alpha'$  diamètre apparent de l'image observée à travers l'appareil,  
 $\alpha$  diamètre apparent de l'objet situé à la distance minimale de vision distincte.

4. Exprimer  $\alpha$  en fonction de  $AB$  et  $d_m$  ; exprimer  $\alpha'$  en fonction de  $A_1B_1$  et  $f'_{oc}$  ; calculer alors  $G_c$ .

On admet que l'observateur, par la faculté d'accommodation de son œil, perçoit nettes les images situées de l'infini (Punctum Remotum PR) à 250 mm (Punctum Proximum PP) de son œil.

Soit  $A_R$  la position de l'objet lorsque l'image finale se situe au Punctum Remotum.

Chaîne de conjugués :  $A_R \xrightarrow{L_{ob}} A_{R1} \xrightarrow{L_{oc}} A_R' \equiv PR$

Le signe  $\equiv$  correspond à « confondu avec »

On donne :  $A_{R1} \equiv F_{oc}$  et  $\overline{F_{ob}A_R} = -40$  mm

Soit  $A_P$  la position de l'objet lorsque l'image finale se situe au Punctum Proximum.  
 On considérera l'œil placé en  $F'_{oc}$ .

Chaîne de conjugués :  $A_P \xrightarrow{L_{ob}} A_{P1} \xrightarrow{L_{oc}} A_P' \equiv PP$

5. Déterminer  $\overline{F_{oc}A_{P1}}$ .

6. Déterminer  $\overline{F_{ob}A_P}$ .

7. En déduire la profondeur de champ  $\overline{A_P A_R}$ .

### **PARTIE B : TRANSPORT DE L'IMAGE DONNÉE PAR L'OBJECTIF (6 points)**

Dans certains modèles d'endoscope, pour allonger la distance entre l'objet et l'oculaire, on intercale une association de lentilles entre l'objectif et l'oculaire.

Cette association de lentilles est une série composée d'un nombre pair  $2p$  (avec  $p$  entier) de lentilles  $L$  convergentes identiques. Ces lentilles de distance focale  $f'$  sont placées de telle sorte que le foyer image de l'une soit confondu avec le foyer objet de la suivante.

L'image  $A_1$  donnée par l'objectif est placée au foyer objet  $F_1$  de la première lentille de cette association. On note  $A_3B_3$  l'image de  $A_1B_1$  donnée par les deux premières lentilles et  $A_5B_5$  l'image de  $A_1B_1$  donnée par les quatre premières lentilles.

- Chaîne de conjugués du système :

$AB \xrightarrow{L_{ob}} A_1B_1 \xrightarrow{L_1} A_2B_2 \xrightarrow{L_2} A_3B_3 \xrightarrow{L_3} A_4B_4 \xrightarrow{L_4} A_5B_5 \dots A_{2p+1}B_{2p+1} \xrightarrow{L_{oc}} A'B'$   
 $[F_1]$

1. Placer les foyers objet et image des quatre premières lentilles de l'association sur **le document réponse page 8 à rendre avec la copie.**

2. Où se situe le conjugué  $A_2B_2$  puis les conjugués  $A_3B_3$ ,  $A_4B_4$  et  $A_5B_5$  ?

3. Placer les conjugués  $A_3B_3$  et  $A_5B_5$  sur **le document réponse**.

4. En prolongeant les rayons issus de  $B_1$  à travers tout le système sur **le document réponse**, indiquer en hachurant, la partie du faisceau qui ne traverse pas la totalité du système.

Les conduits à explorer avec l'endoscope sont rarement rectilignes. L'endoscope est donc flexible.

5. Comment évolue la quantité de lumière perdue lorsque l'on augmente la courbure de l'endoscope ? Quelle est la conséquence sur l'image observée ?

On utilise 34 lentilles semblables ( $p = 17$ ) de distance focale  $f' = 15$  mm.

6. Quel est le sens de l'image  $A'B'$  lors de l'observation à travers l'appareil complet (objectif, association de lentilles et oculaire) ?

À cause principalement des réflexions secondaires sur les dioptres air-verre, une lentille ne laisse passer qu'une fraction  $T$  de la lumière.

7. Pour une lentille ordinaire,  $T = 0,90$ . Quel pourcentage de la lumière incidente récupère-t-on après le passage à travers 34 lentilles ?

8. En réalité, ce pourcentage est de l'ordre de 87 %. Quel est le traitement sur les lentilles qui permet d'atteindre cette valeur ?

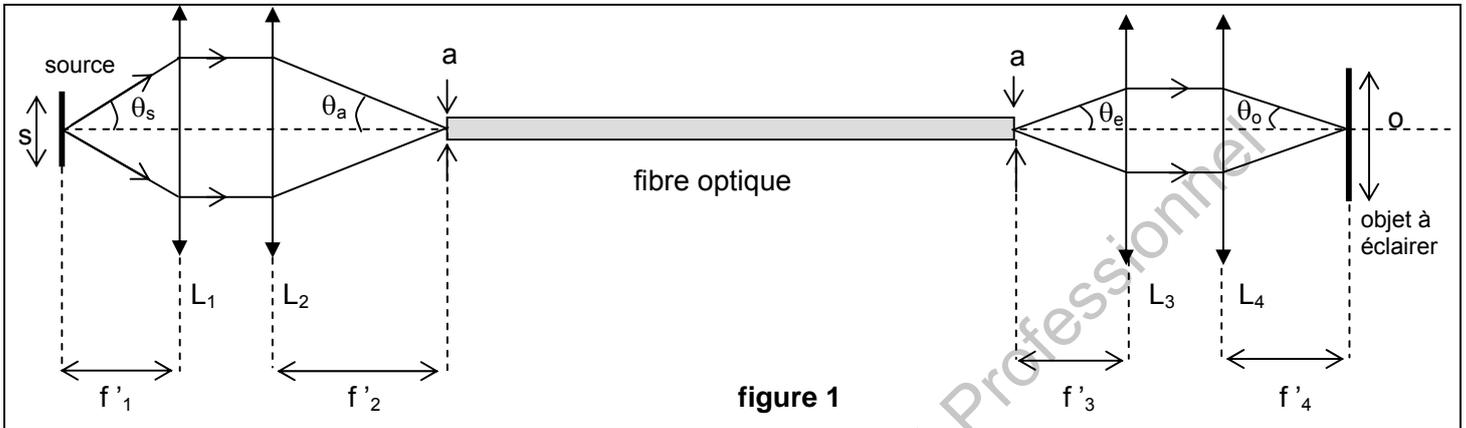
Dans les modèles plus récents, l'association de lentilles pour transporter l'image est remplacée par un ensemble de fibres optiques.

9. Citer deux avantages présentés par les fibres optiques par rapport à l'association de lentilles.

BTS GÉNIE OPTIQUE OPTION OPTIQUE INSTRUMENTALE	<b>SUJET</b>	SESSION 2012
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYOI	Page : 4/8

## PARTIE C : GUIDE DE LUMIÈRE PAR FIBRE OPTIQUE (4 points)

Pour observer un objet par endoscopie, il est parfois nécessaire de l'éclairer. Dans cette partie, on étudie la fibre optique qui permet d'amener la lumière d'une source jusqu'à l'objet à éclairer. La **figure 1** ci-dessous montre comment on utilise une fibre optique entre une source lumineuse et un objet à éclairer. Aux extrémités de la fibre, deux systèmes optiques afocaux formés de deux lentilles plan-convexes, assurent la liaison entre la source et l'objet à éclairer.



### Données :

On note la taille de la source  $s$ , le diamètre de la fibre optique  $a$  et la taille de l'objet  $o$ .

On note  $f'_1$ ,  $f'_2$ ,  $f'_3$  et  $f'_4$  les distances focales images respectives des lentilles  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  et  $L_4$ .

On rappelle la relation de Lagrange-Helmholtz :  $n \cdot \overline{AB} \cdot \sin \theta = n' \cdot \overline{A'B'} \cdot \sin \theta'$

1. Le système étant aplanétique, montrer que, dans l'approximation des petits angles, on a les relations

$$\text{suyvantes : } \frac{a}{s} = \frac{\theta_s}{\theta_a} \text{ et } \frac{o}{a} = \frac{\theta_e}{\theta_o} .$$

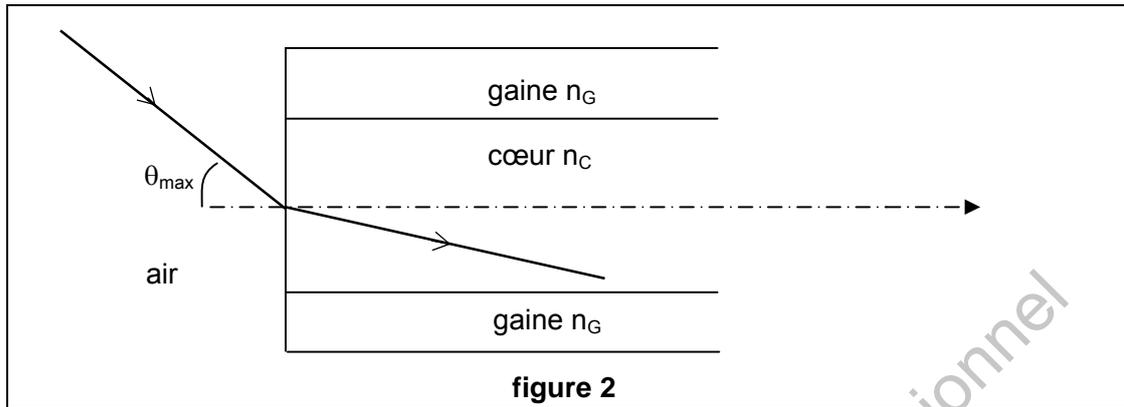
2. À l'aide de la figure 1, montrer que :  $s = \frac{f'_1}{f'_2} \cdot a$  et  $o = \frac{f'_4}{f'_3} \cdot a$

3. En considérant que le diamètre de la fibre optique est  $a = 2,0 \text{ mm}$ , déterminer la taille maximale  $s$  de la source à utiliser si  $\frac{f'_1}{f'_2} = 5,0$ .

4. Déterminer la taille  $o$  de l'objet que l'on peut éclairer si on utilise un système optique tel que  $\frac{f'_4}{f'_3} = 10$ .

BTS GÉNIE OPTIQUE OPTION OPTIQUE INSTRUMENTALE	<b>SUJET</b>	SESSION 2012
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYOI	Page : 5/8

On considère que la fibre optique est une fibre à saut d'indice (**figure 2**) constituée par un cœur d'indice  $n_C = 1,50$  et une gaine d'indice  $n_G = 1,48$ .



Donnée :

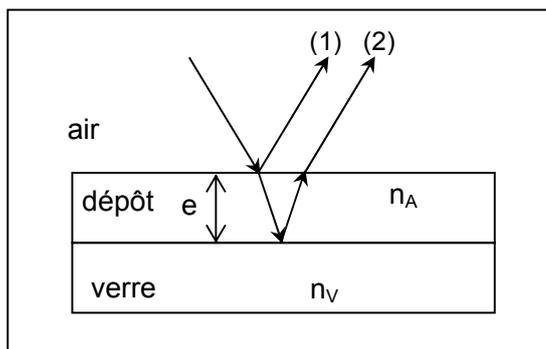
L'ouverture numérique de la fibre optique est donnée par  $ON = \sin \theta_{\max} = \sqrt{n_C^2 - n_G^2}$   
 où  $\theta_{\max}$  est l'angle d'acceptance.

5. Expliquer, sans calcul, comment se propage la lumière dans une telle fibre.
6. À quoi correspond physiquement l'angle d'acceptance ?
7. Calculer l'angle d'acceptance de cette fibre.

**PARTIE D : TRAITEMENT ANTIREFLET DES VERRES (5 points)**

Les lentilles composant l'endoscope sont taillées dans un verre d'indice  $n_V = 1,52$ . Afin d'améliorer le coefficient de transmission de l'endoscope, chaque dioptré des lentilles composant l'endoscope a été traité antireflet par le dépôt d'une couche mince de cryolithe d'indice  $n_A = 1,35$ .

On rappelle le schéma de principe du traitement antireflet sur la **figure 3** ci-dessous : un dépôt sur le verre substrat.



**figure 3**

1. Quel est le principe physique du traitement antireflet ?

Le dépôt est réalisé pour que le traitement antireflet soit optimal pour le maximum de sensibilité de l'œil humain.

2. Quelle est la valeur de la longueur d'onde du maximum de sensibilité de l'œil humain ?

3. Exprimer la différence de marche  $\delta$  entre les rayons (1) et (2) en incidence normale. Faut-il tenir compte d'une différence de marche supplémentaire due aux réflexions ? Justifier.

4. En déduire que le déphasage  $\varphi$  correspondant est donné par  $\varphi = \frac{4 \cdot \pi \cdot n_A \cdot e}{\lambda}$ .

5. Quelle condition doit respecter le déphasage pour respecter la fonction antireflet ?

6. Établir l'expression de l'épaisseur  $e$  de cryolithe à déposer.

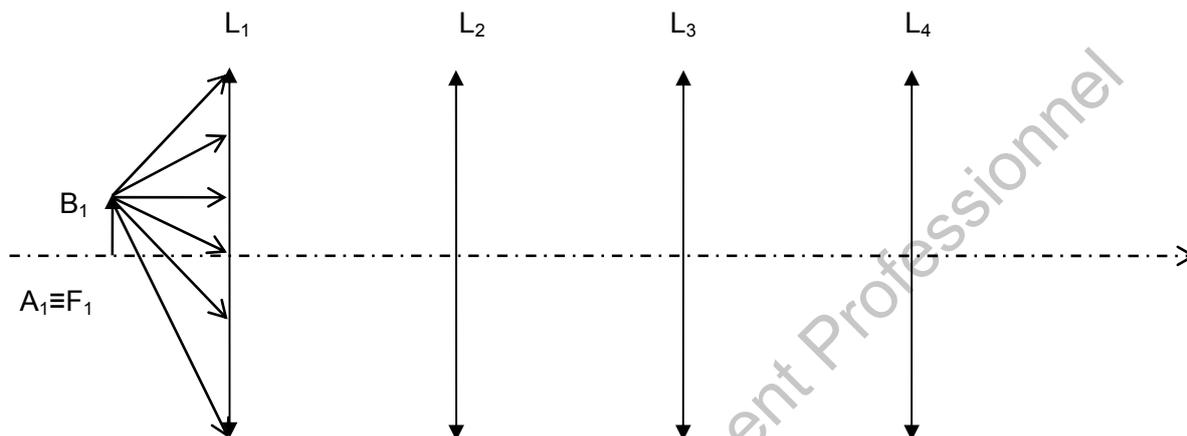
7. Calculer l'épaisseur minimale  $e_0$  de cryolithe à déposer.

8. Si l'épaisseur du dépôt est trop importante, tout en étant un multiple de  $e_0$ , le dépôt perd sa propriété d'antireflet. Expliquer pourquoi.

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel  
Réseau SCEREN

BTS GÉNIE OPTIQUE OPTION OPTIQUE INSTRUMENTALE	<b>SUJET</b>	SESSION 2012
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYOI	Page : 7/8

# DOCUMENT RÉPONSE À RENDRE AVEC LA COPIE



Base Nationale de l'Enseignement Professionnel  
Réseau SCEREN

BTS GÉNIE OPTIQUE OPTION OPTIQUE INSTRUMENTALE	<b>SUJET</b>	SESSION 2012
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYOI	Page : 8/8