Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
formav.co/explorer

BTS SYSTÈMES PHOTONIQUES • CORRIGÉ DÉTAILLÉ

Pré-étude et modélisation d’un système optique

Session 2018 • Code sujet : **SH41PEM** • Durée : **2,5 heures** • Coefficient : **2**

Sommaire

Cliquez sur une partie pour y accéder directement

1. **Choix de la lampe UHP et étude énergétique** (4 questions) — **Page 3**
2. **Filtre anti-UV et filtres de la roue colorée** (11 questions) — **Page 5**
3. **Diffraction de la matrice de micro-miroirs et mise en forme du faisceau** (6 questions) — **Page 9**
4. **Ce qu’il faut retenir & Questions fréquentes (FAQ)** (Synthèse & Q&A Examen) — **Page 12**

Sujet officiel (PDF) : https://btssp.fr/assets/annales/bts-sp/E4.1 - Pré-étude et modélisation d’un système optique/2018/BTS SP - E4.1 - Pré-étude et modélisation d’un système optique - Session 2018 - 1-Sujet.pdf

1. Choix de la lampe UHP et étude énergétique

Un vidéoprojecteur DLP utilise une lampe UHP à halogénures métalliques, dont le principal métal vaporisé est le mercure, pour éclairer une roue colorée et une matrice de micro-miroirs. Cette partie étudie le spectre de la lampe, la conversion des UV par un luminophore, puis le bilan de flux lumineux et les pertes énergétiques du système.

Spectre d'émission

Question 1.1. À l'aide des documents de l'annexe 1 et de vos connaissances sur la synthèse des couleurs dans un appareil de projection, justifier le choix d'une lampe à vapeur métallique UHP dans un paragraphe argumenté de quelques lignes.

La lampe UHP associe une durée de vie supérieure à 6 000 h, un IRC de 85 et une efficacité lumineuse de 40 à 90 lm/W. Son spectre comporte plusieurs raies dans le visible, notamment vers 435, 546, 578 et 640 nm. Les filtres de la roue peuvent donc sélectionner différentes composantes pour synthétiser les couleurs. À l'inverse, le sodium basse pression émet presque uniquement dans le jaune et restitue mal les couleurs. La lampe UHP offre ainsi un bon compromis pour la projection.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La lampe UHP offre un spectre visible étendu, un bon rendu des couleurs, une efficacité de 40 à 90 lm/W et une durée de vie supérieure à 6 000 h.

Question 1.2. Justifier quantitativement que le vanadate d'yttrium dopé à l'europium sert de luminophore : lorsqu'il subit une excitation, il émet de la lumière et convertit une grande partie du rayonnement UV en rayonnement correspondant aux grandes longueurs d'onde du visible et aux infrarouges.

Les longueurs d'onde associées aux transitions se calculent avec $\lambda = hc/|\Delta E|$. Pour l'absorption de $3,40\,\mathrm{eV}$, $\lambda \approx 365\,\mathrm{nm}$, dans l'ultraviolet. Pour l'énergie libérée de $1,94\,\mathrm{eV}$, $\lambda \approx 640\,\mathrm{nm}$, dans le rouge visible. Le matériau absorbe donc une excitation UV et réémet de la lumière visible : il joue bien le rôle de luminophore. Cette transition ne démontre toutefois pas une émission infrarouge ni ne quantifie la part du rayonnement convertie.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Excitation : environ 365 nm (UV). Émission calculée : environ 640 nm (rouge visible). La transition donnée n'établit pas une émission infrarouge.

Étude énergétique

Question 1.3. À l'aide de la figure 1 et du tableau des éléments optiques traversés, montrer que le flux lumineux émis par le vidéoprojecteur peut s'exprimer par ΦP = T¹² × TRC × R² × RM × ΦL.

Le flux transmis est le flux de la lampe multiplié successivement par les coefficients des éléments traversés. D'après le tableau, les transmissions associées aux faces indiquées se regroupent en T^{12}. La roue colorée apporte T_{RC}, le barreau intégrateur a une transmission unitaire, les deux miroirs apportent R^2, et la matrice contribue par R_M. Ainsi, $\Phi_P = T^{12} \times T_{RC} \times R^2 \times R_M \times T_i \times \Phi_L$. Comme $T_i = 1$, on obtient l'expression demandée.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Le flux projeté vaut $\Phi_P = T^{12} \times T_{RC} \times R^2 \times R_M \times \Phi_L$, puisque $T_i = 1$.

Question 1.4. Justifier par un calcul quantitatif de flux le choix de la lampe et la nécessité de la présence d'un système de refroidissement. Une évaluation des pertes exprimées en pourcentage est attendue.

Le flux de la lampe est $\Phi_L = 200 \times 45 = 9\,000\,\text{lm}$. Le facteur de transmission vaut $0,985^{12} \times 0,52 \times 1^2 \times 0,83 \approx 0,360$, soit environ 36,0 % du flux initial. Le vidéoprojecteur délivre donc environ $9\,000 \times 0,360 = 3\,240\,\text{lm}$, juste au-dessus des 3 200 lm requis. La perte de flux optique est d'environ 64 %. Cette perte photométrique n'est pas directement une puissance thermique, mais la lampe de 200 W dégage de la chaleur : les radiateurs sont nécessaires à son refroidissement.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Flux lampe : 9 000 lm. Flux projeté : environ 3 240 lm, supérieur aux 3 200 lm requis. Perte de flux optique : environ 64 %; refroidissement nécessaire.

2. Filtre anti-UV et filtres de la roue colorée

La partie étudie le positionnement et le choix du filtre anti-UV, puis les filtres interférentiels de la roue colorée à cinq secteurs du vidéoprojecteur. Les données et graphiques servent à examiner le fonctionnement de la cavité de Pérot-Fabry, l'effet de l'incidence et de l'ouverture numérique, ainsi que l'influence des filtres sur le rendu des couleurs.

Filtre anti-UV

Question 2.1. Choisir, dans l'annexe 2, le filtre adapté à la lampe UHP et justifier votre réponse.

Le filtre 2 est adapté : sa transmittance reste presque nulle sous environ 420 nm, donc il bloque les UV émis entre 200 et 350 nm. Il transmet presque tout le visible utile à la projection. Le filtre 1, lui, laisse passer une grande partie des UV et ne convient donc pas à cette protection.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Choisir le filtre 2 : il bloque les UV et transmet le visible.

Question 2.2 a). Pour la configuration inclinée du filtre anti-UV représentée en figure 4b, calculer l'angle α en degrés.

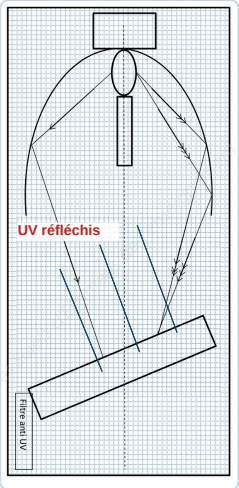
Sur la figure 4b, la demi-hauteur du filtre est de 1,65 cm, soit 16,5 mm. Le décalage horizontal indiqué vaut 6,26 mm. L'angle avec l'horizontale vérifie donc $\tan\alpha = 16,5/6,26$, d'où $\alpha \approx 69,2°$.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $\alpha \approx 69,2°$.

Question 2.2 b). Sur le document réponse DR1, construire les trois rayons ultraviolets réfléchis par la face avant du filtre anti-UV dans la configuration de la figure 4b.

À chacun des trois points de rencontre avec la face avant du filtre, tracer le rayon réfléchi symétrique du rayon incident par rapport à la normale à la surface. Les rayons réfléchis doivent être déviés hors de la direction de la lampe. Le schéma ci-dessous complète DR1 avec trois trajets réfléchis distincts.

DR1 complété : rayons UV réfléchis



> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Trois rayons UV réfléchis par symétrie par rapport à la normale au filtre.

Question 2.2 c). Indiquer ce qui se passe dans la configuration de la figure 4a et conclure sur l'intérêt de l'inclinaison du filtre anti-UV.

Dans la configuration 4a, les UV réfléchis par la face avant repartent vers la lampe et peuvent contribuer à son échauffement. En inclinant le filtre, le constructeur dévie ces rayons hors de la direction de la source. Cette disposition évite leur retour vers la lampe et limite ainsi son échauffement.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> L'inclinaison dévie les UV réfléchis hors de la lampe et limite son échauffement.

Filtres de la roue colorée

Question 2.3. Montrer que l'intensité lumineuse à la sortie du filtre de Pérot-Fabry est maximale lorsque δ = kλ, où k est un entier relatif.

Dans $I = I_0/[1 + m\sin^2(\varphi/2)]$, on a $m > 0$. L'intensité est maximale lorsque le dénominateur est minimal, soit lorsque $\sin(\varphi/2) = 0$. Ainsi, $\varphi = 2k\pi$, avec k entier relatif. Or $\varphi = 2\pi\delta/\lambda$, donc la condition de maximum devient $\delta = k\lambda$.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Maximum pour $\delta = k\lambda$, avec $k \in \mathbb{Z}$.

Question 2.4. **Calculer λ_0, la longueur d'onde correspondant au maximum de lumière pour k = 1 et une incidence i = 0°.**

À incidence normale, $r = 0°$, donc $\cos r = 1$ et $\delta = 2ne$. Pour le maximum d'ordre 1, $\delta = \lambda_0$. Avec $n = 2,71$ et $e = 100$ nm, on obtient $\lambda_0 = 2 \times 2,71 \times 100 = 542$ nm.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $\lambda_0 = 542\,\text{nm}$.

Question 2.5 a). **À partir du graphique 1 de l'annexe 3, mesurer la longueur d'onde centrale λ_0 transmise par le filtre vert à incidence nulle et la largeur $\Delta\lambda$ à mi-hauteur, en prenant dans la bande passante un coefficient de transmission égal à 96 %.**

Sur le graphique 1, la transmission du filtre vert à incidence normale vaut environ 96 % entre 485 nm et 595 nm. Le centre de cette bande est $(485 + 595)/2 \approx 540$ nm. Sa largeur à ce niveau est $595 - 485 \approx 110$ nm. Il s'agit de mesures graphiques approximatives.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $\lambda_0 \approx 540\,\text{nm}$ et $\Delta\lambda \approx 110\,\text{nm}$.

Question 2.5 b). **Dire si la valeur mesurée de la longueur d'onde centrale est en accord avec la valeur théorique obtenue précédemment.**

La lecture graphique donne environ 540 nm, tandis que le calcul théorique donne 542 nm. L'écart de 2 nm est faible au regard de la précision de lecture du graphique. La longueur d'onde centrale mesurée est donc en accord avec la valeur théorique.

> ✓ **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Oui : 540 nm mesurés et 542 nm théoriques sont en accord.

Question 2.6. **Le faisceau transmis par le filtre anti-UV a une ouverture numérique de l'ordre de 0,64. Estimer, pour le filtre anti-UV étudié précédemment, la plage de longueurs d'onde transmise.**

Le filtre transmet environ de 420 à 780 nm à incidence normale. Pour une ouverture numérique de 0,64, l'incidence maximale vérifie $\sin i \approx 0,64$. Dans la couche d'indice 2,71, $\sin r = 0,64/2,71$, puis $\lambda = \lambda_0 \cos r$. Le bord inférieur se décale ainsi vers 408 nm. Les rayons proches de l'incidence normale transmettent encore jusqu'à environ 780 nm.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Plage transmise estimée : environ 408 à 780 nm.

Question 2.7. Expliquer quelle pourrait être la conséquence d'une importante ouverture numérique pour le rendu des couleurs du vidéoprojecteur, en tenant compte du décalage de la bande passante du filtre vert vers les faibles longueurs d'onde.

Une grande ouverture numérique fait arriver sur le filtre des rayons sous des incidences variées. Le graphique 1 montre que l'incidence décale la bande passante du filtre vert vers les faibles longueurs d'onde. La lumière transmise s'écarte alors du vert attendu : la teinte et l'équilibre colorimétrique de l'image peuvent être modifiés, ce qui réduit la fidélité du rendu.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Le décalage spectral peut altérer le vert et réduire la fidélité des couleurs projetées.

Question 2.8. À l'aide des graphiques 1 et 2 de l'annexe 3, expliquer le choix du constructeur d'une roue colorée à cinq couleurs R, G, B, Y et C, selon la technologie « brilliant color », plutôt que d'une roue à trois couleurs R, G et B.

Le graphique 1 montre que les filtres sélectionnent des bandes du spectre de la lampe. Les secteurs jaune et cyan complètent le rouge, le vert et le bleu. Le graphique 2 montre que le gamut « brilliant color » est plus étendu que celui du système RGB et couvre davantage les couleurs visibles par l'œil. La roue à cinq secteurs permet donc de reproduire une gamme de couleurs plus large.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Les secteurs jaune et cyan élargissent le gamut et enrichissent les couleurs par rapport au système RGB.

3. Diffraction de la matrice de micro-miroirs et mise en forme du faisceau

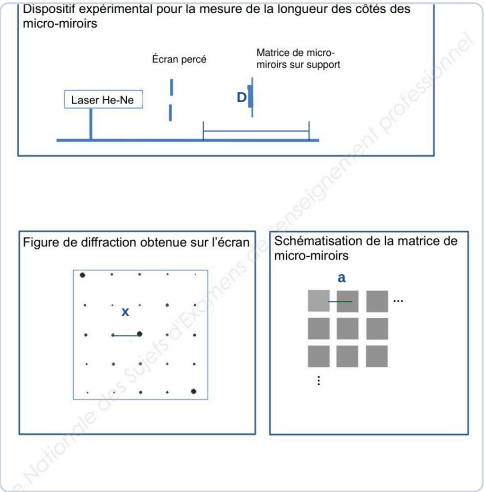
La matrice de micro-miroirs carrés est étudiée comme un réseau en réflexion à deux dimensions afin de déterminer la largeur d'un miroir et de vérifier les dimensions de la matrice. La partie examine ensuite un montage de Köhler, ses lentilles et ses conjugaisons pour assurer un éclairage homogène de la matrice.

Détermination par diffraction

Question 3.1 a). À l'aide des éléments de l'annexe 4, placer les grandeurs D, x et a sur les figures du document réponse DR2.

Sur le DR2, placer **D** entre l'écran percé et la matrice, **x** entre deux maxima lumineux voisins de la figure de diffraction, et **a** sur un côté d'un micro-miroir carré. Les repères doivent être inscrits sur les trois figures correspondantes : D sur le dispositif, x sur la figure de diffraction et a sur la représentation de la matrice.

DR2 annoté : D, x et a



> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> **D** : distance matrice-écran ; **x** : écart entre deux maxima voisins ; **a** : côté d'un micro-miroir.

Question 3.1 b). Calculer la largeur d'un micro-miroir à partir des données de l'expérience de diffraction présentées dans l'annexe 4.

La distance entre deux maxima d'interférences vérifie **i = λD/a**. La mesure donne i = x = 1 cm ; donc a = λD/x. Avec λ = 632,8 nm et D = 20,9 cm, soit en unités SI : a = (632,8 × 10^{-9} × 0,209) / 0,01 = 1,3226 × 10^{-5} m. La valeur est cohérente avec 13,2 µm, donnée ensuite dans le sujet.

> **✓ RÉPONSE À RETENIR**
>
> Largeur d'un micro-miroir : **a ≈ 13,2 µm**.

Question 3.2. **Les micro-miroirs sont distants de 1 µm dans les deux directions et la matrice comporte 600 × 800 miroirs de 13,2 µm de côté. Vérifier que les dimensions de la matrice sont h = 0,85 cm et L = 1,14 cm.**

Dimension	Calcul	Résultat
h : 600 miroirs	600 × 13,2 + 599 × 1	8 519 µm = 0,8519 cm
L : 800 miroirs	800 × 13,2 + 799 × 1	11 359 µm = 1,1359 cm

Une rangée de N miroirs comporte N côtés et N − 1 intervalles. Les calculs utilisent donc les 599 et 799 espacements de 1 µm. Arrondies au centième de centimètre, les dimensions calculées concordent avec les valeurs demandées.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> **h = 0,85 cm ; L = 1,14 cm.**

Mise en forme du faisceau

Question 3.3. **À partir des caractéristiques du montage de Köhler et des données fournies, déterminer les distances d et d_1 ainsi que le diamètre D_1 de la lentille L_1, de façon que toute la surface de la matrice de micro-miroirs soit éclairée uniformément.**

Pour L_2, O_1 est à 5 cm de la lentille et son image M′ est à la distance d : 1/d − 1/5 = 1/1,9, d'où d = 3,06 cm. L_1 forme l'image de S dans le plan focal objet de L_2, à 5 − 1,9 = 3,1 cm de O_1. Ainsi, $1/3{,}1 + 1/d_1 = 1/0{,}85$, donc d_1 = 1,17 cm.

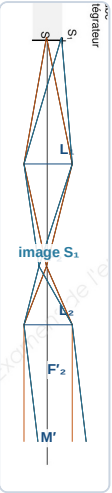
L_2 image le diamètre D_1 de L_1 avec un grandissement de valeur d/5. Pour couvrir toute la matrice rectangulaire, son image doit au moins égaler la diagonale : $D_1 = \sqrt{(0{,}85^2 + 1{,}14^2)}/(d/5) \approx 2{,}32$ cm.

> ✓ RÉPONSE À RETENIR
>
> **d ≈ 3,06 cm ; d_1 ≈ 1,17 cm ; D_1 ≈ 2,32 cm.**

Question 3.4. **Compléter le schéma du document réponse DR3 en représentant les différents éléments du montage et les foyers des deux lentilles, puis tracer, avec les traits de construction, deux faisceaux éclairant toute la lentille L_1 et traversant L_1 et L_2, l'un issu de S et l'autre de S_1.**

Sur le DR3, le tube intégrateur et les points S et S_1 sont déjà indiqués. Ajouter L_1 puis L_2 sur l'axe, les foyers F_2 et F'_2 de L_2 de part et d'autre de celle-ci, puis le plan image M′ après F'_2. Pour chaque point source, tracer deux rayons passant par les bords opposés de L_1 : après L_1, ils convergent vers son image dans le plan focal objet de L_2. Après L_2, chaque faisceau ressort parallèle, avec une direction propre au point source.

DR3 annoté : montage de Köhler et faisceaux



✓ RÉPONSE À RETENIR

DR3 complété : L_1, L_2, F_2, F'_2 et M′, avec deux faisceaux couvrant L_1 puis ressortant parallèles après L_2.

Question 3.5. Expliquer pourquoi le montage de Köhler permet d'assurer un éclairement homogène de la matrice de micro-miroirs.

Le montage réalise deux conjugaisons complémentaires : L_1 forme l'image du plan de sortie du tube intégrateur dans le plan focal objet de L_2, tandis que L_2 forme l'image de l'ouverture de L_1 sur la matrice. Ainsi, chaque point de la source éclaire toute l'ouverture de L_1, dont l'image couvre la matrice. Les contributions de nombreux points de la source se superposent sur toute la surface, ce qui répartit le flux et homogénéise l'éclairement.

✓ RÉPONSE À RETENIR

Chaque point de la source contribue à l'éclairement de toute la matrice : les contributions se superposent et rendent l'éclairement homogène.

Ce qu'il faut retenir de ce sujet (Session 2018)

Bilan de l'épreuve : Épreuve écrite E41 du BTS Systèmes photoniques, session 2018, code SH41PEM, d'une durée de 2,5 heures et de coefficient 2. Elle porte sur un vidéoprojecteur DLP : choix et bilan énergétique d'une lampe UHP, filtres anti-UV et colorés interférentiels, diffraction d'une matrice de micro-miroirs et mise en forme de l'éclairage par un montage de Köhler.

Notions-clés, formules & règles à maîtriser

- Dans un filtre de Pérot-Fabry, l'intensité transmise est maximale lorsque la différence de marche vérifie $\delta = k\lambda$.
- Pour une couche d'indice n et d'épaisseur e, $\delta = 2ne\cos(r)$; à incidence normale et pour $k = 1$, $\lambda_0 = 2ne$.
- Pour la diffraction, l'écart entre maxima vérifie $i = \lambda D/a$; le côté du micro-miroir est donc $a = \lambda D/i$.
- Le flux transmis se détermine en multipliant le flux de la lampe par les coefficients de transmission et de réflexion des éléments traversés.

Points de vigilance & attentes du jury

- Distinguer la valeur théorique d'une longueur d'onde de celle mesurée sur un graphique et préciser les conditions d'incidence.
- Convertir les longueurs dans des unités cohérentes avant d'appliquer les relations de diffraction.
- Sur les documents réponse, placer clairement les grandeurs et tracer les rayons et faisceaux demandés.
- Dans les calculs et justifications, présenter les étapes utiles, conserver les unités et relier le résultat à la conclusion.

Questions fréquentes sur cette épreuve (Q&A Examen)

Q : Comment déterminer la longueur d'onde centrale théorique du filtre de Pérot-Fabry ?

À incidence normale, $r = 0$ et $\cos(r) = 1$. Pour le maximum d'ordre 1, $\delta = \lambda_0$ et $\delta = 2ne$, donc $\lambda_0 = 2ne$. Exprimez l'épaisseur e dans une unité cohérente avec la longueur d'onde recherchée.

Q : Comment utiliser la figure de diffraction pour calculer le côté d'un micro-miroir ?

Mesurez l'écart i entre deux maxima voisins sur l'écran, puis utilisez la distance matrice-écran D et la longueur d'onde λ du laser. La relation fournie donne $a = \lambda D/i$; convertissez les grandeurs dans des unités cohérentes.

Q : Comment organiser les 2,5 heures et faut-il traiter les parties dans l'ordre ?

La durée totale est de 150 minutes. Le sujet précise que les trois parties sont indépendantes et peuvent être traitées dans n'importe quel ordre. Les parties valent respectivement 5, 9 et 6 points : répartissez le temps en conséquence et gardez un moment pour vérifier.

Q : Quelles sont les attentes explicites pour les documents réponse et les justifications ?

Le sujet demande des constructions sur DR1, DR2 et DR3, notamment les rayons, les grandeurs et les faisceaux avec leurs traits de construction. Les réponses doivent comporter les calculs ou arguments demandés et, pour les mesures, s'appuyer sur les graphiques concernés.

Sujet officiel associé (PDF) : https://btssp.fr/assets/annales/bts-sp/E4.1 - Pré-étude et modélisation d'un système optique/2018/BTS SP - E4.1 - Pré-étude et modélisation d'un système optique - Session 2018 - 1-Sujet.pdf

Ressources BTS Systèmes Photoniques : Toutes les annales & corrigés • Fiches de révision complètes • Simulateur de notes d'examen

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.