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

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

# SYSTÈMES PHOTONIQUES

# ÉPREUVE E4.2 : CONCEPTION ET INDUSTRIALISATION D'UN SYSTÈME OPTIQUE

SESSION 2026

Durée : 4 heures

| SPÉCIALITÉ / UNITÉ | COEFF |
|---|---|
| SYSTÈMES PHOTONIQUES | 3 |

Moyens de calculs et matériel autorisés :

**L'usage de calculatrice avec mode examen actif est autorisé. L'usage de calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.**

**Aucun document ou matériel autorisé en dehors de ceux fournis avec le sujet.**

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.

Les documents réponses en fin de sujet sont à rendre avec la copie.

# DOSSIER SUJET

## MISE EN SITUATION PROFESSIONNELLE ET CAHIER DES CHARGES : PHOTONIS MESURE, GRENOBLE

L'entreprise Photonis Mesure développe un module d'imagerie destiné au contrôle dimensionnel de pièces mécaniques. Vous intervenez sur la conception et l'industrialisation d'un sous-ensemble optique comprenant un objectif, un capteur et un support réglable.

Le module doit imager un objet situé à 300 mm de l'objectif sur un capteur de largeur utile 5,6 mm. L'objectif nominal a une distance focale image de 50 mm. La qualité d'image exigée est une fonction de transfert de modulation au moins égale à 0,30 à 40 lp/mm. Les calculs seront menés dans les conditions paraxiales, sauf indication contraire. Les résultats numériques seront accompagnés de leurs unités et arrondis de manière adaptée.

Les quatre exercices sont indépendants. Les documents-réponses indiqués sont à rendre avec la copie.

## Exercice 1 : Dimensionnement de l'objectif (6 points)

***Conjugaison optique et choix d'un objectif***

Le système utilise une lentille mince convergente de distance focale image nominale $f' = 50,0\ \text{mm}$. L'objet est placé à une distance $p = 300\ \text{mm}$ en amont de la lentille. On adopte les distances positives dans le sens de propagation pour les distances objet et image. La relation de conjugaison utilisée est $\frac{1}{f'} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$. Le grandissement transversal est $\gamma = -\frac{p'}{p}$.

Le capteur présente une largeur utile de $5,6\ \text{mm}$. La hauteur de la zone objet à imager est de $28\ \text{mm}$. Le diaphragme d'ouverture de l'objectif a un diamètre $D = 12,5\ \text{mm}$.

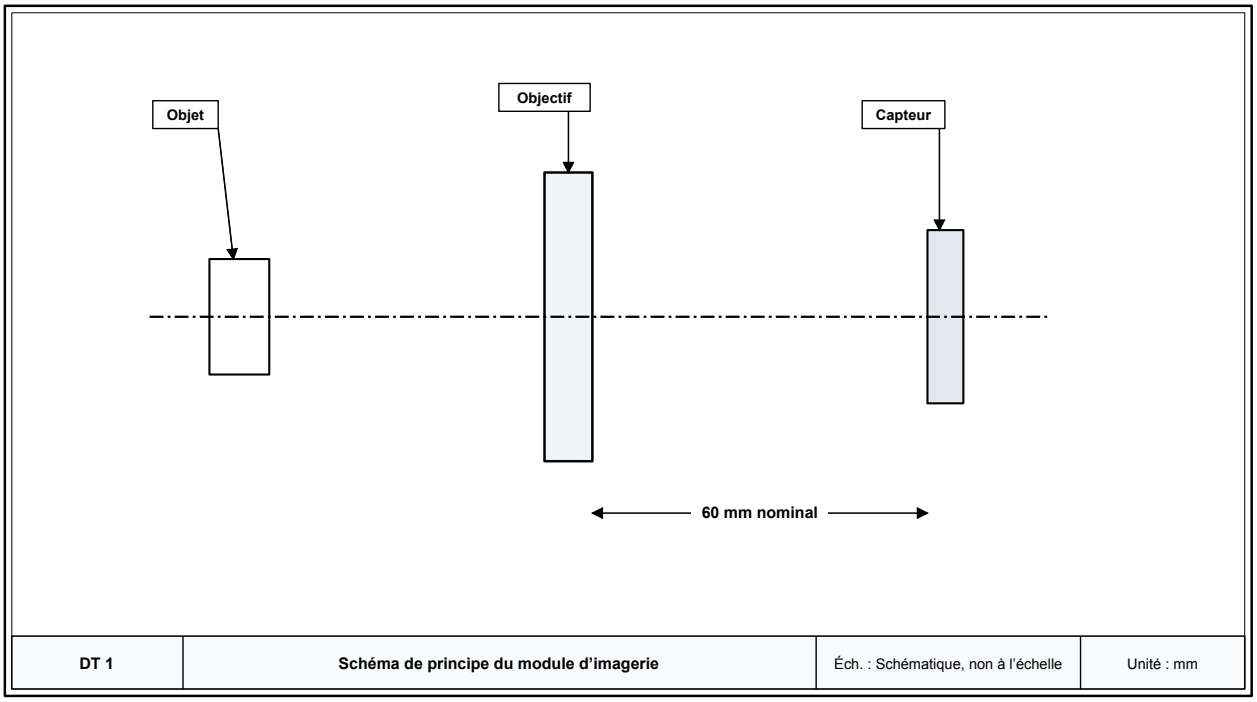



*Schéma non à l'échelle. Les distances nominales sont précisées dans l'énoncé.*

**1.1** (2 points) Calculer la distance image $p'$ entre la lentille et le capteur. Présenter la relation utilisée et le résultat en millimètres.

**1.2** (1,5 point) Calculer le grandissement transversal $\gamma$, puis la taille de l'image de la zone objet de hauteur $28\ \text{mm}$. Préciser le sens de l'image.

**1.3** (1 point) Vérifier si l'image de la zone objet tient dans la largeur utile du capteur. Justifier par un calcul.

**1.4** (1,5 point) Calculer le nombre d'ouverture $N = f'/D$ de l'objectif. En déduire l'ouverture numérique dans l'air avec l'approximation paraxiale $\text{ON} \simeq \frac{1}{2N}$.

## Exercice 2 : Vérification des performances optiques (5 points)

***Exploitation de mesures de fonction de transfert et bilan de transmission***

La fonction de transfert de modulation (FTM) de l'objectif a été mesurée sur banc. Les valeurs relevées sont données dans le tableau et représentées sur le graphique. Le cahier des charges impose $\text{FTM}(40\ \text{lp/mm}) \geq 0,30$.

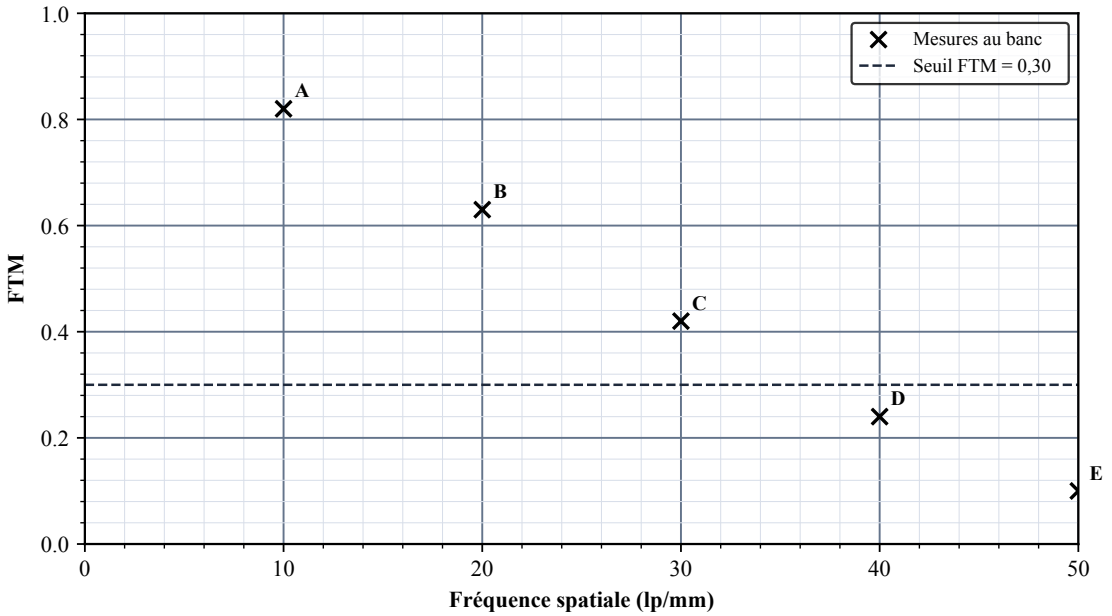
Le flux optique incident sur le module vaut $\Phi_0 = 2,00\ \text{mW}$. Le flux transmis par des composants en série se calcule par multiplication des transmissions. Pour un milieu absorbant homogène, le modèle de transmission peut s'écrire $T = \exp(-\alpha e)$, où $\alpha$ est le coefficient d'atténuation et $e$ l'épaisseur traversée.

**Mesures de la FTM de l'objectif**

| Fréquence spatiale (lp/mm) | FTM mesurée |
|---|---|
| 10 | 0,82 |
| 20 | 0,63 |
| 30 | 0,42 |
| 40 | 0,24 |
| 50 | 0,10 |

*Mesures réalisées au banc, à la longueur d'onde de travail.*

**FTM en fonction de la fréquence spatiale**




*Points expérimentaux issus du tableau. Le graphique est à exploiter pour estimer la fréquence de coupure à FTM égale à 0,30.*

**2.1** (1,5 point) À l'aide du tableau ou du graphique, relever la FTM mesurée à $40\ \mathrm{lp/mm}$ et conclure sur le respect de l'exigence du cahier des charges.

**2.2** (2 points) Estimer par interpolation linéaire la fréquence spatiale pour laquelle la FTM vaut $0,30$. Utiliser les deux mesures encadrant ce seuil et détailler le calcul.

**2.3** (1,5 point) Les transmissions de la lentille, du filtre et de la fenêtre de protection sont respectivement $0,96$, $0,98$ et $0,92$. Calculer la transmission totale du module, puis le flux transmis en milliwatts.

## Exercice 3 : Tolérancement de la mise au point (5 points)

***Analyse des sensibilités et définition d'une tolérance fonctionnelle***

La focale et la distance objet présentent les tolérances suivantes : $f' = 50,00 \pm 0,01\ \mathrm{mm}$ et $p = 300,0 \pm 0,5\ \mathrm{mm}$. La position de l'image est donnée par $p' = \frac{f'p}{p-f'}$.

Pour une estimation au premier ordre autour des valeurs nominales, les sensibilités sont $\frac{\partial p'}{\partial f'} = \frac{p^2}{(p-f')^2}$ et $\frac{\partial p'}{partialp} = -\frac{(f')^2}{(p-f')^2}$. On adopte un cumul au pire des cas. Le déplacement axial admissible du plan image par rapport au capteur est de $\pm 0,050\ \mathrm{mm}$. La tolérance de positionnement mécanique du capteur contribue pour $\pm 0,020\ \mathrm{mm}$, également cumulée au pire des cas.

**3.1** (2 points) Calculer les valeurs nominales des deux sensibilités au point $f' = 50,00\ \mathrm{mm}$, $p = 300,0\ \mathrm{mm}$. Donner les unités de chaque sensibilité.

**3.2** (1,5 point) Évaluer au premier ordre la variation maximale de $p'$ due aux tolérances de focale et de distance objet, en cumulant les contributions au pire des cas. Présenter le résultat en millimètres.

**3.3** (1,5 point) Ajouter la tolérance de positionnement mécanique du capteur et vérifier la conformité à l'exigence de $\pm 0,050\ \mathrm{mm}$. Si l'assemblage n'est pas conforme, proposer une action d'industrialisation permettant de régler ou compenser la mise au point.

## Exercice 4 : Contrôle dimensionnel et industrialisation (4 points)

***Décision de conformité et formalisation du contrôle en production***

Le support de l'objectif comporte un alésage de centrage de diamètre nominal $25,00\ \mathrm{mm}$, tolérancé selon la spécification interne $25,00 \pm 0,05\ \mathrm{mm}$. Le contrôle est effectué avec un instrument dont la résolution est de $0,01\ \mathrm{mm}$. Les mesures d'un lot pilote sont fournies dans le document réponse DR 1. Pour cet exercice, une pièce est conforme si sa mesure est comprise dans l'intervalle spécifié, bornes incluses.

Le plan de contrôle de série doit également assurer la traçabilité de l'instrument, de la mesure et de la décision de conformité.

**4.1** (1,5 point) Compléter dans le DR 1 la décision de conformité de chaque pièce à partir de la spécification donnée.

**4.2** (1,5 point) Déterminer le nombre de pièces conformes et non conformes dans le lot pilote. Calculer l'étendue des mesures, définie par $E = x_{\max} - x_{\min}$.

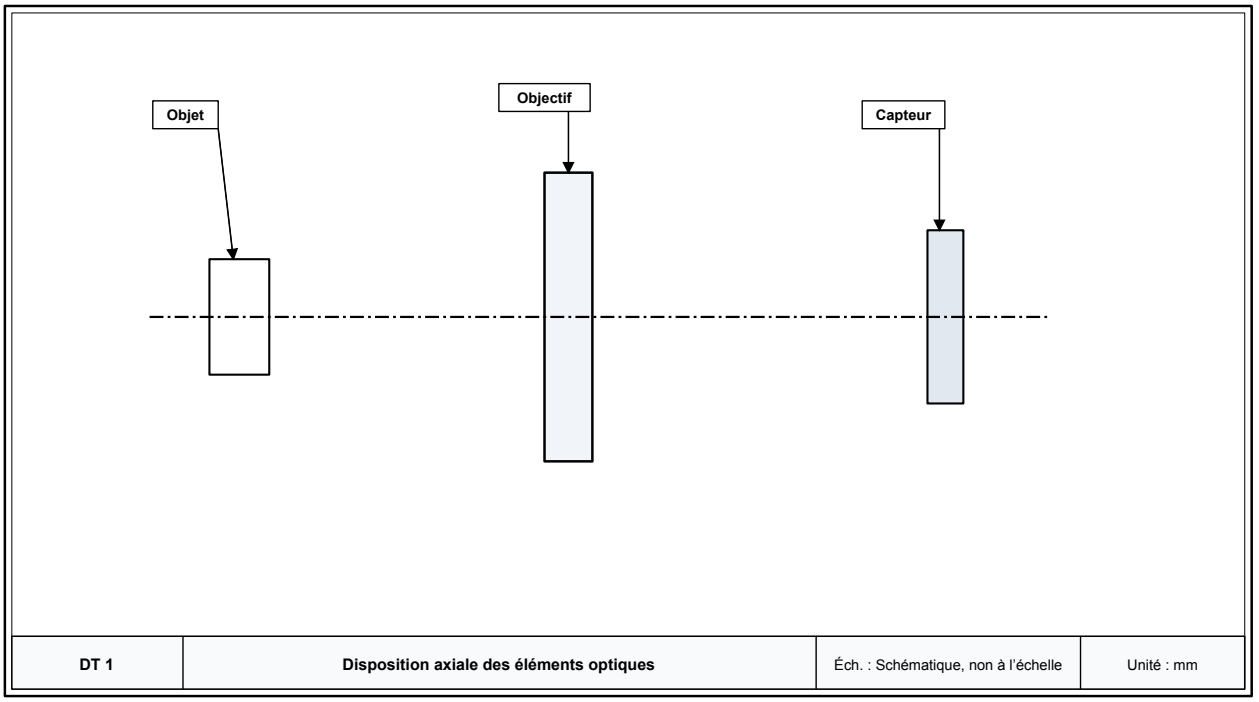
**4.3** (1 point) Citer deux informations qui doivent figurer dans l'enregistrement de contrôle pour assurer la traçabilité en production.

# DOSSIER TECHNIQUE ET RESSOURCES

Documents ressources nécessaires à la résolution du sujet

## **DT 1** : SCHÉMA DE PRINCIPE DU MODULE D'IMAGERIE

Le schéma représente les éléments fonctionnels principaux du module : objet, objectif et capteur. La distance objet-lentille nominale est de $300\ \text{mm}$. La distance image nominale calculée pour l'objectif est déterminée dans l'exercice 1. Le schéma n'est pas à l'échelle et ne constitue pas un plan de fabrication.




*Vue de principe. L'axe optique est représenté par la ligne d'axe.*

## **DT 2** : SPÉCIFICATIONS DE CONTRÔLE DU LOT PILOTE

La spécification dimensionnelle de l'alésage de centrage est une exigence interne au produit étudié : diamètre nominal $25,00\ \text{mm}$, limites admissibles $24,95\ \text{mm}$ et $25,05\ \text{mm}$. Les limites sont incluses dans la zone de conformité. La résolution de l'instrument utilisé est $0,01\ \text{mm}$.

**Relevé dimensionnel du lot pilote**

| Repère pièce | Diamètre mesuré (mm) |
|---|---|
| P1 | 24,98 |
| P2 | 25,01 |
| P3 | 25,04 |
| P4 | 25,06 |
| P5 | 24,97 |

*Valeurs mesurées en millimètres.*

**NE RIEN ÉCRIRE DANS CETTE PARTIE**

**DR 1** : Document réponse à rendre avec la copie : Exercice 4 — **À RENDRE AVEC LA COPIE**

Compléter le tableau à partir des valeurs mesurées et des limites de conformité indiquées dans le sujet. Indiquer « conforme » ou « non conforme » dans la dernière colonne.

**Décision de conformité des pièces du lot pilote**

| Repère pièce | Diamètre mesuré (mm) | Décision de conformité |
|---|---|---|
| P1 | 24,98 | ..... |
| P2 | 25,01 | ..... |
| P3 | 25,04 | ..... |
| P4 | 25,06 | ..... |
| P5 | 24,97 | ..... |

**Cadre réservé aux justifications, calculs complémentaires ou schémas du candidat :**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

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.