

# BTS OPTICIEN LUNETIER

## OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE ET PHYSIQUE – U.42

### SESSION 2019

—————  
Durée : 2 heures  
Coefficient : 3  
—————

L'usage de tout modèle de calculatrice, avec ou sans mode examen, est autorisé.

Tout autre matériel est interdit.

**Documents à rendre à la copie :**

- document-réponse (4 schémas) .....page 7/7.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.  
Le sujet comporte 7 pages numérotées, de 1/7 à 7/7.

BTS OPTICIEN LUNETIER		Session 2019
Optique géométrique et physique – U. 42	Code : OLOGPH	Page : 1/7

Le sujet se compose de trois parties.

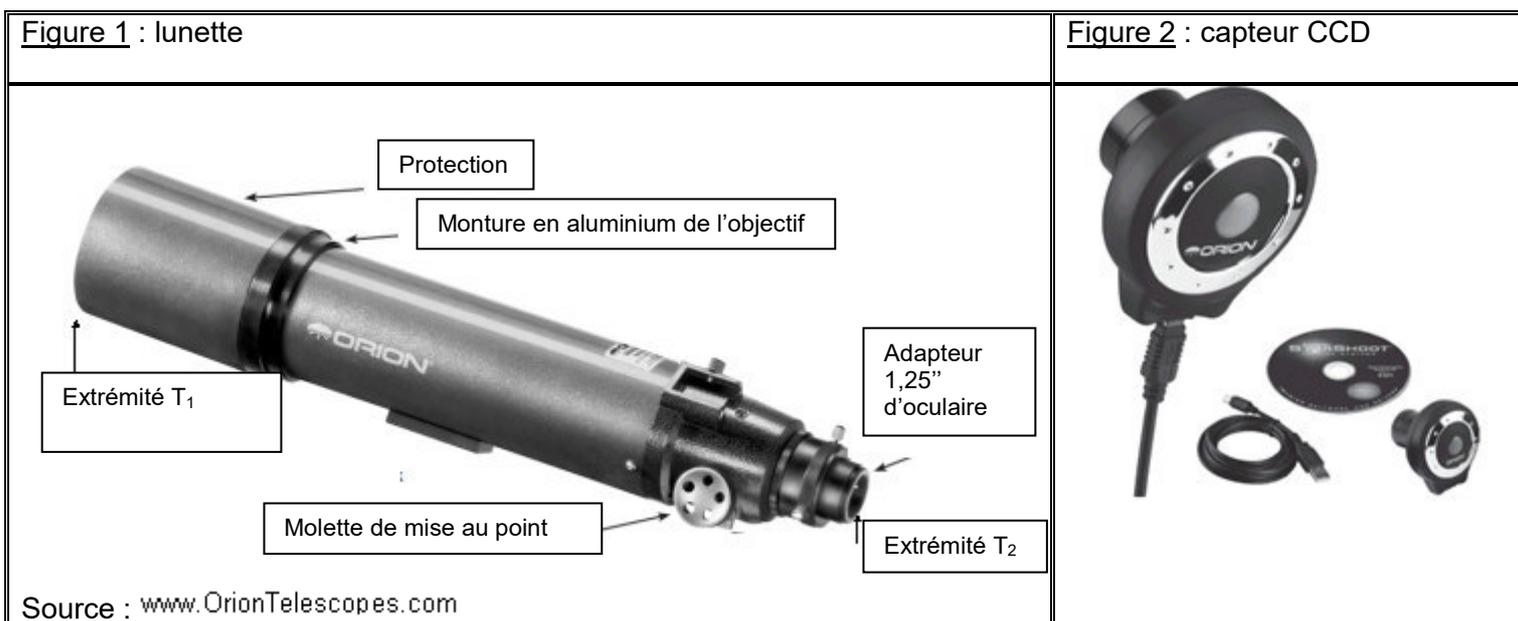
PARTIE 1 - Étude de l'objectif de la lunette.

PARTIE 2 - Système d'astrophotographie {objectif+capteur CCD}.

PARTIE 3 - Utilisation - Photographie de la Lune.

## Système d'astrophotographie

Un client amateur d'astronomie souhaite réaliser des photographies lunaires et planétaires. Il recherche un capteur CCD à associer à la lunette qu'il possède déjà (figure 1). Le capteur CCD doit être adapté pour réaliser des photographies sans perte de résolution de l'ensemble. Il doit être également uniformément éclairé. La figure 2 représente le capteur proposé par le vendeur. De plus, le client veut acquérir un ou plusieurs filtres lui permettant de photographier la Lune, quelque soit sa phase, sans risque d'éblouissement.



On rappelle que 1" (un pouce) = 25,40 mm.

### PARTIE 1 - Étude de l'objectif de la lunette

La lunette étudiée est une lunette « ORION 80 mm » ;  $f / 7,50$  ; ED (Extra low Dispersion) dont les caractéristiques sont :

Tube : aluminium.

Diamètre de l'objectif (diamètre de la pupille d'entrée) :  $D_{PE} = 80,0$  mm (3,1").

Objectif : doublet achromatique, élément arrière taillé dans un verre ED, gap d'air.

Revêtement de l'objectif : entièrement traité multi-couches V.

Distance focale image : 600 mm.

Nombre d'ouverture :  $N = 7,50$ .

Concentrateur : Crayford, acceptant des accessoires et capteur ccd T-ring.

Poids : 5 lbs 11 oz. = 2,58 kg.

Longueur du tube :  $T_1 T_2 = 597$  mm.

Source : [www.OrionTelescopes.com](http://www.OrionTelescopes.com)

**1.1.** L'objectif est un doublet constitué des lentilles ( $L_1$ ) et ( $L_2$ ), supposées minces. Elles sont séparées par un faible espace (gap) d'air, négligeable dans la suite de l'étude. La lentille ( $L_1$ ) est taillée dans un verre type S-NBM51, de nombre d'Abbe  $v_{d1}$  et la lentille ( $L_2$ ) est taillée dans un verre de type S-FPL53, de nombre d'Abbe  $v_{d2}$ . Les caractéristiques de ces verres sont fournies en **ANNEXE 1**.

1.1.1. On rappelle que le nombre d'ouverture d'un objectif est,  $N = \frac{f'}{D_{PE}}$  où  $f'$  est la distance focale image de l'objectif et  $D_{PE}$  le diamètre de la pupille d'entrée. Vérifier que la distance focale image de l'objectif est cohérente avec la valeur correspondante dans le tableau des caractéristiques de la lunette. Montrer que la vergence  $V$  de l'objectif est égale à  $1,67 \delta$ .

1.1.2. Étude de la dispersion.

Le nombre d'Abbe (Abbe number donné en **ANNEXE 1**), caractérisant la dispersion d'un matériau transparent s'écrit :  $v_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C}$

où  $n_d$ ,  $n_F$  et  $n_C$  sont trois indices correspondant à trois longueurs d'onde différentes, correspondant à des couleurs, dans l'ordre, jaune, bleue et rouge.

1.1.2.1. Après avoir cherché et noté les indices  $n_d$ ,  $n_F$  et  $n_C$ , dans l'**ANNEXE 1**, pour le matériau S-FPL53, vérifier par le calcul que le nombre d'Abbe  $v_{d2}$  est 95,0.

1.1.2.2. La spécification de la lunette est ED pour « Extra Low Dispersion » (verre à très faible dispersion). Identifier le verre ED parmi les matériaux S-FPL53 et S-NBM51. Justifier la réponse.

1.1.3. L'étude optique de l'objectif conduit à écrire le système d'équations suivant :

$$\begin{aligned} V &= V_1 + V_2 \\ V_{d2} \cdot V_1 + V_{d1} \cdot V_2 &= 0 \end{aligned}$$

où  $V_1$  est la vergence de la lentille ( $L_1$ ) et  $V_2$ , celle de la lentille ( $L_2$ ). Quelles propriétés du doublet permettent d'écrire chaque équation ?

1.1.4. Calculer  $V_1$  et  $V_2$ , en utilisant les nombres d'Abbe de l'**ANNEXE 1**.

1.1.5. Préciser le nom du matériau de la lentille divergente, en justifiant votre réponse.

**1.2.** Limite de résolution liée à la diffraction.

Calculer la limite de résolution  $\alpha_{\min, \text{diff}}$  liée à la diffraction, due à la monture de l'objectif, pour la longueur d'onde dans le vide  $\lambda = 555 \text{ nm}$ .

On rappelle que :  $\alpha_{\min, \text{diff}} = 1,22 \times \frac{\lambda}{D_{PE}}$

## PARTIE 2 - Système d'astrophotographie {objectif+capteur CCD}

Dans la suite du sujet, l'objectif sera modélisé par ses plans principaux objet [H] et image [H'] ainsi que par ses foyers objet F et image F'.

On considérera un interstice  $\overline{HH'} = 5,00 \text{ mm}$ .

- 2.1. Sachant que l'objet est considéré comme à l'infini, préciser la position du capteur par rapport à l'objectif.
- 2.2. Étude des champs.

On veut s'assurer que le capteur est intégralement compris dans le champ de pleine lumière. On considère que l'extrémité T<sub>1</sub> du tube est le diaphragme d'ouverture (DO) de diamètre  $2R_o = 80,0 \text{ mm}$ . À l'autre extrémité T<sub>2</sub> du tube, l'adaptateur d'accessoires, qui est diaphragme de champ (DC), a un diamètre  $2R_D = 31,8 \text{ mm}$ . L'extrémité T<sub>1</sub> se situe à 100 mm devant le plan principal objet [H] de l'objectif :  $\overline{HT_1} = -100 \text{ mm}$ . L'espace de travail est l'espace image.

2.2.1. Montrer que  $\overline{F'T_2} = -108 \text{ mm}$ .

2.2.2. Montrer que la position de la pupille de sortie du système P<sub>s</sub>, image de (DO) par l'objectif, est telle que  $\overline{F'P_s} = -720 \text{ mm}$  et que son rayon R<sub>PS</sub> est égal à 48,0 mm.

2.2.3. Placer le plan des champs sur le **schéma 1**, du **document réponse**.

2.2.4. Sur ce même **schéma 1**, représenter le rayon  $r'_{PL}$  du champ de pleine lumière et déterminer graphiquement sa valeur.

2.2.5. Vérifier par le calcul que  $r'_{PL} = 10,2 \text{ mm}$ .

2.2.6. En utilisant les caractéristiques du capteur en **ANNEXE 2**, vérifier qu'il est entièrement et uniformément éclairé.

*Le candidat est invité à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.*

2.3. Résolution du système d'astrophotographie.

2.3.1. La limite de résolution sur le capteur est  $a' = 3,6 \mu\text{m}$ . Vérifier que la limite de résolution liée au capteur, dans l'espace objet de l'objectif,  $\alpha_{\text{min,capt}}$ , est égale à  $6,0 \times 10^{-6} \text{ rad}$ .

2.3.2. On rappelle que la limite de résolution  $\alpha_{\text{min,diff}}$  liée à la diffraction, due à la monture de l'objectif, est de  $8,46 \times 10^{-6} \text{ rad}$ .

Est-ce la diffraction ou le capteur qui limite la résolution ? Justifier.

2.4. Justifier la bonne ou la mauvaise adaptation du capteur CCD proposé au client compte tenu de ses souhaits.

## PARTIE 3 - Utilisation - Photographie de la Lune

La Lune est le satellite naturel de la Terre. Elle diffuse la lumière solaire et, même à ses phases partielles, elle est intensément lumineuse. Le reflet empêche de voir la plupart des cratères, des crevasses et des autres détails de la surface lunaire. Aussi, il est nécessaire d'utiliser un filtre polarisant variable qui sera intercalé grâce à un filetage adapté entre le tube et le capteur CCD.



Le client opte pour un dispositif polarisant. Il se compose de deux lames en verre polarisé ( $P_1$ ) et ( $P_2$ ). On considère que ( $P_1$ ) a une direction fixe et que l'on peut modifier la direction de ( $P_2$ ) en tournant la bague du dispositif.

3.1. Sur le **schéma 2**, du **document-réponse**, représenter la direction de polarisation de ( $P_2$ ) mobile par rapport à celle de ( $P_1$ ) fixe, pour une transmission minimale.

3.2. Sur le **schéma 3**, du **document-réponse**, représenter la direction de polarisation de ( $P_2$ ) par rapport à celle de ( $P_1$ ) fixe, pour une transmission maximale.

3.3. Le client veut déterminer l'angle  $\beta$  formé par les directions de ( $P_1$ ) et de ( $P_2$ ) tel que la transmission  $T$  soit égale à 13 %, pour obtenir une image optimale. Soit  $\phi$  le flux lumineux incident,  $\phi_1$  le flux lumineux après ( $P_1$ ) et  $\phi_2$  le flux lumineux après ( $P_2$ ).  $\phi_2$  est donc le flux lumineux transmis par le filtre polarisant variable (figure 3, ci-contre).

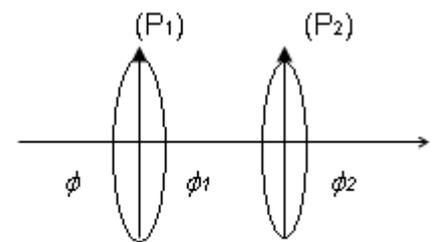


Figure 3 : filtre polarisant variable

3.3.1. Écrire la relation entre  $T$ ,  $\phi$  et  $\phi_2$ .

3.3.2. Écrire la relation existant entre  $\phi_1$  et  $\phi_2$ , (loi de Malus). On considèrera le polariseur  $P_2$  comme parfait.

3.3.3. Dédurre, alors, des deux questions précédentes, la valeur de l'angle  $\beta$  correspondant à  $T = 13 \%$ . Comme le polariseur ( $P_1$ ) est supposé parfait, on rappelle que  $\phi_1 = 0,50 \phi$ .

3.3.4. Il est mentionné dans les caractéristiques du filtre polarisant variable l'existence d'un revêtement constitué de  $MgF_2$  pour réduire les réflexions.

3.3.4.1. Préciser le principe physique permettant de réduire les réflexions et compléter le **schéma 4**, du **document-réponse**.

3.3.4.2. Dans le cas d'une incidence quasi-normale de la lumière, montrer que l'épaisseur minimale  $e_{min}$  de fluorure de magnésium  $MgF_2$  à déposer s'écrit :

$$e_{min} = \frac{\lambda}{4n_{MgF_2}}$$

indice  $n_{MgF_2} = 1,38$  (inférieur à l'indice du substrat)

Calculer  $e_{min}$  pour la longueur d'onde dans le vide  $\lambda = 555 \text{ nm}$ .

*Le candidat est invité à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti.  
La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.*

<b>BTS OPTICIEN LUNETIER</b>		<b>Session 2019</b>
Optique géométrique et physique – U. 42	Code : OLOGPH	Page : 5/7

## ANNEXE 1 - Caractéristiques des matériaux S-FPL53 et S-NBM51

### Matériau : S-NBM51

Refractive indices			Abbe Number : 44,3
Names	$\lambda(\mu\text{m})$	Indices	
$n_t$	1,01	1,59841	
$n_d$	0,588	1,61340	
$n_s$	0,852	1,60206	
$n_F$	0,486	1,62311	
$n_C$	0,656	1,60925	

### Matériau : S-FPL53

Refractive indices			Abbe Number : 95,0
Names	$\lambda(\mu\text{m})$	Indices	
$n_t$	1,01	1,43346	
$n_d$	0,588	1,43875	
$n_s$	0,852	1,43480	
$n_F$	0,486	1,44195	
$n_C$	0,656	1,43733	

Source : Ohara Inc

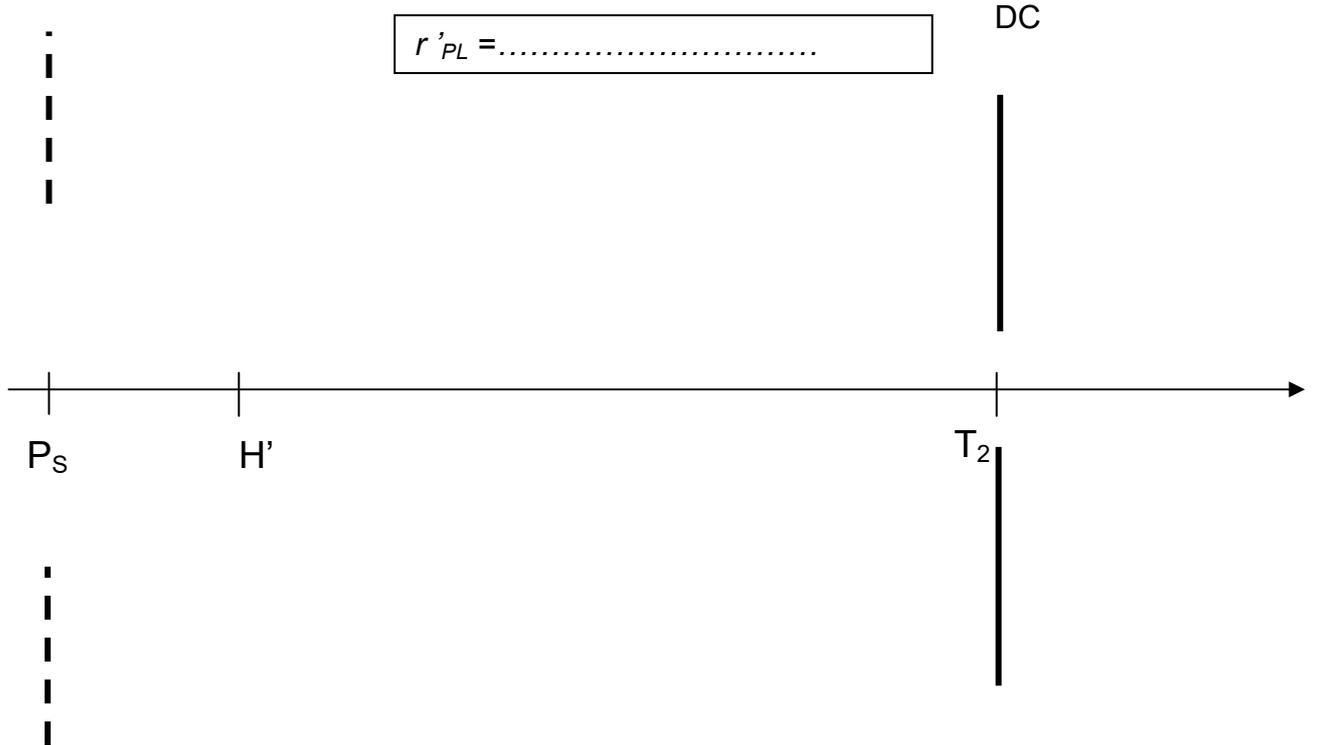
## ANNEXE 2 - Capteur CCD

<b>Caractéristiques techniques</b>	
Capteur	Capteur CMOS Micron couleur
Taille du capteur	
Nombre de pixels	Affichage 1280x1024 pixels ; résolution de 1,3 mégapixels (Windows)
Taille de pixel	3.6 $\mu\text{m}$ x 3.6 $\mu\text{m}$
Fréquence d'images vidéo	Jusqu'à 15 images / seconde en pleine résolution
Conversion A/D	8 bits
Filtre IR	Oui
Connexion	USB 2.0 haut débit
Barillet	Filetage 1,25" (31,75 mm) pour les filtres.

Source : [www.orionTelescopes.com](http://www.orionTelescopes.com)

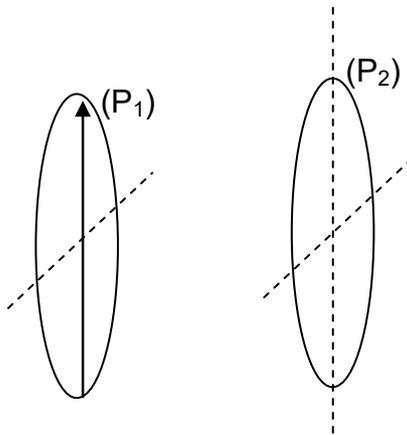
**DOCUMENT-RÉPONSE (à rendre à la copie)**

**schéma 1 : étude du champ de pleine lumière image**

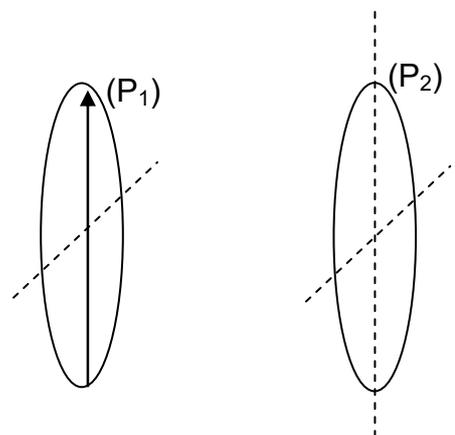


Échelle axiale : 1/5  
Échelle transversale : 1/2

**schéma 2 : transmission minimale**



**schéma 3 : transmission maximale**



**schéma 4 : principe physique réduisant les réflexions**

